

This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

هذه النسخة الإلكترونية (PDF) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجراه الضوئي بالمسح تصوير نتاج (ITU) والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلاً.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.

© International Telecommunication Union

UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CCIR

COMITÉ CONSULTIVO
INTERNACIONAL
DE RADIOCOMUNICACIONES

RECOMENDACIONES E INFORMES DEL CCIR, 1986

(ASÍ COMO CUESTIONES, PROGRAMAS DE ESTUDIOS, RESOLUCIONES, RUEGOS Y DECISIONES)

XVI ASAMBLEA PLENARIA
DUBROVNIK, 1986

VOLUMEN IV – PARTE 1

SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

Ginebra, 1986

CCIR

1. El Comité Consultivo Internacional de Radiocomunicaciones (CCIR) es el órgano permanente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones responsable, según el Convenio Internacional de Telecomunicaciones, que «... realizará estudios y formulará Recomendaciones sobre las cuestiones técnicas y de explotación relativas específicamente a las radiocomunicaciones sin limitación de la gama de frecuencias...» (Convenio Internacional de Telecomunicaciones, Nairobi, 1982, primera parte, capítulo I, art. 11, número 83).

2. Los objetivos del CCIR son, en particular:

a) proporcionar las bases técnicas para uso de las diversas conferencias administrativas de radiocomunicaciones y servicios de radiocomunicaciones, para la eficaz utilización del espectro de frecuencias radioeléctricas y la órbita de los satélites geoestacionarios, teniendo en cuenta las necesidades de los diversos servicios radioeléctricos;

b) recomendar normas de funcionamiento para los sistemas de radiocomunicaciones y disposiciones técnicas que garanticen su interfuncionamiento eficaz y compatible en las telecomunicaciones internacionales;

c) recopilar, intercambiar, analizar, publicar y difundir la información técnica resultante de los estudios del CCIR, así como cualquier otra información disponible, para el desarrollo, planificación y explotación de los servicios radioeléctricos, incluidas todas las medidas especiales necesarias para facilitar la utilización de esta información en los países en desarrollo.

UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CCIR

COMITÉ CONSULTIVO
INTERNACIONAL
DE RADIOCOMUNICACIONES

RECOMENDACIONES E INFORMES DEL CCIR, 1986

(ASÍ COMO CUESTIONES, PROGRAMAS DE ESTUDIOS, RESOLUCIONES, RUEGOS Y DECISIONES)

XVI ASAMBLEA PLENARIA
DUBROVNIK, 1986

BIBLIOTHÈQUE DE L' UIT GENÈVE

VOLUMEN IV – PARTE 1

SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

Ginebra, 1986

ISBN 92-61-02723-7

PLAN DE LOS VOLÚMENES I A XIV DE LA XVI ASAMBLEA PLENARIA DEL CCIR

(Dubrovnik, 1986)

VOLUMEN I	Utilización del espectro y comprobación técnica de las emisiones.
VOLUMEN II	Investigación espacial y radioastronomía.
VOLUMEN III	Servicio fijo en frecuencias inferiores a unos 30 MHz.
VOLUMEN IV-1	Servicio fijo por satélite.
VOLÚMENES IV/IX-2	Compartición de frecuencias y coordinación entre sistemas del servicio fijo por satélite y de relevadores radioeléctricos.
VOLUMEN V	Propagación en medios no ionizados.
VOLUMEN VI	Propagación en medios ionizados.
VOLUMEN VII	Frecuencias patrón y señales horarias.
VOLUMEN VIII-1	Servicio móvil terrestre. Servicio de aficionados. Servicio de aficionados por satélite.
VOLUMEN VIII-2	Servicio móvil marítimo.
VOLUMEN VIII-3	Servicios móviles por satélite (aeronáutico, terrestre, marítimo, móvil y radiodeterminación). Servicio móvil aeronáutico.
VOLUMEN IX-1	Servicio fijo: sistemas de relevadores radioeléctricos.
VOLUMEN X-1	Servicio de radiodifusión (sonora).
VOLÚMENES X/XI-2	Servicio de radiodifusión por satélite (sonora y de televisión).
VOLÚMENES X/XI-3	Grabación sonora y de televisión.
VOLUMEN XI-1	Servicio de radiodifusión (televisión).
VOLUMEN XII	Transmisión a larga distancia de señales de radiodifusión sonora y de televisión (CMTT).
VOLUMEN XIII	Vocabulario (CMV).
VOLUMEN XIV-1	Informaciones relativas a la XVI Asamblea Plenaria: Actas de las sesiones plenarias. Textos administrativos. Estructura del CCIR. Listas de los textos del CCIR.
VOLUMEN XIV-2	Índice alfabético de los términos técnicos que figuran en los Volúmenes I a XIII.

Las referencias en el interior de los textos de las Recomendaciones, Informes, Resoluciones, Ruegos, Decisiones, Cuestiones y Programas de Estudios del CCIR se refieren a la edición de 1986 a menos que se indique lo contrario, es decir que sólo se menciona el número base.

© UIT

DISTRIBUCIÓN DE LOS TEXTOS DE LA XVI ASAMBLEA PLENARIA DEL CCIR ENTRE LOS VOLÚMENES I A XIV

Todos los textos del CCIR vigentes en la actualidad están contenidos en los Volúmenes I a XIV de la XVI Asamblea Plenaria. Sustituyen a los de la edición anterior, XV Asamblea Plenaria, Ginebra, 1982.

1. Recomendaciones, Informes, Resoluciones, Ruegos y Decisiones

1.1 *Indicaciones sobre la numeración de estos textos*

Las Recomendaciones, los Informes, las Resoluciones y los Ruegos están numerados de acuerdo con la serie en vigencia desde la X Asamblea Plenaria.

De conformidad con las decisiones de la XI Asamblea Plenaria, los textos revisados conservan su número original al que se agrega un guión y una cifra que indica el número de revisiones. Por ejemplo: Recomendación 253, para la versión original; Recomendación 253-1, para la primera revisión; Recomendación 253-2, para la segunda revisión, y así sucesivamente. No obstante, en el interior de los textos de las Recomendaciones e Informes se menciona únicamente el número original (por ejemplo, Recomendación 253), en el entendido que la referencia debe aplicarse a la última versión del texto, a menos que se indique lo contrario.

Los números de los textos antes mencionados aparecen en los cuadros que siguen; en ellos no se menciona la cifra que indica el número de revisiones sucesivas. Para mayores detalles sobre la numeración véase el Volumen XIV-1.

1.2 *Recomendaciones*

Número	Volumen	Número	Volumen	Número	Volumen
48	X-1	367	II	478	VIII-1
80	X-1	368-370	V	479	II
106	III	371-373	VI	480	III
139	X-1	374-376	VII	481-484	IV-1
162	III	377, 378	I	485, 486	VII
182	I	380-393	IX-1	487-493	VIII-2
205	X-1	395-405	IX-1	494	VIII-1
215, 216	X-1	406	IV/IX-2	496	VIII-3
218, 219	VIII-2	407, 408	X/XI-3	497	IX-1
239	I	410-412	X-1	498	X-1
240	III	414, 415	X-1	500	XI-1
246	III	417	XI-1	501	X/XI-3
257	VIII-2	419	XI-1	502, 503	XII
265	X/XI-3	428	VIII-2	505	XII
266	XI-1	430, 431	XIII	508	I
268	IX-1	433	I	509, 510	II
270	IX-1	434, 435	VI	513-517	II
275, 276	IX-1	436	III	518-520	III
283	IX-1	439	VIII-2	521-524	IV-1
290	IX-1	441	VIII-3	525-530	V
302	IX-1	443	I	531-534	VI
305, 306	IX-1	444	IX-1	535-538	VII
310, 311	V	446	IV-1	539	VIII-1
313	VI	450	X-1	540-542	VIII-2
314	II	452, 453	V	546-550	VIII-3
326	I	454-456	III	552, 553	VIII-3
328, 329	I	457, 458	VII	555-557	IX-1
331, 332	I	460	VII	558	IV/IX-2
335, 336	III	461	XIII	559-562	X-1
337	I	463	IX-1	564	X/XI-3
338, 339	III	464-466	IV-1	565	XI-1
341	V	467, 468	X-1	566	X/XI-2
342-349	III	469	X/XI-3	567-572	XII
352-354	IV-1	470-472	XI-1	573, 574	XIII
355-359	IV/IX-2	473, 474	XII	575	I
362-364	II	475, 476	VIII-2	576-578	II

1.2 *Recomendaciones (cont.)*

Número	Volumen	Número	Volumen	Número	Volumen
579-580	IV-1	602	X/XI-3	625-631	VIII-2
581	V	603-606	XII	632-633	VIII-3
582, 583	VII	607, 608	XIII	634-637	IX
584	VIII-1	609-611	II	638-647	X-1
589	VIII-2	612, 613	III	648, 649	X/XI-3
591	VIII-3	614	IV-1	650-652	X/XI-2
592-596	IX-1	615	IV/IX-2	653-656	XI-1
597-599	X-1	616-620	V	657	X/XI-3
600	X/XI-2	621	VI	658-661	XII
601	XI-1	622-624	VIII-1	662-666	XIII

1.3 *Informes*

Número	Volumen	Número	Volumen	Número	Volumen
19	III	319	VIII-1	491	XII
32	X-1	322	VI (1)	493	XII
109	III	324	I	496, 497	XII
111	III	327	III	499	VIII-1
122	XI-1	336	V	500-501	VIII-2
137	IX-1	338	V	509	VIII-3
176, 177	III	340	VI (1)	516	X-1
181	I	342	VI	518	VII
183	III	345	III	519-522	I
184	I	347	III	524-526	I
195	III	349	III	528	I
197	III	354-357	III	530	I
200	III	358	VIII-1	533, 534	I
203	III	363, 364	VII	535, 536	II
204, 205	IV-1	371, 372	I	536-541	II
208	IV-1	374-376	IX-1	542	VIII-1
209	IV/IX-2	378-380	IX-1	543	II
212	IV-1	382	IV/IX-2	546	II
214	IV-1	383-385	IV-1	548	II
215	X/XI-2	386-388	IV/IX-2	549-551	III
222	II	390, 391	IV-1	552-561	IV-1
224	II	393	IV/IX-2	562-565	V
226	II	395, 396	II	567	V
227-229	V	401	X-1	569	V
236	V	404, 405	XI-1	571	VI
238, 239	V	409	XI-1	574, 575	VI
249-251	VI	411, 412	XII	576-580	VII
252	VI (1)	420	I	584, 585	VIII-2
253-255	VI	430-432	VI	588	VIII-2
258-260	VI	434-437	III	607	IX-1
262, 263	VI	439	VII	610	IX-1
265, 266	VI	443-445	IX-1	612-615	IX-1
267	VII	448, 449	IV/IX-2	616, 617	X-1
270, 271	VII	451	IV-1	619	X-1
272, 273	I	453-455	IV-1	622	X/XI-3
275-277	I	456	II	624-626	XI-1
279	I	458	X-1	628, 629	XI-1
284, 285	IX-1	461	X-1	630	X/XI-3
287-289	IX-1	463-465	X-1	631-634	X/XI-2
292	X-1	468, 469	X/XI-3	635-637	XII
294	X/XI-3	472	X-1	639	XII
300	X-1	473	X/XI-2	642, 643	XII
302-304	X-1	476-478	XI-1	646-648	XII
311-313	XI-1	481-485	XI-1	651	I
314	XII	488	XII	653-657	I

(1) Publicados por separado.

1.3 *Informes (cont.)*

Número	Volumen	Número	Volumen	Número	Volumen
659-668	I	795	X-1	943-947	X-1
670, 671	I	797-799	X-1	950	X/XI-3
672-685	II	800	X/XI-3	951-955	X/XI-2
687	II	801, 802	XI-1	956	XI-1
692-697	II	803	X/XI-3	958, 959	XI-1
699, 700	II	804, 805	XI-1	961, 962	XI-1
701-704	III	807-812	X/XI-2	963, 964	X/XI-3
706, 707	IV-1	814	X/XI-2	965-970	XII
710-713	IV-1	815-823	XII	972-979	I
714-724	V	826-842	I	980-988	II
725-729	VI	843-854	II	989-996	III
730-732	VII	857	III	997-1004	IV-1
735, 736	VII	859-865	III	1005-1006	IV/IX-2
738	VII	867-875	IV-1	1007-1010	V
739-742	VIII-1	876, 877	IV/IX-2	1011-1015	VI
743, 744	VIII-2	879-880	V	1016, 1017	VII
747-749	VIII-2	882-885	V	1018-1025	VIII
751	VIII-3	886-895	VI	1026-1044	VIII-2
760-766	VIII-3	896-898	VII	1045-1051	VIII-3
768	VIII-3	899-906	VIII-1	1052-1057	IX-1
770-773	VIII-3	908-915	VIII-2	1058-1072	X-1
774, 775	VIII-2	917-923	VIII-3	1073-1076	X/XI-2
778	VIII-1	925-929	VIII-3	1077-1089	XI-1
779-789	IX-1	930-934	IX-1	1090-1096	XII
790-793	IV/IX-2	936-942	IX-1		

1.3.1 *Nota relativa a los Informes*

En los diferentes Informes se ha suprimido la mención «adoptado por unanimidad». Se considera que los Informes contenidos en este Volumen han sido adoptados por unanimidad, excepto en aquellos casos en los que en una nota a pie de página se indiquen las reservas correspondientes.

1.4 *Resoluciones*

Número	Volumen	Número	Volumen	Número	Volumen
4	VI	61	XIV-1	76	X-1
14	VII	62	I	78	XIII
15	I	63	VI	79-83	XIV-1
20	VIII-1	64	X-1	86, 87	XIV-1
23	XIII	66	XIII	88	I
24	XIV-1	71	I	89	XIII
26, 27	XIV-1	72, 73	V	90-95	XIV-1
33	XIV-1	74	VI	96	XI-1
39	XIV-1				

1.5 *Ruegos*

Número	Volumen	Número	Volumen	Número	Volumen
2	I	43	VIII-2	70-72	VII
11	I	45, 46	VI	73	VIII-1
14	IX-1	49	VIII-1	74	X-1
15	X-1	50	IX-1	75	XI-1
16	X/XI-3	51	X-1	77	XIV-1
22, 23	VI	56	IV-1	79-81	XIV-1
26-28	VII	59	X-1	82	VI
32	I	63	XIV-1	83	XI-1
35	I	64	I	84	XIV-1
38	XI-1	65	XIV-1	85	VI
40	XI-1	66	III	86	XIII
42	VIII-1	67-69	VI		

1.6 *Decisiones*

Número	Volumen	Número	Volumen	Número	Volumen
2	IV-1	45	III	61	II
3-5	V	50	V	63	III
6	VI	51	X/XI-2	64	IV-1
9-11	VI	52	X-1	65	VII
18	XII	53, 54	I	66	XI-1
19	XIII	56	I	67, 68	XII
27	I	57	VI	69	VIII-1
32	VIII-3	58	XI-1	70	IV-1
42	XI-1	59	X/XI-3	71	VIII-3 + X-1
43	X/XI-2	60	XI-1	72	XI-1

1.6.1 *Nota relativa a las Decisiones*

Dado que las Decisiones son adoptadas por las Comisiones de Estudio, se ha utilizado la expresión: «la Comisión de Estudio ... considerando», y se ha suprimido la indicación «por unanimidad».

2. Cuestiones y Programas de Estudios

2.1 *Indicaciones sobre la numeración de estos textos*

2.1.1 *Cuestiones*

Las Cuestiones están numeradas en series distintas para cada Comisión de Estudio; en su caso, el número de orden está seguido de un guión y una cifra indica el número de revisiones a que se ha sometido el texto. El número de una Cuestión está seguido de una *cifra árabe indicando* la Comisión de Estudio. Por ejemplo:

- Cuestión 1/10 para la versión original;
- Cuestión 1-1/10 para la primera revisión; Cuestión 1-2/10 para la segunda revisión.

2.1.2 *Programas de Estudios*

Los Programas de Estudios se numeran de modo que indiquen, si ha lugar, de qué Cuestión se derivan; el número se completa con una letra mayúscula que permite distinguir varios Programas de Estudios derivados de una misma Cuestión. La parte de la designación del Programa de Estudios reservada al número de la Cuestión de la que se deriva no menciona el índice de revisión eventual de ésta y se refiere al texto en vigor que figura en el Volumen. Así, por ejemplo:

- Programa de Estudios 1A/10, para la versión original del primer Programa que se deriva de la Cuestión 1/10.
- Programa de Estudios 1C/10, para la versión original del tercer Programa que se deriva de la Cuestión 1/10.
- Programa de Estudios 1A-1/10, para la primera revisión del primer Programa que se deriva de la Cuestión 1/10.

Se observará que un Programa de Estudios puede no derivarse de Cuestión alguna; en este caso lleva el número de orden análogo al de los demás Programas de Estudios de la Comisión de que se trate con la diferencia que, si se consulta la lista pertinente de Cuestiones, ne se hallará ninguna Cuestión que corresponda a dicho número.

Como en los otros textos del CCIR, en las referencias a las Cuestiones y Programas de Estudios en el interior de los textos, se indica sólo el número base.

2.2 *Clasificación de Cuestiones y Programas de Estudios*

El plan que figura en la página II indica el Volumen que contiene los textos de cada Comisión de Estudio, lo que permite determinar en qué Volumen se encuentra una Cuestión o un Programa de Estudios determinado.

VOLUMEN IV

SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Comisión de Estudio 4)

CUADRO DE MATERIAS

Página

Plan de los Volúmenes I a XIV de la XVI Asamblea Plenaria del CCIR II

Distribución de los textos de la XVI Asamblea Plenária del CCIR entre los Volúmenes I a XIV III

Cuadro de materias VII

Índice de los textos suprimidos XIII

Índice numérico de los textos XV

Índice de los textos publicados en otros Volúmenes pero que contienen información de interés para el servicio fijo por satélite XVII

Mandato de la Comisión de Estudio 4 e Introducción por el Relator Principal XXIII

Sección 4A — Definiciones

Informe 204-6 Términos y definiciones relativos a radiocomunicaciones espaciales 1

Sección 4B — Frecuencias, órbitas y sistemas

Informe 205-4 Factores que influyen en la selección de frecuencias para las telecomunicaciones con estaciones espaciales del servicio fijo por satélite 5

Informe 214-4 Influencia de los desplazamientos de frecuencia debidos al efecto Doppler y de las discontinuidades por conmutación en el servicio fijo por satélite 8

Informe 383-4 Influencia del tiempo de propagación en el servicio fijo por satélite 15

Informe 451-3 Factores que influyen en el diseño de los sistemas y en la elección de frecuencias para enlaces entre satélites del servicio fijo por satélite 23

Informe 552-3 Utilización de las bandas de frecuencias superiores a 10 GHz por el servicio fijo por satélite 36

Sección 4C — Características de la banda de base

Rc. 352-4 Circuito ficticio de referencia para los sistemas que utilizan la transmisión analógica en el servicio fijo por satélite 53

Rc. 353-5 Potencia de ruido admisible en el circuito ficticio de referencia para la telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia en el servicio fijo por satélite 54

Rc. 354-2 Anchura de banda de video y nivel de ruido admisible en el circuito ficticio de referencia para el servicio fijo por satélite 56

		Página
Informe 208-6	Constitución del circuito ficticio de referencia y normas sobre el nivel de ruido admisible para transmisión de telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia y de televisión, en el servicio fijo por satélite	56
Rc. 521-2	Trayecto digital ficticio de referencia para los sistemas del servicio fijo por satélite que utilizan la transmisión digital	63
Rc. 522-2	Valores admisibles de la proporción de bits erróneos a la salida del trayecto digital ficticio de referencia en los sistemas del servicio fijo por satélite que utilizan la modulación por impulsos codificados para telefonía	64
Rc. 614	Objetivos de características de error para un trayecto digital ficticio de referencia del servicio fijo por satélite que funciona por debajo de 15 GHz, cuando forma parte de una conexión internacional en una red digital de servicios integrados	65
Informe 997	Características de un trayecto digital ficticio de referencia del servicio fijo por satélite que forme parte de una red digital de servicios integrados	67
Rc. 446-2	Dispersión de la energía de la portadora para los sistemas que emplean modulación angular por señales analógicas o modulación digital en el servicio fijo por satélite	80
Informe 384-5	Dispersión de energía en el servicio fijo por satélite	81
Informe 867-1	Interferencia máxima admisible sobre las transmisiones SCPC del servicio fijo por satélite	104
Rc. 464-1	Características de preacentuación para los sistemas de modulación de frecuencia para telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia en el servicio fijo por satélite	109
Informe 212-3	Empleo de la preacentuación en los sistemas con modulación de frecuencia para telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia y para televisión, en el servicio fijo por satélite	113
Rc. 579-1	Objetivos de disponibilidad para un circuito ficticio de referencia y un trayecto digital ficticio de referencia para telefonía con modulación por impulsos codificados, o como parte de una conexión ficticia de referencia de una red digital de servicios integrados, en el servicio fijo por satélite	117
Informe 706-2	Disponibilidad de los circuitos en el servicio fijo por satélite	118
Informe 707-1	Características de los interfaces digitales entre redes de satélites y terrenales	122

Sección 4D — Características y mantenimiento de las estaciones terrenas

Rc. 465-2	Diagrama de radiación de referencia de estación terrena para uso en las operaciones de coordinación y evaluación de las interferencias, en la gama de frecuencias comprendida entre 2 y 30 GHz aproximadamente	135
Rc. 580-1	Diagramas de radiación que han de utilizarse como objetivos de diseño para las antenas de las estaciones terrenas que funcionan con satélites geoestacionarios	136
Informe 391-5	Diagramas de radiación de antenas para estaciones terrenas del servicio fijo por satélite, para utilizar en estudios de interferencias y en la determinación de un objetivo de diseño	138
Informe 390-5	Antenas utilizadas en las estaciones terrenas para el servicio fijo por satélite	156
Informe 998	Características de las antenas de estación terrena pequeñas en el servicio fijo por satélite	178
Informe 868-1	Contribuciones a la temperatura de ruido de una antena receptora de estación terrena. *Mediciones de la temperatura de ruido de una antena*	192
Informe 553-3	Explotación y mantenimiento de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite	196
Rc. 481-2	Mediciones de ruido en tráfico real para sistemas del servicio fijo por satélite para telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia	203
Rc. 482-2	Medición de la calidad de funcionamiento mediante una señal de espectro continuo uniforme en sistemas para telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia en el servicio fijo por satélite	204

Página

Informe 385-1 Posibilidad de compartición de las bandas de frecuencias entre los sistemas del servicio fijo por satélite y los servicios terrenales. *Criterios que influyen en la elección de la ubicación de las estaciones terrenas en el servicio fijo por satélite* 208

Informe 554-3 Empleo de una estación terrena transportable con una pequeña antena para las operaciones de socorro en caso de desastres naturales y situaciones críticas análogas . . 210

Informe 869-1 Estaciones terrenas de pequeña capacidad y sistemas de satélites asociados en el servicio fijo por satélite 215

Sección 4E – Compartición de frecuencias entre las redes del servicio fijo por satélite y utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios

Rc. 466-4 Nivel máximo admisible de la interferencia, en un canal telefónico de una red de satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite que utilice la modulación de frecuencia con multiplaje por distribución de frecuencia, producida por otras redes de este servicio 229

Rc. 483-1 Nivel máximo admisible de la interferencia causada en un canal de televisión de una red de satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite con modulación de frecuencia, por otras redes de este servicio 231

Rc. 523-2 Niveles máximos admisibles de la interferencia producida en una red de satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite, utilizada para telefonía con codificación MIC de 8 bits, por otras redes de este servicio 232

Informe 710-2 Distribución de la interferencia en sistemas que funcionan en frecuencias superiores a 10 GHz en el servicio fijo por satélite 234

Rc. 524-2 Niveles máximos admisibles de la densidad de la p.i.r.e. fuera del eje, de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite que funcionan en la banda de frecuencias de 6 GHz 242

Rc. 484-2 Mantenimiento de la posición en longitud de los satélites geoestacionarios que utilizan bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite 243

Informe 556-3 Factores que influyen en el mantenimiento en posición de los satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite 244

Informe 453-4 Factores técnicos que influyen en la eficacia de la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios por satélites de telecomunicación que comparten las mismas bandas de frecuencias. *Resumen general* 247

Informe 1000 Metodologías de utilización del espectro 293

Informe 1001 Límites de densidad de la p.i.r.e. fuera del eje para estaciones terrenas del servicio fijo por satélite 298

Informe 1002 Flexibilidad en el emplazamiento de los satélites 307

Informe 454-4 Método de cálculo para determinar si se requiere coordinación entre redes de satélites geoestacionarios que comparten las mismas bandas de frecuencias 314

Informe 870-1 Métodos de coordinación técnica de los sistemas de telecomunicación por satélite 322

Informe 1003 Métodos para la coordinación multilateral entre redes de satèlite 331

Informe 871-1 Cálculo de la temperatura de ruido equivalente y de la ganancia de transmisión de un enlace por satélite 335

Informe 455-4 Compartición de bandas de frecuencias entre redes del servicio fijo por satélite 338

Informe 555-3 Discriminación mediante la utilización de polarizaciones ortogonales circulares o lineales 356

Informe 557-2 Utilización de las bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite, tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente de los sistemas de satélites geoestacionarios 385

Informe 999 Determinación de la zona de coordinación bidireccional 393

Página

Informe 558-3 Diagramas de radiación de antenas de satélites del servicio fijo por satélite 407

Informe 559 Influencia de las características de modulación sobre la eficacia de la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios en el servicio fijo por satélite 440

Informe 711-1 Criterios de eficacia de utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios 448

Sección 4F — Compartición de frecuencias entre las redes del servicio fijo por satélite y otros sistemas de radiocomunicaciones espaciales

Informe 560-2 Criterios de compartición para la protección de las estaciones espaciales del servicio fijo por satélite que reciben en la banda de 14 a 14,4 GHz 463

Informe 872 Criterios de compartición entre enlaces entre satélites que conectan satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite y el servicio de radionavegación a 33 GHz 465

Informe 561-3 Enlaces de conexión con las estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite 469

Informe 712-1 Factores relativos a la protección de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite, que funcionan en bandas de frecuencias adyacentes, contra las emisiones no deseadas de satélites de radiodifusión que funcionan en bandas de frecuencias de unos 12 GHz . 479

Informe 873-1 Análisis de la interferencia producida por el servicio de radiodifusión por satélite de una región al servicio fijo por satélite de otra región en los alrededores de 12 GHz . . . 490

Informe 713-1 Emisiones no esenciales procedentes de estaciones terrenas y de estaciones espaciales del servicio fijo por satélite 495

Informe 874 Compartición de frecuencias entre el servicio entre satélites cuando se utiliza por el servicio fijo por satélite y otros servicios espaciales 503

Informe 875 Estudio sobre canceladores de interferencia, para su aplicación en el servicio fijo por satélite 504

Informe 1004 Interferencia física en la órbita de los satélites geoestacionarios 512

Cuestiones y Programas de Estudios, Resoluciones, Ruegos y Decisiones

Cuestión 1-2/4 Antenas para sistemas del servicio fijo por satélite 515

Programa de Estudios 1A-1/4 Diagrama de radiación de referencia de las antenas de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite 516

Programa de Estudios 1B/4 Características de radiación de las antenas de satélites del servicio fijo por satélite 516

Programa de Estudios 1C-1/4 Características de las antenas de estaciones terrenas del servicio fijo por satélite 517

Cuestión 27/4 Características técnicas de los sistemas del servicio fijo por satélite 518

Programa de Estudios 27A/4 Características preferidas de modulación y dispersión de la energía en el servicio fijo por satélite 519

Programa de Estudios 27B/4 Características preferidas de acceso múltiple en el servicio fijo por satélite 520

Programa de Estudios 27C/4 Utilización de las bandas de frecuencias superiores a 10 GHz para los sistemas del servicio fijo por satélite 520

Cuestión 28/4 Factores técnicos que influyen en la coordinación y en la eficacia de utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios 521

Página

Programa de Estudios 28A/4 Factores técnicos que influyen en la eficacia de la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios por redes de satélites de radiocomunicación que comparten bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite 522

Programa de Estudios 28B/4 Métodos de coordinación técnica de los sistemas del servicio fijo por satélite 523

Programa de Estudios 28C/4 Criterios de interferencia y métodos de cálculo para redes del servicio fijo por satélite que utilizan la modulación digital 524

Cuestión 29/4 Integración de los sistemas de satélites en las redes de transmisión digital 524

Programa de Estudios 29A/4 Características de los interfaces para enlaces internacionales de transmisión digital en el servicio fijo por satélite 525

Programa de Estudios 29B/4 Integración de los sistemas de satélites en las redes de transmisión de datos 526

Cuestión 30/4 Provisión de enlaces de conexión entre estaciones terrenas fijas y estaciones espaciales de diversos servicios en bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite . . 527

Programa de Estudios 30A/4 Enlaces de conexión para las estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite 528

Programa de Estudios 30B/4 Utilización de estaciones terrenas transmisoras transportables en el servicio fijo por satélite, incluyendo los enlaces de conexión con satélites de radiodifusión 529

Programa de Estudios 30C/4 Enlaces de conexión del servicio fijo por satélite con estaciones espaciales de diversos servicios móviles por satélite 530

Cuestión 31/4 Características de los sistemas del servicio entre satélites utilizados por el servicio fijo por satélite y problemas de compartición con otros servicios 530

Programa de Estudios 31/4 Compartición de frecuencias entre el servicio entre satélites cuando es utilizado para enlaces del servicio fijo por satélite y los servicios de radiocomunicación terrenales 532

Cuestión 32/4 Compartición de frecuencias entre sistemas del servicio fijo por satélite y de los servicios terrenales 532

Programa de Estudios 32A/4 Características técnicas preferidas y elección del emplazamiento de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite para facilitar la compartición con los servicios terrenales 534

Programa de Estudios 32B/4 Técnicas de supresión y reducción de la interferencia para las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite 534

Programa de Estudios 32C/4 Características técnicas preferidas de las estaciones espaciales del servicio fijo por satélite para facilitar la compartición con los servicios terrenales 535

Cuestión 33/4 Compartición de frecuencias entre el servicio fijo por satélite y otros servicios espaciales 535

Programa de Estudios 33A/4 Compartición de frecuencias entre el servicio fijo por satélite y el servicio de radiodifusión por satélite 536

Programa de Estudios 33B/4 Compartición de frecuencias entre el servicio fijo por satélite, el servicio de exploración de la Tierra por satélite (sensores pasivos) y el servicio de investigación espacial (sensores pasivos) 537

Cuestión 7-2/4 Variaciones de la transmisión en la banda de base, tiempo de propagación, ecos y discontinuidades debidas a conmutaciones en los sistemas del servicio fijo por satélite . 537

Cuestión 13-1/4 Factores que contribuyen a la temperatura de ruido de una antena receptora de estación terrena 538

Cuestión 20-1/4 Explotación y mantenimiento de las estaciones terrenas 539

Cuestión 22-1/4 Utilización de sistemas del servicio fijo por satélite en los casos de desastres naturales, epidemias, condiciones de hambre y otras situaciones críticas análogas para avisos y operaciones de socorro 540

		Página
Cuestión 23-1/4	Estaciones terrenas de pequeña capacidad y sistemas de satélites asociados	540
Cuestión 24-2/4	Disponibilidad de los circuitos o de los trayectos digitales e interrupciones breves de la transmisión en el servicio fijo por satélite	541
Programa de Estudios 24A-2/4	Interrupciones del tráfico en los circuitos o en los trayectos digitales del servicio fijo por satélite	542
Cuestión 25-1/4	Emisiones no deseadas radiadas y recibidas por las estaciones terrenas y espaciales del servicio fijo por satélite	543
Cuestión 34/4	Interferencia física en la órbita de los satélites geoestacionarios	544
Ruego 56-1	Delimitación de responsabilidades entre la Comisión de estudio 4 del CCIR y el CCITT en lo que concierne a las Recomendaciones relativas a la red digital	545
Decisión 2-6	Compartición de frecuencias entre satélites de radiocomunicación. *Consideraciones técnicas que influyen en la utilización eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios*	546
Decisión 62	Reorganización de algunas Cuestiones y de los correspondientes Programas de Estudios y posible reducción de algunos textos	548
Decisión 64	Puesta al día del manual sobre telecomunicaciones por satélite. *(Servicio fijo por satélite)*	549
Decisión 70	Establecimiento de sistemas digitales de satélites	549
Decisión 73	Estudios que debe realizar el CCIR en el periodo entre reuniones para la segunda reunión de la CAMR-ORB-88	550

Índice alfabético de términos (palabras clave) del Volumen IV 551

ÍNDICE DE LOS TEXTOS SUPRIMIDOS AL FINAL DEL PERIODO DE ESTUDIOS 1982-1986

Texto	Título	Página N.° Vol. IV Ginebra, 1982
Informe 206-4	Consideraciones generales respecto a la elección de los parámetros orbitales en el servicio fijo por satélite	8
Informe 207-5	Características de algunos sistemas típicos de telecomunicación por satélite, experimentales y en explotación	11
Informe 708-1	Técnicas de acceso múltiple y de modulación para el servicio fijo por satélite	139
Informe 709-1	Consideración del acoplamiento entre una antena de estación terrena y una antena de enlace terrenal	229
Informe 866	Distribución de la interferencia en sistemas analógicos MF que funcionan en frecuencias superiores a 10 GHz en el servicio fijo por satélite	65
Cuestión 2-4/4	Características técnicas de los sistemas del servicio fijo por satélite	467
Programa de Estudios 2A-4/4	Posibilidad de compartición de las bandas de frecuencias entre los sistemas del servicio fijo por satélite y los servicios de radiocomunicación terrenales	469
Programa de Estudios 2D-1/4	Características preferidas de modulación y dispersión de la energía en el servicio fijo por satélite	470
Programa de Estudios 2E-1/4	Características preferidas de acceso múltiple en el servicio fijo por satélite	471
Programa de Estudios 2H-3/4	Utilización de las bandas de frecuencias superiores a 10 GHz para los sistemas del servicio fijo por satélite	471
Programa de Estudios 2J-3/4	Factores técnicos que influyen en la eficacia de la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios por redes de satélites de radiocomunicación que comparten bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite	472
Programa de Estudios 2K-3/4	Enlaces de conexión para las estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite	473
Programa de Estudios 2L-1/4	Compartición de frecuencias entre el servicio de radionavegación y el servicio de radionavegación por satélite, por un lado, y el servicio fijo por satélite, por otro, explotados en frecuencias del orden de 14 GHz	474
Programa de Estudios 2M-1/4	Características de los enlaces de conexión del servicio fijo por satélite utilizados para la conexión con satélites de diversos servicios móviles por satélite	475
Programa de Estudios 2N-1/4	Características de los interfaces para enlaces internacionales de transmisión digital en el servicio fijo por satélite	476
Programa de Estudios 2P-1/4	Características de los sistemas del servicio entre satélites utilizados por el servicio fijo por satélite y problemas de compartición con otros servicios espaciales	477
Programa de Estudios 2Q/4	Integración de los sistemas de satélites en las redes de transmisión de datos	478
Programa de Estudios 2R/4	Métodos de coordinación técnica de los sistemas de comunicación por satélite	478
Programa de Estudios 2S/4	Compartición de frecuencias entre el servicio entre satélites cuando es utilizado para enlaces del servicio fijo por satélite y los servicios de radiocomunicación terrenales	479
Programa de Estudios 2T/4	Compartición de frecuencias entre el servicio fijo por satélite y el servicio de radiodifusión por satélite	480

Texto	Título	Página N.° Vol. IV Ginebra, 1982
Programa de Estudios 2U/4	Compartición de frecuencias entre el servicio fijo por satélite, el servicio de exploración de la tierra por satélite (sensores pasivos) y el servicio de investigación espacial (sensores pasivos)	480
Programa de Estudios 2V/4	Criterios de interferencia y métodos de cálculo para redes del servicio fijo por satélite que utilizan la modulación digital	481
Cuestión 26-1/4	Provisión de enlaces de conexión entre estaciones terrenas fijas y estaciones espaciales de diversos servicios en bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite	488
Decisión 62	Reorganización de algunas cuestiones y de los correspondientes programas de estudios y posible reducción de algunos textos	Conclusiones Int., 227
Decisión 73	Estudios que debe realizar el CCIR en el periodo entre reuniones para la segunda reunión de la CAMR-ORB(88)	Circular Administrativa AC/270

ÍNDICE NUMÉRICO DE LOS TEXTOS

Página

SECCIÓN 4A: Definiciones 1

SECCIÓN 4B: Frecuencias, órbitas y sistemas 5

SECCIÓN 4C: Características de la banda de base 53

SECCIÓN 4D: Características y mantenimiento de las estaciones terrenas 135

SECCIÓN 4E: Compartición de frecuencias entre las redes del servicio fijo por satélite y utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios 229

SECCIÓN 4F: Compartición de frecuencias entre las redes del servicio fijo por satélite y otros sistemas de radiocomunicaciones espaciales 463

RECOMENDACIONES	Sección	Página
Recomendación 352-4	4C	53
Recomendación 353-5	4C	54
Recomendación 354-2	4C	56
Recomendación 446-2	4C	80
Recomendación 464-1	4C	109
Recomendación 465-2	4D	135
Recomendación 466-4	4E	229
Recomendación 481-2	4D	203
Recomendación 482-2	4D	204
Recomendación 483-1	4E	231
Recomendación 484-2	4E	243
Recomendación 521-2	4C	63
Recomendación 522-2	4C	64
Recomendación 523-2	4E	232
Recomendación 524-2	4E	242
Recomendación 579-1	4C	117
Recomendación 580-1	4D	136
Recomendación 614	4C	65
INFORMES		
Informe 204-6	4A	1
Informe 205-4	4B	5
Informe 208-6	4C	56
Informe 212-3	4C	113
Informe 214-4	4B	8
Informe 383-4	4B	15
Informe 384-5	4C	81
Informe 385-1	4D	208
Informe 390-5	4D	156
Informe 391-5	4D	138
Informe 451-3	4B	23
Informe 453-4	4E	247
Informe 454-4	4E	314
Informe 455-4	4E	338

INFORMES	Sección	Página
Informe 552-3	4B	36
Informe 553-3	4D	196
Informe 554-3	4D	210
Informe 555-3	4E	356
Informe 556-3	4E	244
Informe 557-2	4E	385
Informe 558-3	4E	407
Informe 559	4E	440
Informe 560-2	4F	463
Informe 561-3	4F	469
Informe 706-2	4C	118
Informe 707-1	4C	122
Informe 710-2	4E	234
Informe 711-1	4E	448
Informe 712-1	4F	479
Informe 713-1	4F	495
Informe 867-1	4C	104
Informe 868-1	4D	192
Informe 869-1	4D	215
Informe 870-1	4E	322
Informe 871-1	4E	335
Informe 872	4F	465
Informe 873-1	4F	490
Informe 874	4F	503
Informe 875	4F	504
Informe 997	4C	67
Informe 998	4D	178
Informe 999	4E	393
Informe 1000	4E	293
Informe 1001	4E	298
Informe 1002	4E	307
Informe 1003	4E	331
Informe 1004	4F	512

Nota. – Las Cuestiones, Programas de Estudios, Ruegos y Decisiones que figuran ya en orden numérico en el cuadro de materias, no se repiten en el presente índice.

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

ÍNDICE DE LOS TEXTOS PUBLICADOS EN OTROS VOLÚMENES PERO QUE CONTIENEN INFORMACIÓN DE INTERÉS PARA EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

Texto	Título	Volumen
Recomendación 329	Emisiones no esenciales	I
Recomendación 331	Ruido y sensibilidad de los receptores	I
Recomendación 332	Selectividad de los receptores	I
Informe 181	Tolerancias de frecuencia de los transmisores	I
Informe 276	Comprobación de las emisiones radioeléctricas procedentes de vehículos espaciales en las estaciones fijas de comprobación técnica	I
Informe 528	Influencia de la interferencia cocanal sobre el comportamiento de un sistema con modulación por desplazamiento múltiple de fase (MDMP)	I
Informe 656	Utilización eficaz del espectro mediante métodos probabilísticos	I
Informe 657	Modelo estadístico para la determinación de criterios de compartición de bandas	I
Informe 663	Características de las grandes antenas reflectoras de ondas milimétricas y submilimétricas	I
Informe 664	Examen de utilización de la banda de frecuencias comprendidas entre 40 y 3000 GHz aproximadamente	I
Informe 665	Sistemas de antenas de haces múltiples en ondas centimétricas y milimétricas para comunicaciones por satélite	I
Informe 666	Sistemas de telecomunicaciones que utilizan el espectro electromagnético por encima de 3000 GHz	I
Informe 670	Niveles mínimos mundiales de ruido externo, de 0,1 Hz a 100 GHz	I
Informe 828	Resultados teóricos y prácticos de la compartición del espectro entre sistemas MDF-MF y sistemas de radar mediante la técnica de supresión de los impulsos en la recepción por diversidad en frecuencia	I
Informe 829	Cálculo de la probabilidad de interferencia	I
Informe 830	Utilización de supresores de interferencia para acrecentar la utilización del espectro	I
Informe 831	Utilización de pantallas especiales para aumentar la protección de los enlaces radioeléctricos contra la interferencia	I
Informe 836	Cálculos de anchura de banda necesaria	I
Informe 841	Gestión del espectro de frecuencias y técnicas de asistencia mediante computador	I
Cuestión 18	Diseño de sistemas para aumentar al máximo la eficacia de utilización y el aprovechamiento del espectro radioeléctrico	I
Cuestión 44	Modelos de sistemas para la evaluación de la compatibilidad en la utilización del espectro	I
Cuestión 45	Criterios técnicos para la compartición de frecuencias	I
Cuestión 62	Protección de los equipos radioeléctricos contra el rayo	I
Decisión 56	Transferencia de tecnología	I
Recomendación 363	Sistemas de operaciones espaciales. *Frecuencias, anchuras de banda y criterios de protección*	II
Recomendación 364	Enlaces de telecomunicación para los satélites de investigación, tripulados o no, próximos a la Tierra. *Frecuencias, anchuras de banda y criterios de protección*	II
Recomendación 517	Protección del servicio de radioastronomía contra los transmisores que trabajan en las bandas adyacentes	II
Recomendación 578	Criterios de protección y consideraciones relativas a la compartición para la investigación del espacio lejano	II

Texto	Título	Volumen
Recomendación 610	Clasificación de las distancias en el espacio para utilización de vehículos espaciales	II
Informe 224	Criterios de protección contra interferencias para el servicio de radioastronomía	II
Informe 396	Telemedida de mantenimiento, seguimiento y telemando de los satélites experimentales y de explotación. *Posibilidades de compartición de frecuencias entre los servicios terrenales y los enlaces de telemedida y telemando de los satélites*	II
Informe 540	Posibilidad de compartición de frecuencias entre un sistema del servicio de exploración de la Tierra por satélite y los sistemas de los servicios fijo por satélite, de meteorología por satélite, fijo terrenal y móvil terrenal	II
Informe 546	Tecnología de los sistemas espaciales utilizados en el servicio de investigación espacial: Tecnología de control de actitud	II
Informe 675	Diagramas de radiación de antenas de estaciones terrenas de investigación espacial, para utilizar en los estudios sobre interferencias	II
Informe 676	Antenas de haz perfilado	II
Informe 685	Criterios de protección y consideraciones relativas a la compartición de frecuencias en el caso de la investigación del espacio lejano	II
Informe 694	Consideraciones sobre la compartición de frecuencias y criterios de protección relativos a los sensores pasivos en microondas	II
Informe 697	Interferencias causadas en el servicio de radioastronomía por transmisores que trabajan en otras bandas	II
Informe 843	Técnicas de mantenimiento en posición de satélites geoestacionarios	II
Informe 844	Interferencia potencial entre las telecomunicaciones con el espacio lejano y los sistemas de los servicios fijo por satélite y de radiodifusión por satélite en las bandas armónicamente relacionadas	II
Informe 847	Satélites de retransmisión de datos. *Compartición con otros servicios en las bandas 9 (B.dm) y 10 (B.cm)*	II
Informe 850	Compartición de frecuencias entre detectores pasivos y los servicios fijo, móvil (salvo móvil aeronáutico) y fijo por satélite en la banda 18,6-18,8 GHz. *Restricciones mínimas para otros servicios a fin de garantizar el funcionamiento de los detectores pasivos*	II
Informe 981	Consideraciones sobre la compartición de frecuencias cerca de 2 GHz entre satélites de los servicios de exploración de la Tierra, de investigación espacial y de operaciones espaciales y los sistemas terrenales de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa del servicio fijo	II
Informe 985	Criterios de protección relativos a los sistemas de investigación espacial cerca de la Tierra	II
Informe 986	Definición de espacio lejano con fines de utilización de vehículos espaciales	II
Cuestión 18	Criterios de protección para los sistemas que proporcionan funciones de operaciones espaciales	II
Cuestión 19	Emisiones no esenciales producidas por estaciones de servicios espaciales o recibidas por éstas	II
Cuestión 24	Características de los enlaces entre satélites	II
Programa de Estudios 15C	Protección del equipo de telecomunicaciones contra las radiaciones de radiofrecuencia de las estaciones terrenas de investigación espacial	II
Recomendación 452	Datos de propagación para evaluar la interferencia en los servicios espaciales y terrenales o entre ellos, y para calcular las distancias de coordinación	V
Recomendación 530	Datos de propagación necesarios para el diseño de sistemas de relevadores radioeléctricos trans-horizonte con dispersión troposférica de sistemas de relevadores radioeléctricos terrenales con visibilidad directa y de sistemas de telecomunicación Tierra-espacio	V
Recomendación 581	Noción de «mes más desfavorable»	V
Recomendación 618	Datos de propagación necesarios para el diseño de sistemas de telecomunicación Tierra-espacio	V

Texto	Título	Volumen
Recomendación 619	Datos de propagación para evaluar la interferencia entre estaciones del espacio y estaciones de la superficie de la Tierra	V
Recomendación 620	Datos de propagación para calcular las distancias de coordinación	V
Informe 564	Datos de propagación requeridos para los sistemas de telecomunicaciones espaciales	V
Informe 569	Evaluación de los factores de propagación en los problemas de interferencia entre estaciones en la superficie de la Tierra en frecuencias superiores a unos 0,5 GHz	V
Informe 719	Atenuación producida por los gases de la atmósfera	V
Informe 720	Emisión radioeléctrica de fuentes naturales por encima de unos 50 MHz	V
Informe 721	Atenuación producida por hidrometeoros, en particular en forma de lluvia, y por otras partículas atmosféricas	V
Informe 722	Transpolarización debida a la atmósfera	V
Informe 723	Estadísticas del mes más desfavorable	V
Informe 724	Datos de propagación necesarios para la evaluación de la distancia de coordinación en la gama de frecuencias comprendida entre 1 y 40 GHz	V
Informe 884	Datos de propagación para los sistemas móviles marítimo y terrestre por satélite por encima de 100 MHz	V
Informe 885	Datos de propagación necesarios para la evaluación de la interferencia entre estaciones en el espacio y estaciones en la superficie de la Tierra	V
Informe 1007	Distribución estadística de la propagación de las ondas radioeléctricas	V
Informe 1010	Datos de propagación para la coordinación bidireccional de las estaciones terrenas	V
Informe 887	Modelos de plasmas extraterrestres	VI
Recomendación 496	Límites de densidad de flujo de potencia de los transmisores de radionavegación para asegurar la protección de los receptores de estaciones espaciales del servicio fijo por satélite en la banda de 14 GHz	VIII
Informe 772	Consideraciones relativas a la separación orbital para el servicio movil por satélite	VIII
Informe 773	Concepto relativo a los contornos de coordinación de estaciones terrenas móviles	VIII
Informe 917	Niveles admisibles de la interferencia en los canales telefónicos del servicio móvil marítimo por satélite	VIII
Informe 1049	Control de los productos de intermodulación pasiva	VIII
Informe 1050	Consideraciones técnicas y de explotación para el servicio de radiodeterminación por satélite en las bandas 9 y 10	VIII
Programa de Estudios 17A	Características técnicas de los sistemas que utilizan técnicas espaciales de telecomunicación y de radiodeterminación para aeronaves, barcos, o ambos	VIII
Recomendación 390	Definición de términos y referencias relativos a circuitos ficticios de referencia y trayectos digitales ficticios de referencia para sistemas de relevadores radioeléctricos	IX
Informe 614	Diagramas de radiación de referencia para antenas de sistemas de relevadores radioeléctricos	IX
Informe 789	Protección de los sistemas radioeléctricos terrenales con visibilidad directa contra la interferencia causada por el servicio de radiodifusión por satélite en la banda 11,7 a 12,75 GHz	IX
Informe 1054	Interferencias en sistemas de relevadores radioeléctricos causadas por la dispersión en el terreno	IX
Cuestión 27	Nuevas técnicas de compartición del espectro y de utilización de bandas de frecuencias para los sistemas de relevadores radioeléctricos	IX
Informe 808	Servicio de radiodifusión por satélite. *Tecnología del segmento espacial*	X/XI-2
Informe 809	Compartición interregional de la banda de frecuencias 11,7 a 12,75 GHz entre los servicios de radiodifusión por satélite y fijo por satélite	X/XI-2
Informe 951	Compartición entre el servicio entre satélites y el servicio de radiodifusión por satélite en la proximidad de 23 GHz	X/XI-2

Texto	Título	Volumen
Informe 952	Características técnicas de los enlaces de conexión con satélites de radiodifusión. *Elementos requeridos para el establecimiento de planes de asignaciones de frecuencias y posiciones orbitales para el servicio de radiodifusión por satélite y los enlaces de conexión asociados. Compartición en las bandas atribuidas a los enlaces de conexión*	X/XI-2
Cuestión 1	Servicio de radiodifusión (sonora y de televisión) por satélite: *Protección contra la interferencia*	X/XI-2
Programa de Estudios 1A	Servicio de radiodifusión por satélite (sonora y de televisión). *Utilización de la banda de 12 GHz*	X/XI-2
Programa de Estudios 1B	Frecuencias para los enlaces de conexión con un satélite de radiodifusión (sonora y de televisión)	X/XI-2
Programa de Estudios 1D	Servicio de radiodifusión por satélite (televisión). *Criterios que deben aplicarse para la compartición de frecuencias entre el servicio de radiodifusión por satélite y los servicios terrenales y espaciales en la banda de 2500 a 2600 MHz*	X/XI-2
Programa de Estudios 1E	Estudios sobre compartición entre la televisión de alta definición en el servicio de radiodifusión por satélite y otros servicios	X/XI-2
Programa de Estudios 2E	Radiación de emisiones no deseadas por estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite (sonora y de televisión)	X/XI-2
Programa de Estudios 2J	Características técnicas y métodos de planificación de los enlaces de conexión con satélites de radiodifusión (televisión) en la banda de 12 GHz en las Regiones 1 y 3	X/XI-2
Ruego 38	Intercambio de programas de televisión en blanco y negro y en color por medio de satélites	XI
Recomendación 570	Utilización de una señal de prueba normalizada como carga convencional de un canal de televisión	XII
Informe 488	Transmisión de señales de sonido y de imagen con multiplaje por distribución en el tiempo o con multiplaje por distribución de frecuencia	XII
Informe 636	Distorsión de señales de larga duración en circuitos de televisión de larga distancia	XII
Informe 639	Disponibilidad de un circuito o cadena internacional de televisión	XII
Informe 643	Utilización de una señal de prueba normalizada como carga convencional de un canal de televisión	XII
Informe 970	Características de las señales de video. *Limitación de las componentes espectrales fuera de banda*	XII
Informe 1090	Utilización de estaciones terrenas transmisoras transportables para la transmisión por satélite de reportajes de televisión	XII
Cuestión 24	Transmisión de señales de televisión utilizando multiplexión analógica de las componentes (MAC)	XII
Programa de Estudios 13E	Modulación de las señales de televisión por el ruido debido a los temblores de fase de la portadora. *Niveles admisibles*	XII
Programa de Estudios 13G	Utilización de estaciones terrenas transmisoras transportables y móviles para la transmisión por satélite de reportajes de televisión	XII
Programa de Estudios 14A	Transmisión digital de señales de televisión	XII
Programa de Estudios 15G	Modulación de las señales de televisión por el ruido debido a los temblores de fase de la portadora. *Métodos de medición*	XII
Programa de Estudios 16C	Objetivos de disponibilidad aplicables a los sistemas de transmisión de televisión que utilicen la modulación digital	XII

Texto	Título	Volumen
Programa de Estudios 18A	Normas para la transmisión digital de señales de radiodifusión sonora	XII
Programa de Estudios 20C	Disponibilidad de las conexiones radiofónicas digitales internacionales	XII
Programa de Estudios 21D	Características de las señales de video	XII
Decisión 18	Sistemas digitales para la transmisión de señales de radiodifusión sonora y de televisión	XII
Recomendación 431	Nomenclatura de las bandas de frecuencias y de lás longitudes de onda empleadas en telecomunicaciones	XIII
Recomendación 573	Vocabulario de radiocomunicaciones	XIII
Recomendación 574	Magnitudes y unidades logarítmicas	XIII
Recomendación 607	Términos y abreviaturas relacionadas con cantidades de información en telecomunicaciones	XIII
Recomendación 662	Términos y definiciones	XIII
Recomendación 666	Abreviaturas y siglas utilizadas en telecomunicaciones	XIII
Resolución 66	Términos y definiciones	XIII
Resolución 78	Presentación de los textos relativos a la terminología	XIII
Resolución 89	Directrices para la selección de términos y elaboración de definiciones	XIII
Decisión 19	Términos y definiciones	XIII

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

COMISIÓN DE ESTUDIO 4

Mandato:

Estudiar las cuestiones relativas a los sistemas del servicio fijo por satélite y a los enlaces entre satélites del servicio fijo por satélite (incluidas las funciones de seguimiento, telemedida y telemando asociadas).

1982-1983	*Relator Principal:*	E. R. CRAIG (Australia) (Fallecido)
	Relatores Principales Adjuntos:	E. HAUCK (Suiza) G. MESIAS (Colombia) P. REMEDI (Indonesia)
1983-1986	*Relator Principal:*	E. R. HAUCK (Suiza)
	Relatores Principales Adjuntos:	G. MESIAS (Colombia) T. MURATANI (Japón) P. REMEDI (Indonesia)
1986-1990	*Relator Principal:*	E. R. HAUCK (Suiza)
	Relatores Principales Adjuntos:	F. S. LEITE (Brasil) T. MURATANI (Japón) P. REMEDI (Indonesia)

INTRODUCCIÓN POR EL RELATOR PRINCIPAL DE LA COMISIÓN DE ESTUDIO 4

1. Generalidades

En la primavera de 1983, los miembros de la Comisión de Estudio 4 se vieron confrontados con la triste noticia del fallecimiento de su Relator Principal, el Sr. E. R. Craig. Esa gran pérdida se produjo en un momento de intensa actividad y de trabajos importantes en el seno de la Comisión de Estudio. Afortunadamente, el Sr. Craig había planificado con antelación y varias actividades se encontraban bastante adelantadas.

La reunión intermedia se celebró del 30 de abril al 18 de mayo de 1984, en Ginebra. Asistieron representantes de 49 administraciones, empresas privadas de explotación reconocidas y organizaciones internacionales, y se examinaron 114 documentos. Entre los Relatores Principales Adjuntos se eligió el nuevo Relator Principal en la persona del Sr. E. Hauck (Suiza). El Dr. T. Muratani (Japón) fue elegido nuevo Relator Principal Adjunto.

La reunión final se celebró del 30 de septiembre al 16 de octubre de 1985 en Ginebra. Asistieron a la misma representantes de 46 administraciones, empresas privadas de explotación reconocidas y organizaciones internacionales, y se examinaron 103 documentos. Se aprobaron dos nuevas Recomendaciones, una por la Comisión de Estudio 4 y otra por las Comisiones Mixtas de Estudio 4 y 9. Se elaboró una nueva Decisión para formular el mandato del GIT 4/2 y otra para establecer el Grupo Especial para la actualización del Manual sobre Telecomunicaciones por Satélite (Servicio Fijo por Satélite) (SFS). Se aprobaron ocho nuevos Informes para el Volumen IV y dos para los Volúmenes IV y IX – Parte 2. Sobre la base de los trabajos del GIT 4/3, fueron reemplazadas la Cuestión 2-4/4 y sus Programas de Estudios y la Cuestión 26-1/4 por siete nuevas Cuestiones y 17 nuevos Programas de Estudios. Se detallan a continuación algunos aspectos de organización y los resultados principales logrados.

2. Aspectos de organización

2.1 *Grupo Interino de Trabajo (GIT) 4/1*

A lo largo del periodo el GIT 4/1 celebró tres reuniones, bajo la Presidencia del Sr. D. Withers (Reino Unido); la primera en mayo de 1983, en Melbourne, la segunda en febrero de 1984 en Ginebra y la tercera en abril de 1985, en Londres. La segunda reunión sirvió, principalmente, para elaborar un informe destinado a la reunión preparatoria de la primera Conferencia de la órbita (RPC a la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones sobre la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios y la planificación de los servicios espaciales que la utilizan CAMR-ORB(1)). Los informes resultantes de las reuniones del GIT constituyeron siempre una base importante para las reuniones de la Comisión de Estudio.

Al jubilarse el Sr. Withers en la Compañía «British Telecom», abandonó también la Presidencia del GIT/4; por lo que, la Comisión de Estudio eligió en su reunión final al Sr. A. G. Reed (Reino Unido) como su sucesor.

El GIT 4/1 se ocupará de la importante tarea de preparar el material, durante el periodo entre reuniones, para la segunda reunión de la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones sobre la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios y la planificación de los servicios espaciales que la utilizan (CAMR-ORB(2)) que se celebrará en 1988. En consecuencia durante la reunión final se revisó la Decisión 2-5, anexándose a ésta una lista de los temas de estudio.

2.2 *Grupo Interino de Trabajo 4/2*

El GIT 4/2 celebró tres reuniones, bajo la Presidencia del Sr. J. Potts (Estados Unidos de América) en enero de 1983 en Ginebra, en febrero de 1984 también en Ginebra y en mayo de 1985 en Montreal. El GIT fue creado para resolver los problemas derivados del desfase de las reuniones del CCIR y del CCITT para contribuir al resultado de la Recomendación del CCITT sobre calidad global (Rec. G.821) para circuitos de la red digital de servicios integrados (RDSI). Durante la reunión intermedia de la Comisión de Estudio 4, se decidió tener en cuenta los resultados de la Asamblea Plenaria del CCITT, celebrada en octubre de 1984, y aplazar la elaboración de una Decisión, con el mandato del GIT 4/2. En la reunión final se decidió mantener el GIT 4/2 y se aprobó la nueva Decisión 70 en la que se especificó su mandato. La Comisión de Estudio confirmó para un segundo periodo al Sr. J. Potts (Estados Unidos de América) como Presidente del GIT 4/2.

2.3 *Grupo Interino de Trabajo 4/3*

Durante la reunión intermedia, la Comisión de Estudio estableció el GIT 4/3 y preparó la nueva Decisión 62, especificando su mandato. Fue nombrado Presidente el Dr. Muratani (Japón). El GIT debía, trabajando por correspondencia, redactar una serie de nuevos textos de Cuestiones y Programas de Estudios, en sustitución de las Cuestiones 2-4/4 y 26-1/4 y de sus Programas de Estudios conexos. El GIT realizó su tarea de una manera muy eficaz y la Comisión de Estudio pudo adoptar, con algunas leves modificaciones, las siete nuevas Cuestiones y 17 nuevos Programas de Estudios, propuestos por el GIT 4/3 (Cuestiones 27/4, 28/4, 29/4, 30/4, 31/4, 32/4, 33/4; Programas de Estudios 27A/4, 27B/4, 27C/4, 28A/4, 28B/4, 28C/4, 29A/4, 29B/4, 30A/4, 30B/4, 30C/4, 31A/4, 32A/4, 32B/4, 32C/4, 33A/4, 33B/4).

Además, se pidió al GIT 4/3 que formulara propuestas para disminuir la extensión de los Informes existentes. Sobre la base de estas propuestas y de los debates de los Grupos de Trabajo en la reunión final, la Comisión de Estudio accedió a suprimir los Informes 206, 207 y 708. Con el fin de reducir aún más los textos del nuevo Volumen, un Grupo Especial, presidido por el Dr. Muratani, propuso que no se reprodujeran los Informes no revisados durante el último periodo, sino que sólo se reimprimieran los títulos (véase la nota). Esto se acordó para los siguientes Informes 205, 383, 385, 559, 560, 707, 711, 712, 713, 872, 874, 875. Sendas excepciones fueron el Informe 212-3 (relativo a la utilización de la preacentuación) y el Informe 451-3 (que trata de los enlaces entre satélites), que se incluyen en este Volumen, aunque no fueron revisados durante el último periodo de estudios. Por otra parte, esta propuesta se aplicó únicamente al Informe 449, en los Volúmenes IV y IX – Parte 2. Como el GIT 4/3 ha cumplido satisfactoriamente su tarea, la Decisión 62 se ha suprimido.

Nota. – Aun cuando otras varias Comisiones de Estudio hicieron propuestas similares, la Asamblea Plenaria decidió que todos los textos vigentes deberían figurar en el presente Volumen. En consecuencia, se han reproducido todos los Informes anteriormente citados en este parráfo.

2.4 *Relatores*

El Sr. Sophianopoulos (Canadá), asistido por el Sr. Houssin (Francia) y el Sr. Menchen (España) para el francés y el español, es el Relator de la Comisión de Estudio 4 ante la CMV y el Grupo Mixto de Coordinación (GMC) con la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI). Su importante trabajo garantiza que los términos y definiciones relativos a radiocomunicaciones espaciales, contenidos en el Informe 204-5, estén actualizados y sean coherentes con los de la CMV y GMC.

El Sr. J. Lewis (Reino Unido) fue Relator ante la Comisión de Estudio XVIII del CCITT durante el último periodo. Gracias a sus esfuerzos y al trabajo del GIT 4/2, la Comisión de Estudio 4 pudo hacer importantes contribuciones a la Comisión de Estudio XVIII del CCITT. Debido a un cambio en su situación de trabajo en el seno de «British Telecom», el Sr. Lewis no podrá continuar su tarea. La Comisión de Estudio eligió al Sr. K. Lum (Canadá) nuevo Relator ante la Comisión de Estudio XVIII del CCITT.

La CMBD, Comisión Mixta del CCITT y del CCIR, fue suprimida en la VIII Asamblea Plenaria del CCITT y las cuestiones relativas a los aspectos de disponibilidad fueron confiados a la Comisión de Estudio II del CCITT. En consecuencia, la Comisión de Estudio 4, aprobó, con la amable autorización de la Administración canadiense, el nombramiento del Sr. Lum como Relator ante la Comisión de Estudio II del CCITT.

2.5 *Grupo Especial para la elaboración del Manual sobre Telecomunicaciones por Satélite (Servicio Fijo por Satélite)*

Bajo la Presidencia del Sr. J. Salomon (Francia) el Grupo Especial para la elaboración del Manual sobre Telecomunicaciones por Satélite (Servicio Fijo por Satélite) completó su tarea. El Manual se publicó en la primavera de 1985 y obtuvo una acogida favorable. Durante la reunión final se creó para actualizar el Manual un Grupo *ad hoc* cuyo mandato se recoge en la Decisión 64. Será presidido por el Sr. J. Salomon (Francia).

3. Temas principales

A continuación, se intenta dividir el trabajo de la Comisión de Estudio 4 en tres temas principales.

3.1 *Utilización de la órbita y el espectro*

Es éste uno de los principales temas de que se ocupa la Comisión de Estudio 4, especialmente con miras a la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones sobre la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios y la planificación de los servicios espaciales que la utilizan. El Informe del GIT 4/1 a la Reunión Preparatoria de la Conferencia (RPC) fue una importante contribución a esta reunión. Asistieron a la RPC miembros de la Comisión de Estudio y el Informe de la misma constituyó una base técnica importante para la primera reunión de la CAMR-ORB(1). Durante el periodo entre reuniones, hasta la segunda reunión de la CAMR-ORB(2), la Comisión de Estudio deberá desempeñar un importante papel en la preparación de la información técnica. La Circular Administrativa AC/270 proporciona información detallada sobre los trabajos entre reuniones.

Incluye, también, la Decisión 73 relativa a los estudios que realizará el CCIR durante el mismo periodo, para la segunda reunión de la CAMR-ORB(2). La Asamblea Plenaria adoptó la Resolución 90 que cancela la Decisión 73, sustituyéndola. La Resolución 90 se ha distribuido como anexo a la Circular Administrativa AC/270 (Rev.1).

En el análisis de los factores técnicos y los parámetros que influyen en la eficacia de la utilización de la órbita de los Satélites Geoestacionarios (OSG), la Comisión de Estudio realizó adelantos considerables. El Informe 453 ha sido extensamente revisado y refleja adecuadamente los resultados de los estudios del último periodo.

El nuevo Informe 1002 muestra las ventajas de la reubicación de satélites en relación con la eficacia de utilización de la OSG. Revela también las dificultades que enfrentan el proyectista y el operador de satélites.

Un parámetro importante en la utilización de la OSG es el límite de densidad de la p.i.r.e. fuera del eje. Además de la Recomendación 524, se redactó el nuevo Informe 1001 en el que figuran extensas listas de límites de densidad de la p.i.r.e. fuera del eje de estaciones terrenas para diversas aplicaciones y bandas de frecuencia.

El Informe 558 describe la influencia del diagrama de radiación de la antena en la utilización de la órbita. El nuevo anexo IV de este Informe contiene los elementos para la preparación de una nueva recomendación, que será examinada en el próximo periodo.

Durante el último periodo se desarrollaron diferentes métodos para aumentar la eficacia de utilización de la OSG. El nuevo Informe 1000 se concentra en la mejor utilización del espectro, que se consigue con la segmentación de las bandas. El nuevo Informe 1003 describe métodos para la coordinación multilateral entre redes de satélites. El texto principal del Informe 870 ha sido revisado en función de las últimas conclusiones. Asimismo, se actualizaron los Informes 454, 455 y 871, que contienen varios métodos de cálculo.

Una posible forma de mejorar la eficacia de utilización de la órbita y del espectro puede ser el uso de la misma banda de frecuencias para el enlace ascendente y para el enlace descendente. Fue revisado el Informe 557, que trata este aspecto; también el nuevo Informe 999 proporciona los métodos de cálculo necesarios.

Se revisaron varias Recomendaciones, con el objeto de mejorar la utilización de la órbita y del espectro.

Los diagramas de radiación que han de utilizarse como objetivos de diseño para las antenas de las estaciones terrenas recomendados en la Recomendación 580 se dan ahora para valores D/λ superiores a 150, entre 100 y 150 y entre 35 y 100. El nuevo Informe 998 proporciona explicaciones útiles de las consecuencias de estas exigencias sobre el diseño de la antena de las estaciones terrenas y contiene resultados de mediciones de antenas existentes.

En la Recomendación 465, que se refiere al diagrama de radiación de referencia de estación terrena para uso en las operaciones de coordinación y evaluación de las interferencias, el límite superior de la gama de frecuencias de 10 GHz fue incrementado hasta unos 30 GHz.

La Recomendación 524 sobre los niveles máximos admisibles de la densidad de la p.i.r.e. fuera del eje en la banda de frecuencia de 6 GHz, se hizo extensiva a las antenas instaladas después del año 1988.

En las Recomendaciones 466 y 523 se aumentaron los niveles máximos admisibles de interferencia. El aumento del valor de interferencia correspondiente a una sola fuente, en la Recomendación 523 (de 4% a 6%) provocó reservas en algunas administraciones. Esta situación se refleja en las actas de la reunión final de la Comisión de Estudio.

Debido al uso creciente de la OSG, además de la interferencia electromagnética, aumenta el peligro de interferencia física. En consecuencia, la Comisión de Estudio 4 redactó la nueva Cuestión 34/4. El nuevo Informe 1004 proporciona las primeras informaciones al respecto.

Conjuntamente con la Comisión de Estudio 9, se estudiaron aspectos de la compartición con sistemas terrenales de relevadores radioeléctricos (servicio fijo). La nueva Recomendación 615 especifica los valores de interferencia admisibles del SFS a los sistemas terrenales de relevadores radioeléctricos.

En el nuevo Informe 1006 se obtienen los límites de la p.i.r.e. de los transmisores del servicio fijo necesarios para proteger los enlaces de conexión del servicio de radiodifusión por satélite que comparten la misma banda.

El proyecto de nuevo Informe 1005 describe las formas en que se puede introducir la explotación en banda inversa para reducir considerablemente las dificultades de compartición con los enlaces de relevadores radioeléctricos terrenales.

En la Recomendación 558 se agregó un tercer párrafo al § 1 del «Recomienda», relativo a interferencias a corto plazo producidas por radioenlaces terrenales a sistemas del SFS. Se revisaron varios Informes de los Volúmenes IV y IX – Parte 2; en particular, se actualizó extensamente el Informe 382.

3.2 *Aspectos relativos a la calidad y disponibilidad de los sistemas*

El GIT 4/2 realizó una importante labor, en coordinación con el CCITT, para asegurar que las normas de calidad de los sistemas de satélites respondan satisfactoriamente a las exigencias y a los nuevos servicios de telecomunicaciones digitales. La nueva Recomendación 614 enuncia las condiciones de calidad necesarias para que los sistemas de satélites que forman parte de una conexión internacional RDSI satisfagan las especificaciones generales de la Recomendación G.821 del CCITT. Al redactar esta Recomendación, la Comisión de Estudio tuvo muy presente las consecuencias que tendrían unas especificaciones demasiado rápidas en el diseño del sistema y en los costes. A mi juicio se logró aquí un compromiso muy satisfactorio. El nuevo Informe 997 trata estas consideraciones en detalle.

Se modificaron considerablemente las Recomendaciones 522 y 579, sobre todo para tener en cuenta la indisponibilidad debida a los efectos de propagación en sistemas que operan por encima de 10 GHz.

Se agregó al Informe 208 un nuevo anexo II, en el que se discute el impacto de la atenuación debida a la lluvia en sistemas que funcionan en las bandas de 14/11 GHz, en razón de la Recomendación 353 del CCIR y de la Recomendación G.222 del CCITT.

3.3 *Aspectos relativos al mantenimiento de las estaciones terrenas*

Las Recomendaciones 481 y 482, que tratan de las mediciones de ruido y calidad de funcionamiento en sistemas para telefonía con multiplaje por distribución de frecuencias, se hicieron extensivas también a 372, 492, 552 y 1200 canales de telefonía.

Se incorporó el anexo III al Informe 553, que presenta configuraciones para efectuar pruebas con ayuda de modernas técnicas de computador para realizar mediciones de ajuste.

Se agregó, en el Informe 384, información suplementaria sobre dispersión de energía para portadoras de televisión MF, con miras a reducir la interferencia a portadoras SCPC.

4. Conclusiones

El último periodo de estudios fue de particular importancia para las comunicaciones en general, pero especialmente para las comunicaciones por satélite. La utilización práctica de la transmisión digital, con todas sus aplicaciones, evoluciona rápidamente. En muchas de las nuevas aplicaciones, como la teleconferencia, la comunicación por satélite desempeña una función destacada. En consecuencia, resultaba de particular importancia que la Comisión de Estudio lograra mejorar y ampliar las recomendaciones prácticas que establecen las condiciones de disponibilidad y de calidad para los sistemas de satélites. No obstante, el creciente interés en las comunicaciones por satélite evidenció el carácter limitado de la órbita y el espectro como recursos naturales, lo que llevó a una primera reunión de la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones sobre la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios y la planificación de los servicios espaciales que la utilizan (CAMR-ORB(1)). Como señalé en el § 3.1 de este informe, la Comisión de Estudio 4 aportó importante material técnico a esta Conferencia.

Considero que el próximo periodo de estudios será tan importante como el anterior. Se pondrán en práctica sistemas digitales y sistemas por encima de 10 GHz y la experiencia demostrará la funcionalidad de las recomendaciones en materia de disponibilidad y de calidad. En 1988 tendrá lugar la segunda reunión de la CAMR-ORB y la Comisión de Estudio 4 desempeñará un papel importante en el suministro de información técnica.

Quiero agradecer a todos los delegados de la Comisión de Estudio 4, en particular a los Presidentes y participantes en los GIT, los esfuerzos que realizaron para obtener resultados tan satisfactorios en el último periodo; espero continuar trabajando con el mismo espíritu positivo durante el próximo periodo. En particular, deseo invitar a aquellos países que instalaron recientemente sus propias redes de satélites y que no participaron en los trabajos de la Comisión de Estudio 4 a que se unan a ella y contribuyan, con su experiencia, a las tareas de la Comisión.

SECCIÓN 4A: DEFINICIONES

Informe

INFORME 204-6

TÉRMINOS Y DEFINICIONES RELATIVOS A RADIOCOMUNICACIONES ESPACIALES

(1963-1966-1970-1974-1978-1982-1986)

Los términos y definiciones concernientes a los sistemas, servicios y estaciones espaciales no se incluyen en el presente Informe, por figurar en el Reglamento de Radiocomunicaciones.

Vehículo espacial

Vehículo construido por el hombre y destinado a salir de la parte principal de la atmósfera terrestre.

Sonda espacial

Vehículo espacial destinado a efectuar observaciones o mediciones en el espacio.

Satélite

Cuerpo que gira alrededor de otro cuerpo de masa preponderante y cuyo movimiento está principalmente determinado, de modo permanente, por la fuerza de atracción de este último.

Nota. – Todo cuerpo que corresponda a esta definición y gire alrededor del Sol, se denomina «planeta o planetoide».

Satélite activo

Satélite provisto de una estación destinada a transmitir o a retransmitir señales de radiocomunicación.

Satélite reflector

Satélite destinado a transmitir señales de radiocomunicación por reflexión.

Cuerpo primario (para un satélite)

El cuerpo cuya fuerza de atracción determina principalmente el movimiento de un satélite.

Órbita

Trayectoria que describe, con relación a un sistema de referencia especificado, el centro de gravedad de un satélite, o de otro objeto espacial, por la acción única de fuerzas naturales, fundamentalmente las de gravitación; por extensión, trayectoria que describe el centro de gravedad de un cuerpo espacial por la acción de las fuerzas de origen natural y eventualmente por las fuerzas correctivas de poca energía ejercidas por un dispositivo de propulsión con el objeto de lograr y mantener la trayectoria deseada.

Órbita no perturbada (de un satélite)

Órbita de un satélite en el caso ideal en que el satélite está sometido únicamente a la atracción del cuerpo primario, que se supone concentrado en su centro de gravedad.

Nota. – En un sistema de referencia cuyo centro es el centro de gravedad del cuerpo primario y cuyos ejes tienen direcciones fijas con respecto a las estrellas, la órbita no perturbada es una sección cónica.

Elementos de una órbita (de satélite u otro cuerpo espacial)

Parámetros que permiten definir la forma, las dimensiones y la posición de la órbita de un cuerpo en el espacio, así como el periodo de ese cuerpo, con relación a un sistema de referencia especificado.

Nota 1. – Para determinar la posición de un cuerpo en el espacio, en cualquier instante, es necesario conocer, además de los elementos de su órbita, la posición de su centro de gravedad sobre la misma en un instante dado.

Nota 2. – El sistema de referencia empleado es un triedro trirrectángulo directo OXYZ que tiene su origen en el centro de gravedad del cuerpo primario y cuyo tercer eje OZ es perpendicular al plano principal de referencia, llamado también plano fundamental de referencia o, sencillamente, plano de referencia.

Nota 3. – En el caso de un satélite artificial de la Tierra, el plano de referencia es el plano del ecuador terrestre y el tercer eje OZ está orientado de Sur a Norte.

Arco visible

Parte común del arco de la órbita de los satélites geoestacionarios en la que la estación espacial es visible, por encima del horizonte local, desde cada estación terrena asociada que esté situada en la zona de servicio.

Arco de servicio

Arco de la órbita de los satélites geoestacionarios en el cual la estación espacial podría prestar el servicio requerido a todas sus estaciones terrenas situadas en la zona de servicio. (El servicio requerido depende de las características del sistema y de las necesidades de los usuarios.)

Plano de la órbita (de un satélite)

Plano que contiene el centro de gravedad del cuerpo primario y el vector velocidad de un satélite, siendo el sistema de referencia el especificado para definir los elementos de la órbita.

Nodo ascendente (descendente)

Punto en que la órbita de un satélite o de un planeta corta el plano principal de referencia, siendo creciente (decreciente) la tercera coordenada del satélite o planeta al pasar por este punto.

Órbita directa (retrógrada) (de un satélite)

Órbita de un satélite en la cual la proyección del centro de gravedad del satélite sobre el plano principal de referencia gira alrededor del eje del cuerpo primario y en su mismo sentido (en sentido contrario).

Inclinación (de una órbita de satélite)

Ángulo que forma el plano de la órbita de un satélite con el plano principal de referencia.

Nota. – Por convenio, la inclinación de una órbita directa es un ángulo agudo y la inclinación de una órbita retrógrada, un ángulo obtuso.

Órbita circular (de un satélite)

Órbita de un satélite en que la distancia entre los centros de gravedad del satélite y del cuerpo primario es constante.

Órbita elíptica (de un satélite)

Órbita de un satélite en que la distancia entre los centros de gravedad del satélite y del cuerpo primario no es constante, pero permanece finita.

Nota. – La órbita no perturbada es una elipse en un sistema de referencia cuyo origen es el centro de gravedad del cuerpo primario y cuyos ejes tienen direcciones fijas respecto a las estrellas.

Órbita ecuatorial (de un satélite)

Órbita de un satélite cuyo plano coincide con el del ecuador del cuerpo primario.

Órbita polar (de un satélite)

Órbita de un satélite cuyo plano contiene el eje polar del cuerpo primario.

Órbita inclinada (de un satélite)

Órbita de un satélite que no es ecuatorial ni polar.

Apoápside

Punto de la órbita de un satélite o de un planeta que está situado a la máxima distancia del centro de gravedad del cuerpo primario.

Periápside

Punto de la órbita de un satélite o de un planeta situado a la mínima distancia del centro de gravedad del cuerpo primario.

Apogeo

Punto de la órbita de un satélite de la Tierra situado a la máxima distancia del centro de la Tierra.

Nota. – El apogeo es el apoápside de un satélite de la Tierra.

Perigeo

Punto de la órbita de un satélite de la Tierra situado a la mínima distancia del centro de la Tierra.

Nota. – El perigeo es el periápside de un satélite de la Tierra.

Altitud del apogeo (del perigeo)

Altitud del apogeo (perigeo) sobre una superficie hipotética de referencia que sirve para representar la superficie de la Tierra.

Periodo de revolución (de un satélite)
Periodo orbital (de un satélite)

Intervalo de tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos de un satélite por un punto característico de su órbita.

Nota. – Si no se especifica el punto característico de la órbita se entiende por convenio, que se trata del periodo anomalístico.

Periodo anomalístico

Intervalo de tiempo comprendido entre dos pasos consecutivos de un satélite por el periápside.

Periodo nodal

Intervalo de tiempo comprendido entre dos pasos consecutivos de un satélite por el nodo ascendente de su órbita.

Periodo de revolución sideral (de un satélite)

Intervalo de tiempo que separa dos intersecciones consecutivas de la proyección de un satélite sobre un plano de referencia que pasa por el centro de gravedad del cuerpo primario y de dirección fija con respecto a las estrellas, con una semirrecta de este plano con origen en el centro de gravedad del cuerpo primario y de dirección igualmente fija con respecto a las estrellas.

Periodo de rotación sideral (de un cuerpo espacial)

Periodo de rotación alrededor de su eje de un cuerpo espacial, con relación a un sistema de referencia fijo con respecto a las estrellas.

Satélite de posición controlada

Satélite en el que la posición del centro de gravedad debe seguir una ley dada, ya sea con relación a las posiciones de otros satélites pertenecientes al mismo sistema espacial o con relación a un punto de la Tierra que está fijo o que se desplaza conforme a una ley conocida.

Satélite sincronizado
Satélite en fase (desaconsejado)

Satélite que ha de conservar forzosamente un periodo anomalístico o un periodo nodal igual al de otro satélite o al de un planeta, o bien igual al periodo de un fenómeno determinado y que tiene que pasar en instantes especificados por un punto característico de su órbita.

Satélite de actitud estabilizada

Satélite en que uno de los ejes por lo menos se mantiene en una dirección especificada, por ejemplo, la del centro de la Tierra o del Sol, o la de un punto determinado del espacio.

Satélite sincrónico

Satélite cuyo periodo de revolución sideral medio es igual al periodo de rotación sideral del cuerpo primario sobre su eje; por extensión, satélite cuyo periodo de revolución sideral medio es aproximadamente igual al periodo de rotación sideral del cuerpo primario.

Satélite geosincrónico

Satélite sincrónico de la Tierra.

Nota. – El periodo de rotación sideral de la Tierra es de aproximadamente 23 horas y 56 minutos.

Satélite subsincrónico (supersincrónico)

Satélite cuyo periodo de revolución sideral medio alrededor del cuerpo primario es un submúltiplo (un múltiplo entero) del periodo de rotación sideral del cuerpo primario sobre su eje.

Satélite estacionario

Satélite que permanece fijo con relación a la superficie del cuerpo primario; por extensión, satélite que permanece aproximadamente fijo con relación a la superficie del cuerpo primario.

Nota. – Un satélite estacionario es un satélite sincrónico de órbita circular, ecuatorial y directa.

Satélite geoestacionario

Satélite estacionario cuyo cuerpo primario es la Tierra.

Órbita de los satélites geoestacionarios

Órbita única de todos los satélites geoestacionarios.

Red de satélite con reutilización de frecuencias

Red de satélite en la que el satélite utiliza la misma banda de frecuencias más de una vez, gracias a la discriminación por polarización de la antena, o a antenas de múltiples haces, o las dos cosas a la vez.

Ángulo geocéntrico

Ángulo formado por líneas rectas imaginarias que unen dos puntos cualesquiera con el centro de la Tierra.

Ángulo topocéntrico

Ángulo formado por líneas rectas imaginarias que unen dos puntos cualesquiera en el espacio con un punto específico en la superficie de la Tierra.

Ángulo exocéntrico

Ángulo formado por líneas rectas imaginarias que unen dos puntos cualesquiera con un punto específico en el espacio.

SECCIÓN 4B: FRECUENCIAS, ÓRBITAS Y SISTEMAS

Informes

INFORME 205-4

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SELECCIÓN DE FRECUENCIAS PARA LAS TELECOMUNICACIONES CON ESTACIONES ESPACIALES DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 2/4)

(1959-1963-1966-1970-1974-1978)

1. Introducción

Este Informe tiene por finalidad exponer brevemente la relación entre la frecuencia y las condiciones de propagación de las ondas radioeléctricas y estudiar otros factores técnicos que influyen en las telecomunicaciones espaciales, con objeto de definir una base para la selección de las frecuencias destinadas a las comunicaciones con estaciones espaciales.

No se estudian en el presente Informe los factores que influyen en la compartición de las frecuencias, pues esta cuestión es objeto de otros Informes.

En el punto 2 se estudian, en términos generales, los factores de propagación y del medio ambiente que influyen en los sistemas de telecomunicación con estaciones espaciales, en tanto que en el punto 3 se consideran las implicaciones de la tecnología del equipo. Los efectos de propagación se analizan con mayor detalle en los textos de la Comisión de Estudio 5 (particularmente en los Informes 564, 719, 720 y 721) y de la Comisión de Estudio 6 (en particular el Informe 263), que deben consultarse en caso necesario.

2. Factores que influyen en las telecomunicaciones con estaciones espaciales

Los sistemas del servicio fijo por satélite están diseñados para funcionar con la mínima potencia de transmisión necesaria, tanto en las estaciones terrenas como en las espaciales, por uno o varios de los siguientes motivos:

- hasta ahora, la potencia disponible en las estaciones espaciales se ha visto limitada por la tecnología y por las restricciones impuestas por el vehículo de lanzamiento;
- en las bandas de frecuencias compartidas con servicios terrenales, se limita la potencia de las estaciones espaciales mediante acuerdo;
- con el uso de potencias de transmisión débiles, se reducen al mínimo las interferencias entre sistemas de telecomunicación espacial y las producidas a sistemas terrenales en las bandas compartidas.

Al propio tiempo, hay que diseñar los sistemas para que puedan atender las necesidades de su tráfico y calidad de funcionamiento. La forma en que pueden atenderse depende de los efectos del medio ambiente y de la propagación y de los niveles de ruido en las estaciones terrenas y espaciales que, a su vez, dependen de la frecuencia.

2.1 *Absorción atmosférica*

Las características de atenuación de la atmósfera «normal» dependen de la frecuencia y permiten que la energía pase a través de la atmósfera más fácilmente en ciertas frecuencias que en otras, habiendo, por consiguiente, gamas de frecuencias más adecuadas para las telecomunicaciones espaciales. Las principales gamas de frecuencias para las telecomunicaciones se sitúan entre la MUF ionosférica (frecuencia máxima utilizable de forma que se produzca la reflexión en la ionosfera) y la primera raya de absorción del oxígeno (unos 60 GHz). También pueden ser interesantes otras ventanas entre las rayas de absorción de los gases por encima de 60 GHz. Otras dos gamas, una por debajo de unos 300 kHz y otra en las regiones óptica y de rayos infrarrojos, son actualmente de poco interés para los sistemas del servicio fijo por satélite.

En la fig. 1 se representa la atenuación con relación a la propagación en el espacio libre para frecuencias comprendidas entre 1 y 300 GHz, en el caso de que la propagación se efectúe en un solo sentido y sobre un trayecto vertical, para una atmósfera seca y una atmósfera moderadamente húmeda (7,5 g/m^3 en la superficie). Para el trazado de esas curvas, se ha supuesto una atmósfera «despejada» (sin hidrometeoros). Con esta hipótesis, la atenuación (en dB) para ángulos de elevación arbitrarios, $5° \leqslant \theta \leqslant 90°$, puede calcularse aproximadamente a partir de los valores para los trayectos verticales multiplicándolos por el factor cosecante θ. Para más detalles, véase el Informe 719.

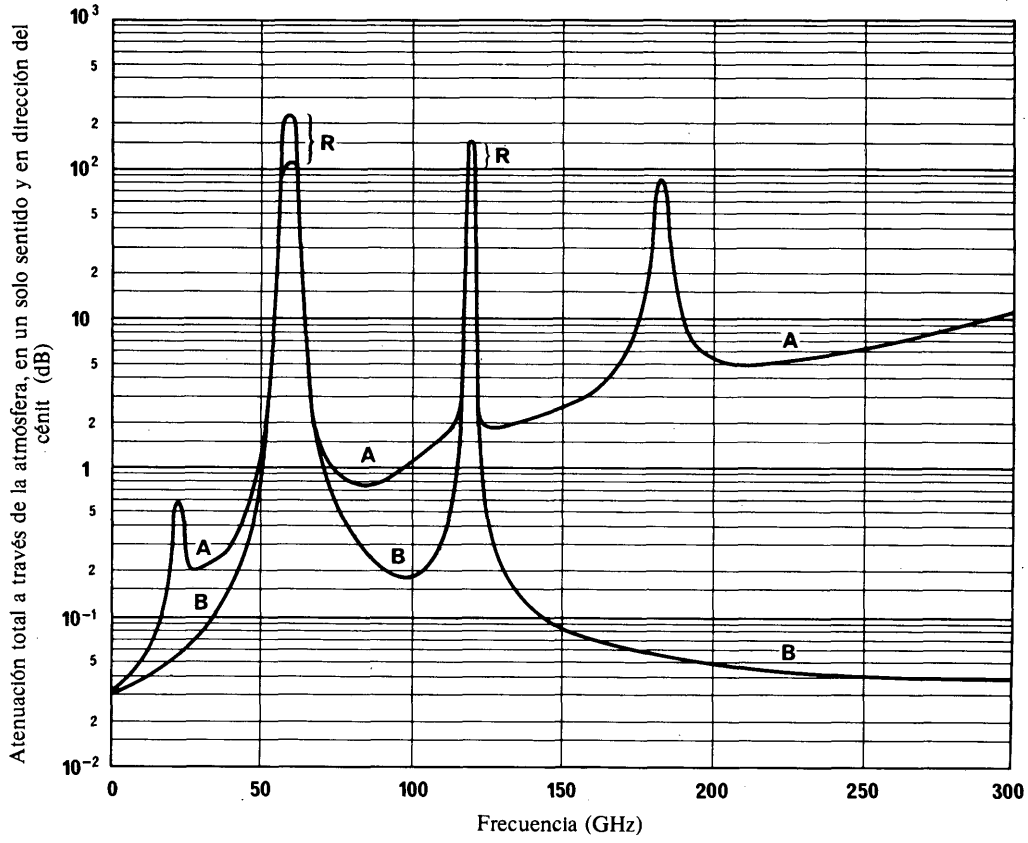


FIGURA 1 — *Atenuación total a través de la atmósfera, en un solo sentido y en dirección del cénit, en función de la frecuencia*

Curvas A: Atmósfera moderadamente húmeda (7,5 g/m³ en la superficie)
B: Atmósfera seca (0 g/m³)
R: Gama de valores correspondientes a la estructura fina

2.2 *Absorción debida a hidrometeoros*

En presencia de hidrometeoros (lluvia, granizo, nieve, niebla, nubes), la atenuación atmosférica aumenta con la frecuencia; especialmente en frecuencias superiores a 10 GHz y durante pequeños porcentajes de tiempo, la atenuación debida a hidrometeoros puede convertirse en factor limitativo en sistemas proyectados para un alto grado de confiabilidad. Un grado importante de atenuación tiende, además, a aumentar la temperatura de ruido del sistema receptor de una estación terrena; de ahí que la relación «portadora/ruido», en el caso de una señal recibida de una estación espacial, pueda sufrir una deterioración superior a la debida únicamente a la atenuación de la señal a lo largo del trayecto. Los hidrometeoros de gran densidad tienden a estar suficientemente localizados de forma que es posible utilizar técnicas de diversidad; estas técnicas de diversidad, para una calidad de servicio dada, pueden permitir una reducción del margen de desvanecimiento necesario.

Para más detalles, incluida la variación de los efectos de atenuación en función del ángulo de elevación, véanse los Informes 564 y 721.

2.3 *Otros efectos de propagación*

Hay otros factores que pueden relacionarse con los efectos debidos exclusivamente a la propagación, a saber:

2.3.1 *Centelleo ionosférico*

En frecuencias inferiores a 1 GHz, aproximadamente, y para pequeños ángulos de elevación hasta unos 7 GHz, el centelleo, es decir, las fluctuaciones de amplitud y de fase debidas a la falta de homogeneidad del índice de refracción de la ionosfera, producen una variación del nivel de la señal recibida, en función del tiempo, que debe tenerse en cuenta en el diseño del sistema mediante un adecuado margen de desvanecimiento. En los textos de la Comisión de Estudio 6 (en particular el Informe 263) se puede encontrar más información sobre la propagación ionosférica.

2.3.2 *Rotación de Faraday*

La interacción de los electrones en movimiento en la ionosfera con el campo magnético terrestre da lugar a una rotación del plano de polarización de una onda con polarización lineal, denominada «rotación de Faraday». El ángulo en que gira el campo eléctrico como consecuencia de la rotación de Faraday depende de muchos factores entre los que se cuentan la estación del año, la hora del día, la actividad solar, la dirección de la onda incidente, las condiciones de la parte de la ionosfera atravesada por la onda, la frecuencia y otros. La rotación de Faraday puede alcanzar a veces un valor de cresta de hasta 150° en 1 GHz, lo que corresponde a 9° en 4 GHz y a 4° en 6 GHz. El sentido de rotación es también opuesto en el caso de la transmisión (6 GHz) con respecto al de recepción (4 GHz). Por ello debe facilitarse en la estación terrena una rotación diferencial del plano de polarización para 6 GHz con relación a 4 GHz.

Por el contrario, es de esperar que, en frecuencias superiores a 10 GHz, la influencia de la rotación de Faraday sea despreciable.

2.3.3 *Efectos de despolarización*

Las señales por encima de 1 GHz pueden experimentar efectos de despolarización que, en general, aumentan con la frecuencia cuando las señales atraviesan un medio de dispersión tal como la lluvia. Ello entraña una pérdida de aislamiento entre dos señales polarizadas ortogonalmente, que puede adquirir valores importantes para pequeños porcentajes de tiempo. Como en el caso de la absorción en presencia de alta densidad de hidrometeoros, pueden emplearse técnicas de diversidad para compensar esos efectos.

2.3.4 *Efecto Doppler*

Cuando la longitud de un trayecto de propagación radioeléctrica varía con el tiempo, se produce un desplazamiento de frecuencia debido al efecto Doppler, cuya consecuencia es una variación continua de la fase. Para un satélite situado a poca altura, la máxima variación relativa es de 2×10^{-5}. Puede ocurrir que surjan dificultades secundarias como consecuencia de que el desplazamiento absoluto de frecuencia no es rigurosamente constante en toda la banda de frecuencias ocupada por la emisión.

2.3.5 *Efectos troposféricos*

Los efectos debidos al centelleo y a la refracción en la troposfera pueden tener consecuencias menos importantes, pero los proyectistas del sistema deben tenerlos en cuenta. Se encontrará información más detallada sobre los fenómenos de propagación troposférica en el Informe 718 así como en el Informe 564.

2.3.6 *Refracción atmosférica*

En el punto 2 del Informe 718 se estudian los efectos de la variación de la refracción atmosférica.

2.4 *Ruido*

Aparte del ruido térmico generado en el receptor de una estación terrena o espacial, las fuentes de ruido natural intervienen en la realización práctica de los sistemas.

En las frecuencias más bajas, predomina el ruido cósmico que disminuye al aumentar la frecuencia; en frecuencias más altas, los elementos absorbentes de la atmósfera (vapor de agua, oxígeno, hidrometeoros) actúan como radiadores de ruido y son causa de los consiguientes aumentos de ruido. Este ruido «de absorción» se suele mencionar como un incremento de la temperatura de ruido del sistema receptor y puede calcularse partiendo de las ecuaciones dadas en el Informe 720.

El ruido que llega a un sistema receptor de estación terrena, a través de los lóbulos laterales de la antena orientados hacia la Tierra, o a un sistema receptor de estación espacial a través del lóbulo principal de su antena orientado hacia la Tierra, es esencialmente independiente de la frecuencia, aunque importante.

El Sol es una considerable fuente de ruidos, con una temperatura de ruido de aproximadamente 10^6 K a 30 MHz y, como mínimo, de 10^4 K a 10 GHz («sol tranquilo»). El ruido solar que entra a través del haz principal de las antenas de estaciones terrenas producirá perturbaciones temporales en toda la banda de frecuencias de interés (véase el Informe 390).

3. Tecnología del equipo

Además de los factores de la propagación y del medio ambiente, variables con la frecuencia, que afectan las comunicaciones con las estaciones espaciales, existen dos elementos importantes para la implantación de un sistema que dependen también de la frecuencia: la ganancia de las antenas de las estaciones terrenas y espaciales y el exceso de temperatura de ruido de los receptores.

4. Resumen

Hasta ahora, en las telecomunicaciones con estaciones espaciales del servicio fijo por satélite se han utilizado bandas de frecuencias comprendidas entre 1 y 10 GHz, aproximadamente. Recientemente se han autorizado para este servicio bandas de frecuencias superiores, y se están elaborando varios programas para explotar estas nuevas atribuciones de frecuencias.

Las bandas de frecuencias más interesantes se encuentran entre dos límites que no pueden definirse con precisión. El límite superior depende principalmente de las condiciones de las capas bajas de la atmósfera. En cambio, el límite inferior viene influenciado por las condiciones de la ionosfera y el ruido cósmico, por lo que depende en mayor grado de la ubicación geográfica, del horario de explotación, de las exigencias de disponibilidad del servicio y de las servidumbres impuestas para la entrada en servicio.

BIBLIOGRAFÍA

HAYDON, G. W. [marzo-abril de 1960] Optimum frequencies for outer space communication. *NBS J. Res.*, **64D**, 105-109.

PERLMAN, S., KELLEY, L. C., RUSSELL, W. T. Jr. y STUART, W. D. [septiembre de 1959] Concerning optimum frequencies for space communication. *Proc. IRE*, CS-7, 167.

RAWER, K. [1962] Propagation problems with space radiocommunication. *NBS J. Res.*, Section D.

Informes del CCIR
453-2 y 214-3.

INFORME 214-4*

INFLUENCIA DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE FRECUENCIA DEBIDOS AL EFECTO DOPPLER Y DE LAS DISCONTINUIDADES POR CONMUTACIÓN EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 7/4)

(1963-1966-1974-1978-1986)

1. Introducción

En un sistema del servicio fijo por satélite, en la señal recibida influyen los factores siguientes:

- desplazamientos de frecuencia debidos al efecto Doppler, que dependen de la velocidad relativa del satélite con respecto a las estaciones terrenas;
- discontinuidades del retardo de propagación y del efecto Doppler debidas a las diferencias de longitud de los trayectos radioeléctricos y de las velocidades relativas cuando se conmuta de un satélite a otro.

En este Informe se estudia el valor probable de estos efectos, así como su influencia en los diferentes tipos de señales de telecomunicación.

2. Efecto Doppler (aplicable a los satélites no geoestacionarios)

El valor del desplazamiento total de frecuencia debido al efecto Doppler entre las estaciones terminales de un sistema del servicio fijo por satélite, depende de las longitudes de onda utilizadas y de la velocidad relativa del satélite con respecto a las estaciones terrenas. El componente principal del desplazamiento debido al efecto Doppler, es decir, el desplazamiento de la portadora o de una frecuencia de referencia de la transmisión, puede eliminarse en el receptor. No obstante, puede ser necesario compensar también el desplazamiento diferencial a lo largo de la anchura de banda radioeléctrica ocupada por la señal que produce un «ensanchamiento» o una «contracción» de la señal en la banda de base. Según la situación de las estaciones terrenas y las características de la órbita del satélite, puede haber adición o substracción de los desplazamientos de frecuencia que por efecto Doppler se producen entre la estación terrena transmisora y el satélite, y entre el satélite y la estación terrena receptora. Si se toman 5000 km como valor probable de la altura mínima de la órbita de un satélite de telecomunicaciones, el «ensanchamiento» o la «contracción» del espectro de la señal en la banda de base no será superior a 2×10^{-5}. En la mayoría de los casos, la altura de la órbita será mayor y el efecto Doppler mucho menor, e incluso prácticamente nulo, en el caso del satélite geoestacionario.

---

* Véase además el Informe 383.

El valor máximo del efecto Doppler resultante de transmisiones destinadas a una estación espacial de un satélite colocado en una órbita circular, o procedentes de ella, puede evaluarse a partir de la relación:

$$\Delta F \approx \pm 1{,}54 \times 10^{-6} \times F \times s \qquad (1)$$

donde

ΔF: desplazamiento de frecuencia debido al efecto Doppler,

F: frecuencia de trabajo,

s: número de revoluciones diarias (24 horas) del satélite con relación a un punto fijo de la Tierra.

Esta relación puede utilizarse también para calcular el desplazamiento máximo diferencial de frecuencia debida al efecto Doppler en una banda de frecuencias. En el cuadro I, destinado a facilitar los cálculos, se indica cierto número de valores de s para diversos valores de altitud de órbitas circulares ecuatoriales.

CUADRO I

Número de revoluciones diarias con relación a la Tierra, s	Altitud de las órbitas circulares ecuatoriales (km)	Periodo (h)
0	35 600	24
1	20 240	12
2	13 940	8
3	10 390	6
4	8 080	4,8
5	6 420	4
6	5 170	3,4
7	4 190	3

En un sistema de acceso múltiple por distribución de frecuencia (AMDF), cada estación participante utiliza una porción de la banda de frecuencias del repetidor del satélite. Como las transmisiones provenientes de las diferentes estaciones son independientes en el tiempo, una diferencia eventual de tiempo no produce ningún efecto desfavorable. En cambio, se producirá un efecto Doppler, variable en función del tiempo, en las transmisiones provenientes de cada estación.

En lo que respecta a los satélites utilizados para la retransmisión simultánea de señales provenientes de varias estaciones terrenas, puede ser necesario tomar especialmente en consideración el efecto Doppler.

El cuadro II muestra los valores máximos de los desplazamientos de frecuencia debidos al efecto Doppler en el satélite, en 6 GHz. Estos valores corresponden a órbitas ecuatoriales, en la hipótesis de que el satélite se desplaza en el mismo sentido que el de rotación de la Tierra.

Debido a varias perturbaciones, la posición de un satélite en la órbita de los satélites geoestacionarios varía. Si la posición del satélite se mantiene dentro de un límite de $\pm$ 0,1° en longitud y latitud, la velocidad relativa máxima del satélite con respecto a la estación terrena es menor que 3,8 m/s aproximadamente, y el desplazamiento máximo de frecuencia debido al efecto Doppler no será superior a 76 Hz en 6 GHz.

Para evitar interferencias debidas al efecto Doppler entre los canales radioeléctricos adyacentes, se pueden utilizar bandas de guarda. Según la ubicación de las estaciones, la señal transmitida por una estación podría tener su portadora desplazada hacia las frecuencias superiores, en tanto que la transmitida por una estación en un canal adyacente tendría su portadora desplazada hacia las frecuencias inferiores. Otra solución consiste en corregir los desplazamientos de frecuencia mediante técnicas adecuadas.

Por ejemplo, suponiendo una banda de guarda de una anchura igual al desplazamiento máximo debido al efecto Doppler indicado en el cuadro II para un sistema de 10 canales, la anchura total de las bandas de guarda sería igual a 18 veces los valores indicados (siempre en 6 GHz).

CUADRO II – *Desplazamiento máximo de frecuencia debido al efecto Doppler*

Periodo (h)	6	8	12	24
Altura aproximada (km)	11 000	14 000	20 000	36 000
Ángulo de elevación mínimo de la antena: 5° Desplazamiento máximo de frecuencia debido al efecto Doppler, en 6 GHz (kHz)	27,7	18,5	9,3	0,0

En los sistemas de acceso múltiple por distribución en el tiempo (AMDT), todas las estaciones transmiten en la misma frecuencia portadora nominal, portadora que sólo debe transmitirse durante el intervalo de la trama atribuido a la estación. Durante la transmisión es probable que haya de modularse la portadora por desplazamiento de fase o de frecuencia. El efecto Doppler hará que las transmisiones lleguen al satélite y sean transmitidas por éste en frecuencias que variarán alrededor de la frecuencia portadora nominal. Los receptores de las estaciones terrenas deben, pues, ajustarse, a los cambios bruscos que se produzcan en la frecuencia de la portadora. Posiblemente ello exija aumentar el tiempo de guarda entre ráfagas de señales y prever un periodo más dilatado, dentro de la ráfaga, para la recuperación de la portadora y la sincronización de las ráfagas en el caso de satélites no geoestacionarios [Gabbard, 1968].

2.1 *Telefonía*

Cuando se utiliza la telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia, es necesario limitar la anchura de banda o la velocidad angular geocéntrica aparente de los satélites con relación al centro de la Tierra, para evitar cualquier valor inadmisible del desplazamiento de frecuencia diferencial debida al efecto Doppler (a menos que se introduzcan correcciones que permitan compensar este efecto).

Según la Recomendación G.225 del CCITT, la diferencia entre una audiofrecuencia aplicada a un extremo de un circuito telefónico y la frecuencia recibida en el otro extremo no debe ser superior a 2 Hz. La Comisión de Estudio XV del CCITT sigue estudiando la cuestión del error en la frecuencia restituida.

Hay que advertir que en un enlace con un solo satélite el error de 2 Hz no se excede si el producto de la banda de base (MHz) por el número de revoluciones diarias con relación a la Tierra, s, no excede de 0,666; sin embargo, es probable que los equipos de multiplaje introduzcan un error adicional.

Para tales velocidades angulares, el efecto Doppler provoca igualmente un desplazamiento de las frecuencias piloto. Estos desplazamientos de frecuencia pueden corregirse mediante uno de los métodos siguientes:

- dispositivo de retardo de tiempo variable,
- ajuste automático de las frecuencias portadoras utilizadas en el equipo múltiplex por distribución de frecuencia, a fin de compensar el efecto Doppler y reducir así los errores totales de frecuencia a valores suficientemente pequeños para ser admisibles.

El primero de estos métodos tiene la ventaja de que los errores debidos al movimiento del satélite podrían suprimirse, de un modo efectivo, de la misma forma que han sido introducidos (es decir, por las variaciones del retardo de propagación durante el paso). Este método también eliminaría todos los efectos de los desplazamientos Doppler en las señales de la banda de base y, mediante disposiciones adecuadas, permitiría evitar las discontinuidades por conmutación, debidas a la conmutación al pasar de un satélite al siguiente. Podrían ajustarse las variaciones del tiempo de propagación, basándose en las previsiones relativas a la órbita, o mediante un servomecanismo que utilice una señal piloto transmitida por la estación terrena con destino al satélite y enviada nuevamente a la misma estación terrena (método del bucle). El método del bucle presenta las ventajas siguientes:

- se tiene la seguridad de que el satélite sólo recibe las frecuencias correctas; esta ventaja puede ser de particular importancia en ciertos sistemas, por ejemplo, en los que el sentido Tierra-espacio emplea canales o grupos de canales muy próximos con modulación de banda lateral única;
- podría evitarse, hasta cierto punto, el «ensanchamiento» de la señal debido al efecto Doppler, por ejemplo dividiendo la anchura de banda de recepción en partes convenientemente separadas y previendo compensaciones independientes para los grupos de circuitos provenientes de cada una de las otras estaciones terrenas.

Podría emplearse, alternativamente, una variante según la cual la compensación de las variaciones de tiempo de propagación sólo se aplicaría en el extremo receptor y estaría controlada por señales piloto procedentes de estaciones alejadas. En este caso, habría que adaptar el equipo múltiplex por distribución de frecuencia de cada una de las estaciones terrenas, a fin de tener en cuenta el «ensanchamiento» o la «contracción» de la banda de base por efecto Doppler. Se ruega a las administraciones que comuniquen al CCITT sus recomendaciones o conclusiones a propósito de esta adaptación, incluidos los métodos de control del equipo múltiplex por distribución de frecuencia de la estación terrena basados en el principio del bucle, expuesto anteriormente a propósito del primer método, o en el principio de un control especial para cada ruta.

En todo sistema del servicio fijo por satélite en el que se utilice la modulación de amplitud con banda lateral única puede ser necesario corregir el efecto Doppler.

2.2 *Telegrafía y transmisión de datos*

Si los canales telefónicos satisfacen las condiciones de la Recomendación G.225 del CCITT, esto significa que, en los canales telegráficos y en los canales de transmisión de datos que se puedan establecer en ellos, puede despreciarse el efecto Doppler o se ha compensado de modo adecuado (véase el punto 2.1).

2.3 *Telefotografía*

Si se establecen canales de telefotografía en canales telefónicos que satisfacen las condiciones de la Recomendación G.225 del CCITT, se puede despreciar el efecto Doppler y considerar que se ha compensado de manera adecuada.

2.4 *Transmisión de datos de banda ancha*

Conviene señalar que deben preverse tales correcciones del efecto Doppler para los canales de telefotografía o de transmisión de datos derivados de los precedentes, que exigen anchuras de banda mayores que la de un canal telefónico único (por ejemplo, anchuras de banda de grupo primario o secundario).

2.5 *Televisión*

La variación de la frecuencia de trama debida al efecto Doppler es mínima y es muy posible que, desde el punto de vista de las perturbaciones en los receptores de televisión en blanco y negro privados, el factor limitativo sea la precisión de la frecuencia de trama obtenida en la fuente del programa y no el efecto Doppler.

Aunque es probable que finalmente interese corregir el efecto Doppler en las señales de televisión en color, los primeros experimentos realizados con satélites han demostrado que los receptores normales de televisión en color funcionarán en buenas condiciones, en particular los dotados de osciladores de subportadora controlados por cuarzo, con una magnitud de desplazamiento por efecto Doppler del orden de la que probablemente es de esperar en un sistema práctico del servicio fijo por satélite.

3. Discontinuidades de conmutación (aplicable a los satélites no geoestacionarios)

Dos o más estaciones terrenas sólo pueden utilizar satélites que aparecen y desaparecen, mientras hay visibilidad entre ellas y los satélites. Luego, para mantener la comunicación, las estaciones tienen que conmutar – o «pasar» – a otro satélite que se encuentra también en este campo de visibilidad común. Con algunas órbitas, o cuando entre las estaciones terrenas media una distancia demasiado grande, se pueden producir interrupciones relativamente prolongadas, si el primer satélite sale del campo de visibilidad simultánea antes de que haya entrado otro satélite. Estas interrupciones pueden evitarse utilizando satélites controlados, equidistantes entre sí y en número suficiente, situados en órbitas periódicas que tengan su proyección sobre puntos fijos de la Tierra [Dalgleish y Jefferis, 1965]. A estos sistemas de satélites que tienen estas órbitas se les denomina a menudo satélites en fase, y el más sencillo y conocido de ellos es el de órbita circular ecuatorial en fase.

Aun cuando con tales sistemas se pueden evitar las interrupciones debidas a la conmutación, en general se producirán ligeras discontinuidades de superposición de comunicaciones entre dos estaciones en el instante de la conmutación, según que el trayecto de propagación vía el nuevo satélite sea más corto o más largo que el trayecto vía el satélite anterior. El cálculo de la longitud de los trayectos de propagación, o de los tiempos de propagación, y sus diferencias, depende de sencillas relaciones geométricas que se explican en el Informe 383 relativo a la influencia del tiempo de propagación.

En el caso de un enlace de varios saltos, no será frecuente que coincidan las discontinuidades debidas a la conmutación de las distintas secciones, por lo que su número diario será igual a $n \times m$, siendo n el número de saltos y m la media diaria de discontinuidades por sección de un salto. En los sistemas de satélites en fase, las diferencias de tiempo no excederán de 10 ms para ciertos pares de estaciones terrenas, mientras que, para otros pares de estaciones, alcanzarán o excederán de 20 ms. En los sistemas de satélites no en fase, estas diferencias de tiempo estarán comprendidas entre 0 y 30 ms o más. Conviene señalar que estas discontinuidades son previsibles y que se pueden tomar medidas para contrarrestarlas. El empleo de dispositivos de retardo de tiempo variable permite reducirlas a proporciones despreciables.

Nota. – Los circuitos de una estación terrena que utiliza un satélite, sea éste geoestacionario o no, pueden quedar interrumpidos durante periodos previsibles cuando el satélite utilizado tiene, con respecto a la estación terrena, aproximadamente la misma orientación que el Sol o que otro satélite que trabaje en la misma frecuencia, o incluso cuando un satélite alimentado por células solares y que no dispone de acumuladores queda eclipsado por la Tierra. Para evitar estas interrupciones, hay que prever un encaminamiento alternativo por circuitos terrenales o por otro satélite durante esos periodos de «ausencia de satélite».

3.1 *Telefonía*

Las diferencias de tiempo de propagación de hasta unos 20 ms, por ejemplo, debidas a la conmutación de un satélite a otro, no deberían perturbar grandemente las conversaciones telefónicas. Sin embargo, una discontinuidad de esta importancia en la transmisión puede originar errores en los sistemas de señalización multifrecuencia existentes, como el sistema de señalización intercontinental N.° 5 del CCITT y el utilizado con el sistema TASI. Los sistemas de señalización, tales como el sistema N.° 6 del CCITT que utiliza impulsos de gran velocidad, pueden verse mucho más afectados por los errores de este tipo.

3.2 *Telegrafía y transmisión de datos*

Los efectos que interesan son los debidos exclusivamente a diferencias de tiempo de propagación entre un trayecto por satélite y otro. Estos efectos son de dos tipos diferentes:

- la prolongación o la reducción de elementos telegráficos cuando la diferencia de tiempo de propagación es relativamente grande, es decir, cuando excede una fracción importante de un elemento;
- las discontinuidades de fase de tonos de audiofrecuencia, que dan lugar a una distorsión telegráfica, cada vez que la diferencia de tiempo de propagación es superior a una fracción del periodo de la frecuencia más elevada de la banda de base utilizada por un canal telefónico de un sistema de banda ancha, empleado para la telegrafía armónica [Zuhrt y otros, 1959].

Según ciertas informaciones preliminares (véase el anexo I), parece ser que, en un canal telegráfico arrítmico no protegido, que funcione a 50 baudios, el número medio de caracteres erróneos, causados por discontinuidades de una duración igual como máximo a 7,5 ms, puede no exceder de 0,25, aproximadamente, por discontinuidad. Este número medio de errores aumenta probablemente hasta 1 para las discontinuidades de una duración de unos 10 a 12 ms, mientras que puede llegar a 2 o más para discontinuidades de 20 a 30 ms.

La duración de las discontinuidades que se producirán probablemente en los sistemas de satélites no geoestacionarios dará lugar a caracteres erróneos en los sistemas de telegrafía síncrona y de multiplaje por distribución en el tiempo. Estas discontinuidades pueden desnaturalizar señales de selección tales como las empleadas en el servicio télex, originar errores de encaminamiento y, especialmente en los sistemas automáticos, ser causa de posibles errores de tasación.

En algunos circuitos telegráficos, en particular en los prolongados por un radioenlace en ondas decamétricas, se emplean dispositivos de corrección automática de errores (ARQ). Estos dispositivos proporcionan además una protección contra los errores debidos a causas distintas de las discontinuidades debidas a la conmutación. Para justificar la concesión de un trato especial a los circuitos que utilizan sistemas del servicio fijo por satélite, hay que tener en cuenta la frecuencia relativa de las perturbaciones que dan lugar a errores, según afecten la conexión espacial y sus prolongaciones «terrenales», o los circuitos internacionales establecidos por otros medios. Si, después de examinar todas las causas de error en los canales telegráficos, parece necesario tomar medidas especiales contra los errores debidos a las discontinuidades, podrá estudiarse seguramente la posibilidad de recurrir a algún dispositivo particular, como una memoria intermedia que, al recibir una señal de «cambio de satélite», comience a almacenar las señales telegráficas sin perjuicio de retransmitirlas algo más rápidamente después de la operación de conmutación.

Otro método que permite reducir el número de los errores debidos a las discontinuidades de conmutación consiste en la utilización de un dispositivo de retardo variable.

Las discontinuidades de unos 20 ms tendrán dos efectos en la transmisión de datos:

- producción de errores en uno o varios bloques;
- pérdida de la fase de un bloque.

Los errores del primer tipo no serían graves si el paso de un satélite a otro no fuese demasiado frecuente; en realidad, serían análogos a los efectos de las perturbaciones eventuales que producen la conmutación o el ruido en los circuitos normales en línea. La pérdida de fase de un bloque es consecuencia directa de la discontinuidad y no tiene ningún equivalente en las transmisiones por los sistemas de líneas.

Sería preciso, pues, en los sistemas de transmisión de datos por satélite, restablecer la fase del bloque de señales en el circuito a cada paso de un satélite a otro, a menos que se adopten medios especiales para compensar la discontinuidad en el tiempo de propagación. No obstante, la pérdida de tiempo de utilización del circuito debida a este efecto no constituye ningún inconveniente grave si las conmutaciones no son muy frecuentes y si se obra de modo que la reposición en fase del sistema de transmisión de datos sea una operación automática.

3.3 *Telefotografía*

El efecto de las discontinuidades de conmutación sería el de producir un desplazamiento inmediato (hacia adelante o hacia atrás) de la parte de la imagen recibida después de la conmutación, con relación a la parte recibida justamente antes. Por ejemplo, con equipos que se ajusten a las normas del CCITT y en el caso de un cilindro con una velocidad de 60 revoluciones por minuto, una discontinuidad de 20 ms produciría un desplazamiento de 2%, aproximadamente, de la anchura de la imagen, es decir, 0,5 cm para una imagen de 25 cm de anchura. Tal desplazamiento sería un grave defecto en la mayor parte de las imágenes, documentos, cartas meteorológicas, etc. Este desplazamiento se incrementaría con mayores velocidades de explotación. El valor tolerable del desplazamiento así causado deberá fijarse en colaboración con el CCITT. Sin embargo, se ha observado que discontinuidades de conmutación del orden de 20 ms producirían distorsiones inaceptables en la mayoría de los casos y, por tanto, sería necesario evitarlas mediante métodos de compensación adecuados y obrando de modo que la transmisión de la imagen se haga fuera de los momentos de conmutación.

3.4 *Televisión*

La conmutación debida a la transferencia de un satélite no geoestacionario al siguiente es muy parecida a la conmutación entre fuentes de programas «no síncronos», y puede dar lugar a perturbaciones temporales en la base de tiempo del receptor. El tiempo real en que tiene lugar la perturbación variará en la práctica de acuerdo con la relación de fase relativa en el momento de la conmutación, pero estará generalmente comprendido entre 0,5 y 2,0 s.

La variación del tiempo de propagación como consecuencia de la conmutación puede introducir una pequeña discontinuidad de la señal de sonido, la cual, aunque perceptible, no debiera ser molesta.

Dado que no serán frecuentes las conmutaciones en un sistema del servicio fijo por satélite, sus efectos en las señales de sonido y de imagen no serán muy graves.

4. Resumen

La importancia del efecto Doppler y de las discontinuidades debidas a la conmutación en los sistemas del servicio fijo por satélite, varía con el tipo de servicio o de señal transmitida y con las características de la órbita del satélite. En general, es de esperar que en un sistema de telecomunicación por satélite geoestacionario no sean importantes el efecto Doppler ni las discontinuidades debidas a la conmutación, pero sí lo serán en el caso de sistemas de satélites no geoestacionarios.

La componente principal del efecto Doppler puede eliminarse en el receptor, pero quedará un «ensanchamiento» o una «contracción» de la banda de base, debido al desplazamiento diferencial. El efecto será despreciable en televisión en blanco y negro y probablemente tolerable en televisión en color. En telefonía, y con el empleo generalizado de las técnicas de multiplaje de banda ancha y de banda lateral única, habrá que compensar las modificaciones de la banda de base (efecto Doppler diferencial) mediante una igualación de los retardos de propagación en el conjunto de la banda de base, o por control automático de las frecuencias portadoras que se utilicen en el equipo de multiplaje. Se cree que esta compensación podrá realizarse en la práctica. En los servicios de telegrafía, transmisión de datos y telefotografía, que utilizan canales convenientemente corregidos para la transmisión telefónica, no será preciso tener en cuenta el efecto Doppler.

Se comprueba que, de no tomarse medidas especiales, las discontinuidades debidas a la conmutación entre satélites pueden conducir, en los canales telegráficos, a proporciones de errores que, para ciertas ubicaciones de un par de estaciones terrenas con relación a la órbita excedan los límites deseables indicados en la Recomendación R.54 del CCITT, a saber, dos errores por 100 000 caracteres. En el anexo I se estudia esta cuestión y se exponen ciertos medios a los que puede recurrirse para atenuar los efectos en la transmisión telegráfica.

Se señalan a la atención del CCITT y de la CMTT los problemas que pueden plantear, en los sistemas del servicio fijo por satélite, el efecto Doppler y las discontinuidades debidas a la conmutación; al CCITT, en lo que concierne a la telefonía, a la telegrafía, a la telefotografía y a la transmisión de datos, y a la CMTT en lo que se refiere a la televisión, incluido el canal de sonido asociado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DALGLEISH, D. I. y JEFFERIS, A. K. [enero de 1965] Some orbits for communication satellite systems affording multiple access. *Proc. IEE*, Vol. 112, **1**, 21-30.

GABBARD, O. G. [agosto de 1968] Design of a satellite time-division multiple-access burst synchronizer. *IEEE Trans. Com. Tech.*, Vol. COM-16, 589-596.

ZUHRT, H., REGER, W. y VOLLMEYER, W. [junio-julio de 1959] Distorsión telegráfica y proporción de errores en telegrafía armónica, debidos a las interrupciones y a las variaciones bruscas de fase (en alemán). *NTZ*, 12, **6** y **7**.

ANEXO I

1. Recomendaciones del CCITT

Según la Recomendación R.57, el grado de distorsión isócrona en una sola sección no debe exceder del 10%.

En los considerandos de la Recomendación R.54 se sugiere que una proporción de errores debidos a la distorsión de 2 por 100 000 señales telegráficas alfabéticas transmitidas, constituye un objetivo deseable.

2. Proporción de errores en los sistemas de telegrafía arrítmica a 50 baudios

En una serie de experimentos preliminares, se ha estudiado la relación entre la duración de las discontinuidades debidas a la conmutación y la proporción de errores en telegrafía, en los sistemas arrítmicos a 50 baudios. En pequeña medida, esta proporción depende de la naturaleza del texto transmitido. Al parecer, la proporción de errores no puede variar mucho si la duración de la discontinuidad está comprendida entre 0 y 7,5 ms aproximadamente; el valor medio del número de errores es entonces del orden de 0,25 por operación de conmutación. Si la duración de conmutación es superior a 7,5 ms, la proporción de errores aumenta. Esto se explica por el hecho evidente de que, en estascondiciones, el alargamiento o la contracción de los elementos telegráficos se acerca o excede del 50% de la duración de cada uno de ellos. Los experimentos preliminares inducen a creer que el número medio de caracteres erróneos puede ser de 1, aproximadamente, por discontinuidad para discontinuidades de 10 a 12 ms, y puede alcanzar o rebasar 2 para discontinuidades de 20 ms o más. Como se ha dicho anteriormente, estos resultados son válidos para una velocidad de modulación de 50 baudios; la duración de cada elemento es entonces de 20 ms y no es exagerado concluir que, si la discontinuidad alcanza 30 ms, puede no haber más de dos caracteres erróneos.

3. Compensación por medio de dispositivos de corrección del retardo variable

3.1 *Compensación de precisión media*

Los errores en los caracteres debidos a las discontinuidades por conmutación podrían reducirse considerablemente si en los enlaces por satélite pudiesen conectarse en tándem dispositivos de retardo de tiempo de propagación variable adecuadamente controlados, de modo que el tiempo de propagación total permaneciera constante. Para los errores en los caracteres debidos al alargamiento o a la contracción de los elementos telegráficos, bastaría con una compensación de unos 200 µs de precisión. La puesta a punto de dispositivos de banda ancha de este género presentaría, además, la ventaja de eliminar en lo esencial las consecuencias del efecto Doppler en la banda de base transmitida; sin ellos, se necesitaría un control especial de los osciladores de transferencia de los grupos secundarios y primarios, para que las señales de telegrafía armónica quedasen bien centradas en la banda de paso de los filtros correspondientes.

Los efectos de las variaciones bruscas de fase en el momento de la conmutación subsistirían, sin embargo, y, aunque la proporción de caracteres erróneos sería inferior a la que puede esperarse en ausencia de compensación, no por ello sería menos necesario proceder experimentalmente a una evaluación precisa de su valor probable.

3.2 *Compensación de alta precisión*

Para evitar errores en los caracteres debidos a las variaciones bruscas de fase en el momento de la conmutación, parece necesario que la precisión de la compensación en la frecuencia más elevada de la banda de base corresponda a $\pm$ 15°. En el caso de circuitos telegráficos establecidos en los canales telefónicos más elevados de un sistema de 1200 canales con frecuencias de banda de base de hasta 5 MHz, la precisión debiera alcanzar 0,01 µs. Ahora bien, el límite probable para las predicciones de distancia de un satélite corresponde a un retardo debido a la transmisión de unos 50 µs. En consecuencia, no es posible asegurar directamente la compensación en una sola vez, a base de predicciones con una precisión suficiente para suprimir lo esencial de los errores telegráficos. Sin embargo, podría estudiarse la posibilidad de tomar medidas adicionales, por ejemplo, la instalación de un dispositivo de control electrónico que introdujera un retardo variable hasta el instante en que las señales en las frecuencias de la banda de base recibidas de los dos satélites estuviesen en perfecta correlación en el tiempo, momento en que se efectuaría la conmutación.

Otra solución, acaso interesante, consistiría en sustituir la conmutación abrupta por una especie de desvanecimiento gradual relativamente lento. De este modo se podrían evitar los efectos esenciales de las variaciones bruscas de fase y sólo una pequeña proporción de los canales telegráficos sufriría los efectos de amplitud. Como las señales de telegrafía armónica con modulación de frecuencia pueden tolerar una reducción de nivel de por lo menos 15 dB, podría conseguirse una proporción de un carácter erróneo impreso por cada 80 000, pero esto todavía debe ser objeto de verificaciones teóricas y experimentales. Conviene, además, verificar el efecto de este desvanecimiento en los circuitos para transmisiones telefónicas, de datos y de facsímil.

4. Resumen de los medios de compensación

Al considerar los diversos medios a que puede recurrirse para atenuar las influencias de las discontinuidades debidas a la conmutación en la calidad de la transmisión telegráfica, hay que tener en cuenta que, en cualquier canal telegráfico, pueden existir diversas causas de errores.

El número de errores telegráficos podría reducirse mediante:

4.1 Sistemas de memoria intermedia, que empiecen a registrar en cuanto reciban una señal de «cambio de satélite» transmitida por el sistema, y que retransmitan a velocidad ligeramente superior, una vez efectuado el cambio de satélite.

4.2 Corrección de la discontinuidad de precisión media, aplicada en combinación con cualquiera de las medidas siguientes:

4.2.1 Adscripción de la parte inferior del espectro de la banda de base a los canales telegráficos.

4.2.2 Control de la conmutación de los satélites en el punto en que se efectúa la manipulación telegráfica.

4.2.3 Introducción de un desvanecimiento gradual lento para evitar los efectos transitorios debidos a una conmutación brusca.

4.2.4 Recodificación de la información telegráfica en códigos especiales, tales como los realizados por Hamming, que faciliten la corrección, sin obligar a una retransmisión.

4.3 Compensación precisa de los retardos de tiempo de propagación para disminuir la discontinuidad en el momento de la conmutación.

Además, debiera ser posible utilizar un sistema ARQ u otro equivalente. Este procedimiento sería especialmente útil en caso de que el enlace por satélite estuviera prolongado por un circuito de ondas decamétricas o por cualquier otro tipo de circuito capaz de introducir un número relativamente elevado de errores telegráficos.

INFORME 383-4*

INFLUENCIA DEL TIEMPO DE PROPAGACIÓN EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 7/4)

(1966-1970-1974-1978-1982)

1. Introducción

En un sistema del servicio fijo por satélite la señal está sujeta a un tiempo de propagación considerable debido al trayecto radioeléctrico. En el presente Informe se estudia la importancia de este efecto para diversas órbitas y la influencia que puede ejercer en los distintos tipos de señales de telecomunicación.

2. Variación del tiempo de propagación

En un sistema del servicio fijo por satélite, el tiempo de propagación total depende principalmente de la altura de los satélites y del número de enlaces (o saltos) Tierra-espacio-Tierra que constituyen la conexión.

Con satélites geoestacionarios, el tiempo de propagación tiene un valor prácticamente constante para un enlace dado. Por el contrario, si los satélites tienen un movimiento relativo con relación a la Tierra, la duración del tiempo de propagación variará con el tiempo; para los satélites geoestacionarios, esta variación será muy pequeña en comparación con el tiempo total de propagación en el trayecto de transmisión.

Sin embargo, en algunas circunstancias, incluso estas pequeñísimas variaciones de duración del tiempo de propagación, asociadas a los satélites casi geoestacionarios, pueden ser importantes.

2.1 *Conexiones de un solo salto*

Para una conexión de un solo salto, el tiempo de propagación mínimo ($t_{mín}$) corresponde al caso en que las dos estaciones terrenas se hallan muy próximas entre sí y el satélite se encuentra exactamente encima de ellas. El tiempo de propagación máximo ($t_{máx}$) entre dos estaciones terrenas corresponde al caso en que ambas estaciones ven al satélite en el horizonte. Por consiguiente, si h es la altitud del satélite, r el radio de la Tierra y c la velocidad de la luz, suponiendo $R = r + h$ y designando por θ el ángulo con vértice en el centro de la Tierra entre las direcciones del satélite y de la estación terrena, el tiempo de propagación correspondiente al trayecto Tierra-espacio es:

$$t = \frac{1}{c}\sqrt{R^2 + r^2 - 2Rr\cos\theta} \qquad (1)$$

Los tiempos de propagación mínimo y máximo posibles para un salto entre estaciones terrenas pueden, pues, expresarse como sigue:

$$t_{mín} = 2h/c \qquad (2)$$

$$t_{máx} = (2h/c)\sqrt{1 + 2r/h} \qquad (3)$$

---

* Léase además el Informe 214.

En la práctica, el tiempo de propagación mínimo será algo mayor que $t_{mín}$ porque entre las estaciones terrenas mediará naturalmente cierta distancia. Asimismo, el tiempo de propagación máximo será algo menor que $t_{máx}$, ya que dichas estaciones trabajarán, en la práctica, con ángulos de elevación superiores a 3°, y a menudo quizás superiores a 5°. No obstante, las expresiones anteriores permiten calcular los valores mínimo y máximo del tiempo de propagación en una conexión de un solo salto (así como la gama de variación posible alrededor de un valor medio) para diversas posiciones de las estaciones terrenas, siendo la exactitud de los resultados suficiente para el presente estudio.

Para tener en cuenta los tiempos de propagación en los circuitos de prolongación terrenales a partir de las estaciones terrenas, conviene agregar un tiempo de propagación suplementario calculado a partir de la fórmula indicada en la Recomendación G.114 del CCITT:

12 + (0,004 × distancia en kilómetros) (ms),

o

12 + (0,0064 × distancia en millas) (ms).

En esta fórmula, el valor constante de 12 ms tiene en cuenta los equipos terminales y la presencia de cierta longitud de cable cargado, y los coeficientes 0,004 (o 0,0064) se basan en el empleo de líneas de gran velocidad en la mayoría de los circuitos de prolongación.

Como es improbable que en una misma comunicación se utilicen dos prolongaciones terrenales con tiempos de propagación de un valor máximo, para los cálculos aproximados se estima razonable tomar como valor medio del tiempo de propagación, para el conjunto de las dos prolongaciones terrenales, el de 30 ms, siendo el valor mínimo de unos 10 ms y el valor máximo de unos 50 ms.

Agregando estos valores a los de $t_{mín}$ y $t_{máx}$ anteriores, se ha calculado y consignado en el cuadro I la gama de valores del tiempo de propagación total (en un solo sentido) para conexiones de un solo salto en sistemas del servicio fijo por satélite. Se observará que en el cuadro se indica el caso de tiempo de propagación mínimo entre estaciones terrenas más el tiempo de propagación mínimo debido a los circuitos de prolongación terrenales, así como el caso contrario de tiempo de propagación máximo entre estaciones terrenas más el tiempo de propagación máximo debido a los circuitos de prolongación terrenales. En la práctica, podrá perfectamente tenerse tanto un tiempo de propagación máximo entre las estaciones terrenas, con un tiempo de propagación mínimo en las prolongaciones terrenales, como una situación inversa.

CUADRO I

	Variación del tiempo total de propagación (ms) (en un solo sentido)								
	Satélite no geoestacionario (altitud: 11 000 km)			Satélite no geoestacionario (altitud: 14 000 km)			Satélite geoestacionario (altitud: 36 000 km)		
	Mín.	Máx.	Medio	Mín.	Máx.	Medio	Mín.	Máx.	Medio
Entre las estaciones terrenas	74	109	92	92	128	110	240	280	260
Circuitos terrenales de prolongación	10	50	30	10	50	30	10	50	30
Total	84	159	122	102	178	140	250	330	290

La fig. 1 da el tiempo de propagación máximo sobre el trayecto radioeléctrico, en un solo sentido, y la longitud (en arco de círculo máximo) de la cobertura efectiva de satélite en función de su altura, en la inteligencia de que ni en la transmisión ni en la recepción se trabaja con ángulos de elevación inferiores a 5°. Esta longitud, según el arco de círculo máximo, no determina la separación máxima entre las estaciones terrenas, salvo en el caso de un satélite geoestacionario. Con satélites no sincrónicos, la necesidad de contar con comunicaciones continuas limita la distancia entre las estaciones a un valor comprendido en el interior de la zona de cobertura común de los satélites sucesivos. En el Informe 206, se discuten los límites concernientes al funcionamiento ininterrumpido con sistemas de un solo tramo.

2.2 *Conexiones con varios saltos*

Si se considera la geometría de un sistema del servicio fijo por satélite, se ve que el tiempo de propagación medio de las señales radioeléctricas aumenta proporcionalmente al número de saltos. Si el tiempo de propagación adicional para los circuitos de prolongación terrenales (30 ms por término medio) es el mismo en todos los casos, y el tiempo de propagación correspondiente a la intercomunicación entre saltos contiguos es prácticamente nulo, se obtienen los valores que figuran en el cuadro II.

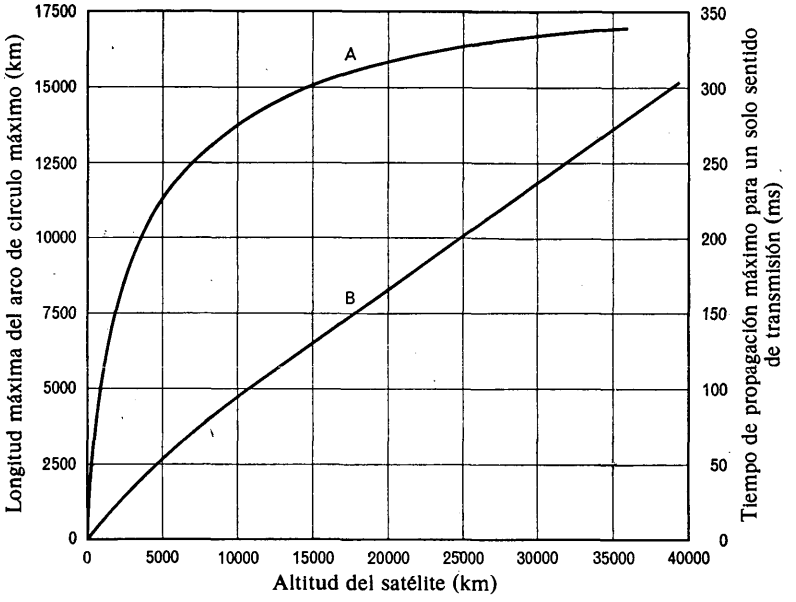


FIGURA 1 — *Sistemas del servicio fijo por satélite de un solo salto (ángulo de elevación mínimo: 5°)*

Curvas A: Longitud máxima del arco de círculo máximo (km)
B: Tiempo de propagación máximo para un solo sentido de transmisión (ms)

CUADRO II

Número de saltos	Variación del tiempo total de propagación (ms) (en un solo sentido)		
	Satélite no geoestacionario (altitud 11 000 km)	Satélite no geoestacionario (altitud 14 000 km)	Satélite geoestacionario (altitud 36 000 km)
1	122	140	290
2	214	250	550
3	306	360	

La influencia de estos tiempos de propagación se examina seguidamente.

2.3 *Variación del tiempo de propagación en función del tiempo*

En un sistema que utilice satélites en movimiento con relación a la Tierra, el tiempo de propagación en un enlace cualquiera está sujeto a una variación progresiva como consecuencia de la variación de la distancia que media entre el satélite y las estaciones terrenas. En la práctica, en un sistema del tipo mencionado anteriormente, la gama de variación no llegaría generalmente a 20 ms por salto.

Un método para eliminar, o por lo menos para reducir al mínimo esta variación, consiste en insertar en los circuitos de la estación terrena un dispositivo de tiempo de propagación variable. El valor del tiempo de propagación insertado podría regularse automáticamente, de modo que el tiempo de propagación total tuviera un valor constante, ligeramente superior al tiempo máximo de propagación sobre el trayecto radioeléctrico. Este método permitiría también reducir los efectos de las discontinuidades de conmutación, que de otra forma se manifestarían cada vez que hubiese que conmutar los circuitos con otro satélite no sincrónico. Esta cuestión se estudia con más detalle en el Informe 214.

La variación del tiempo de propagación tiene particular importancia en los sistemas de acceso múltiple por distribución en el tiempo (sistemas AMDT). Incluso las variaciones relativamente pequeñas del tiempo de propagación (por ejemplo, menos de 1,0 ms durante un periodo de tiempo de 12 a 24 horas) pueden ser importantes en algunas circunstancias, por ejemplo, cuando los circuitos por satélite se utilizan para la transmisión de datos entre redes síncronas de datos así como sistemas de acceso múltiple, tales como los de acceso múltiple por distribución en el tiempo (AMDT) y acceso múltiple por diferenciación de código (AMDC).

En los sistemas AMDT, la transmisión de cada estación terrena debe introducirse en el tren de impulsos destinado al satélite en un momento preciso para cada intervalo de recurrencia. Las variaciones del tiempo de propagación hacen difícil sincronizar las transmisiones procedentes de las estaciones terrenas. Aun cuando el sincronismo se obtenga en un instante dado, se producirán desplazamientos de la posición relativa en el tiempo de las transmisiones procedentes de las distintas estaciones, a menos que se regule el comienzo de cada transmisión.

Para poder expresar estos cambios, definiremos el «tiempo de propagación diferencial» como la diferencia en el tiempo con que llegan al satélite las señales transmitidas simultáneamente por las estaciones *A* y *B*.

Esto es:

si τ_A es el tiempo de propagación entre la estación *A* y el satélite en cualquier instante, y
si τ_B es el tiempo de propagación entre la estación *B* y el satélite en el mismo instante,

entonces el tiempo de propagación diferencial $\Delta\tau$, será:

$$\Delta\tau = \tau_B - \tau_A \qquad (4)$$

Esta magnitud, no obstante, no tiene en sí misma gran importancia. De mayor interés es la «variación del tiempo de propagación diferencial» $V\Delta\tau$ que se produce durante cierto periodo de tiempo. En el cuadro III se indican los valores máximos de la «variación del tiempo de propagación diferencial», $V\Delta\tau$ máx., que pueden producirse con satélites que graviten en cuatro órbitas.

CUADRO III — *Variación máxima posible del tiempo de propagación diferencial*

Periodo orbital (h)	6	8	12	24
Altitud aproximada (km)	11 000	14 000	20 000	36 000
Ángulo de elevación mínimo de la antena: 5°				
$V\Delta\tau$ máx. (ms)	30,5	32,0	33,7	0,124 (2)
$V\Delta\tau$ máx. (número de intervalos de recurrencia) (1)	244	256	269	1

(1) En este caso, se supone que cada canal telefónico se muestrea 8000 veces por segundo y que la duración de los periodos de un intervalo de recurrencia es de 1/8000 de segundo o 125 μs.

(2) La diferencia de tiempo indicada tiene en cuenta las distintas perturbaciones en la órbita casi geoestacionaria, suponiendo que sea factible mantener la posición del satélite en un radio de 60 km a partir de su posición exacta; en ningún caso la velocidad máxima del satélite hacia una estación terrena o a partir de ella excederá de 5,8 m/s.

Debe observarse que estas variaciones se producen lentamente (por ejemplo, para un satélite a 10 000 km de altitud y una antena con elevación mínima de 5°, la duración será de 63 minutos). Sin embargo, existirá cierta variación del tiempo de propagación durante el intervalo necesario para que la señal efectúe el trayecto ida y vuelta entre la estación terrena y el satélite. El valor de esta variación se indica en el cuadro IV para diferentes órbitas y viene expresada como una fracción de la duración de un intervalo de recurrencia (125 μs).

Las siguientes perturbaciones, si existen, causarán variaciones en el tiempo de propagación en un enlace a través de un satélite casi geoestacionario:

- la excentricidad de la órbita causará variaciones en el tiempo de propagación, que presentarán un periodo de aproximadamente 24 horas. Por ejemplo, el resultado de una variación de 60 km en la altitud del satélite con respecto a su punto subsatelital, debido a la excentricidad orbital, se traducirá en una variación del tiempo de propagación, ida y retorno desde una estación terrena, de aproximadamente 0,4 ms en 24 horas;
- la inclinación del plano de la órbita con relación al plano ecuatorial de la Tierra causará variaciones en el tiempo de propagación, que presentarán también un periodo de 24 horas.

  Por ejemplo, una inclinación orbital de 0,5° puede originar variaciones en el tiempo de propagación, ida y retorno desde una estación terrena, de hasta 0,74 ms en 24 horas;
- la deriva este-oeste en la posición longitudinal del satélite causará variaciones lentas del tiempo de propagación.

Por ejemplo, una deriva de ± 0,5° en longitud alrededor de la posición nominal del satélite puede originar variaciones en el tiempo de propagación, ida y retorno, de hasta 0,74 ms, generalmente en un periodo de varios meses.

CUADRO IV — *Variación máxima del tiempo de propagación, ida y vuelta, visto por una estación terrena*

Periodo (h)	6	8	12	24
Altitud aproximada (km)	11 000	14 000	20 000	36 000
Ángulo de elevación mínimo de la antena: 5° Variación máxima del tiempo de propagación (número de intervalos de recurrencia)	0,004	0,003	0,002	0,00004 (1)

(1) La diferencia de tiempo indicada tiene en cuenta las distintas perturbaciones en la órbita casi geoestacionaria, suponiendo que sea factible mantener la posición del satélite en un radio de 60 km a partir de su posición exacta; en ningún caso la velocidad máxima del satélite hacia una estación terrena o a partir de ella excederá de 5,8 m/s.

Las perturbaciones señaladas constituyen, normalmente, las causas principales de variación del tiempo de propagación. También pueden producirse otras perturbaciones que causen variaciones de menor magnitud en el tiempo de propagación.

2.4 *Variación del tiempo de propagación debida al funcionamiento en diversidad*

Las señales provenientes de las dos estaciones que funcionen en diversidad tendrán una base de tiempo diferente en el punto de conmutación. Si estas dos estaciones por diversidad pueden situarse con un acimut de ± 30° respecto al satélite, y para ángulos de elevación del satélite inferiores a 15°, esta diferencia de tiempo podrá mantenerse en 20 μs, o menos, para separaciones de 20 km. El desplazamiento del satélite hará variar este tiempo de propagación en ± 0,5 μs en torno a su valor nominal. Las situaciones en que se requieran mayores valores de separación, acimut y ángulo de elevación, darán lugar a un tiempo de propagación diferencial más elevado.

Es probable que los sistemas MF toleren este tiempo de propagación sin necesidad de correcciones si se transmiten únicamente canales de 4 kHz o programas de radiodifusión de sonido. Si la banda de base lleva también datos, transmitidos a media o alta velocidad, se necesitará probablemente una corrección en uno de los trayectos de la señal para alinear las bases de tiempo.

Las transmisiones de televisión exigen una sincronización más exacta, factor éste que debe tenerse en cuenta.

3. Telefonía

3.1 *Tiempo de propagación de la transmisión y eco*

Miembros del CCITT han informado sobre recientes pruebas subjetivas que muestran una mejor calidad subjetiva en circuitos con largos tiempos de propagación. La mejora se atribuye a nuevos métodos de protección contra el eco que incluyen compensadores de eco y supresores de eco digitales. Las especificaciones de calidad de funcionamiento recomendadas para estos nuevos dispositivos figuran en las Recomendaciones del CCITT G.165 sobre compensadores de eco y G.164 sobre supresores de eco digitales. Las pruebas subjetivas revelan que en circuitos con largos tiempos de propagación, el comportamiento del compensador de eco es superior al del supresor de eco digital, y el comportamiento de éste es superior al del supresor de eco especificado en la Recomendación G.161 del CCITT (Libro Amarillo).

Sobre la base de estos resultados, las Comisiones de Estudio XII y XVI del CCITT adoptaron en la VII Asamblea Plenaria del CCITT, Ginebra, 1980, una Recomendación G.114 revisada sobre los límites de tiempo medio de propagación en un sentido.

A continuación figura la parte pertinente de la Recomendación G.114 del CCITT:

«Recomendación G.114

TIEMPO MEDIO DE PROPAGACIÓN EN UN SENTIDO

(Ginebra, 1964; modificada en Mar del Plata, 1968 y Ginebra, 1980)

Los tiempos indicados en esta Recomendación son las medias de los tiempos de propagación en los dos sentidos de transmisión de una conexión. Cuando para los sentidos opuestos de transmisión se utilizan medios diferentes (por ejemplo, un canal por satélite en un sentido y un canal terrenal en el otro), los dos tiempos que contribuyen a la media pueden diferir considerablemente.

1 **Límites para una conexión** (antigua parte A)

En una conexión telefónica internacional, es necesario limitar el tiempo de propagación entre dos abonados. A medida que crece el tiempo de propagación, mayores son las dificultades de los abonados, así como el coeficiente de aumento de esas dificultades. En las referencias [1] a [10] figuran los datos pertinentes, especialmente en lo que respecta al apartado b) que sigue.

En consecuencia, el CCITT *recomienda*, como objetivo de calidad de funcionamiento de la red, los límites siguientes para el tiempo medio de propagación en un sentido cuando existan fuentes de eco y se utilicen dispositivos adecuados de protección contra el eco, tales como supresores de eco y compensadores de eco:

a) De 0 a 150 ms, admisible.

Observación – Pueden utilizarse supresores de eco especificados en la Recomendación G.161 del Libro Azul [11] para tiempos de propagación no superiores a 50 ms (véase el § 2.2 de la Recomendación G.131).

b) De 150 a 400 ms, admisible siempre que se redoblen las precauciones en las conexiones cuando el tiempo medio de propagación en un solo sentido exceda de unos 300 ms, y a condición de que se utilicen dispositivos de protección contra el eco, tales como supresores de eco y compensadores de eco, concebidos para circuitos con largos tiempos de propagación.

c) Por encima de 400 ms, inadmisible. Salvo en circunstancias verdaderamente excepcionales, no deberán establecerse conexiones con estos tiempos de propagación.

Mientras no se disponga de informaciones adicionales significativas que les permitan determinar mejor los límites admisibles para el tiempo de propagación, las administraciones tendrán plenamente en cuenta los datos contenidos en los documentos citados en las referencias a fin de elegir, entre las distintas posibilidades, las que correspondan a tiempos de propagación comprendidos en los límites indicados en el apartado b) precedente.

Observación 1 – Los valores mencionados se refieren solamente al tiempo de propagación entre dos abonados. Sin embargo, para otras aplicaciones (por ejemplo, en la Recomendación G.131), debe calcularse el tiempo medio de propagación en un sentido de un trayecto de eco. Para dichos cálculos pueden emplearse los valores del § 2 de esta Recomendación.

Observación 2 – Está confirmado que compensadores de eco instalados en ambos extremos de una conexión con tiempo de propagación largo proporcionan una mejor calidad de funcionamiento que los supresores de eco de tipo corriente.

Observación 3 – Debe observarse que aunque un supresor de eco y un compensador de eco instalados en la misma conexión son compatibles (pueden interfuncionar satisfactoriamente), sólo se obtienen todas las ventajas de los compensadores de eco cuando se instalan en ambos extremos. En especial, una administración que sustituya unilateralmente sus supresores de eco por compensadores de eco obtendrá pocas ventajas para sus propios abonados en conexiones internacionales si se mantiene el supresor de eco en el otro extremo.

Referencias

[1] *Libro Rojo* del CCITT, Tomo V *bis*, anexo E (Estados Unidos), edición en francés y en inglés, UIT, Ginebra, 1965.

[2] *Ibíd.*, anexo F (Reino Unido), edición en francés y en inglés.

[3] *Ibíd.*, anexo 4 a la Cuestión 6/XII (Italia), edición en español.

[4] *Libro Blanco* del CCITT, Tomo V, suplementos N.° 1 a N.° 6, UIT, Ginebra, 1969.

[5] BARSTOW (J. M.): Results of user reaction tests on communication via Early Bird satellite, *Progress in Astronautic Aeronautics*, 19, 1966, Academic Press, New York and London.

[6] HELDER (G. K.): Customer evaluation of telephone circuits with delay, *Bell System Technical Journal*, 45, septiembre de 1966, pp. 1157-1191.

[7] RICHARDS (D. L.): Transmission performance of telephone connections having long propagation times, *Het PTT-Bedrijf*, XV N.° 1/2, mayo de 1967, pp. 12-24.

[8] KARLIN (J. L.): Measuring the acceptability of long delay transmission circuits used during the «Early Bird» transatlantic test in 1965, *HET PTT-Bedrijf*, mayo de 1967, pp. 25-31.

[9] DE JONG (C.): Observations on telephone calls between the Netherlands and the USA, *HET PTT-Bedrijf*, mayo de 1967, pp. 32-36.

[10] HUTTER (J.): Customer response to telephone circuits routed via a synchronous-orbit satellite, *POEEJ*, Vol. 60, octubre de 1967, p. 181.

[11] Recomendación del CCITT *Definiciones relativas a los supresores de eco y características de un semisupresor de eco diferencial accionado a distancia*, Libro Azul, Tomo III, Rec. G.161, UIT, Ginebra, 1965.»

En las aplicaciones para enlaces entre satélites, es preferible que el tiempo de propagación admisible de la señal en un canal telefónico de un circuito entre satélites no exceda de 110 ms aproximadamente, de conformidad con la Recomendación G.114 del CCITT. En este caso, el ángulo de separación entre los satélites estaría a 50° aproximadamente (Informe 451).

En una contribución del CCITT, COM XII-N.° 165 (1977-1980) se ofrecía información sobre la calidad subjetiva en los circuitos que comprendían dos saltos por satélite geoestacionario. Estos resultados demostraron que un circuito que comprendía dos saltos por satélite geoestacionario y estaba equipado con compensadores de eco proporcionaba una calidad subjetiva superior a la proporcionada por un circuito que, si bien sólo comprendía un salto por satélite geoestacionario, estaba equipado con supresores de eco conformes con la Recomendación G.161 del Libro Amarillo del CCITT. Este resultado se considera provisional, dado que sólo una contribución se ha referido al tema y la base de datos era bastante limitada en el experimento.

3.2 *Eco y dispositivos de protección contra el eco*

Existen nuevos dispositivos de protección contra el eco, como son los compensadores de eco y los supresores de eco digitales, que están concebidos para circuitos con tiempo de propagación largos o cortos. AT&T ha informado en la contribución COM XII-N.° 165 (1977-1980) del CCITT que en los circuitos con tiempos de propagación largos, el copensador de eco proporciona una calidad superior a la del supresor de eco de la Recomendación G.161 del Libro Amarillo del CCITT. Las diferencias relativas aumentan a medida que lo hace el tiempo de propagación de ida y retorno desde medio salto (270 ms) a un salto (540 ms) a dos saltos (1080 ms).

La Recomendación G.164 del CCITT sobre supresores de eco digitales prevé un retardo en los extremos para ida y retorno de hasta 24 ms. En el caso del compensador de eco, el retardo en los extremos para ida y retorno no se define en la Recomendación G.165 del CCITT. Se ha informado de pruebas subjetivas en las que el margen de funcionamiento del compensador de eco ha sido de 16 ms y 25,6 ms. El margen de funcionamiento del compensador de eco fue determinado por consideraciones relativas a la red.

Como se informó en la contribución COM XII-N.° 155 (1977-1980) del CCITT, Bell Northen Research y Canadian Telecommunications Carries Association han realizado pruebas en las que un extremo de un circuito por satélite geoestacionario con un solo salto fue equipado con un semisupresor de eco y el otro extremo con un compensador de eco. Se informó que esta combinación no presentaba problemas de compatibilidad importantes. Además, la calidad subjetiva del circuito por satélite geoestacionario con un solo salto equipado con compensadores de eco en ambos extremos era sensiblemente mejor que la de un circuito equipado con una combinación supresor de eco-compensador de eco.

3.3 *Contrastes en el tiempo de propagación*

Las comunicaciones telefónicas por circuitos que comprendan un enlace por satélite están afectadas forzosamente de un tiempo de propagación algo mayor que los otros, y los abonados pueden apreciar contrastes entre varias comunicaciones internacionales debidas a los diversos circuitos utilizados para establecerlas.

Según los resultados suministrados al CCITT por el Reino Unido y la AT&T Co. relativos a la utilización de circuitos por cable transatlántico y de circuitos por satélite, no se encontró ningún efecto de este tipo que fuera estadísticamente significativo durante un periodo de cuatro meses.

4. Telegrafía y transmisión de datos

En el caso de transmisiones en un solo sentido, el tiempo de propagación tiene poca importancia. Sin embargo, el tiempo de propagación en bucle es importante cuando se aplica la corrección automática de errores por petición de repetición (ARQ). Aunque los circuitos establecidos mediante sistemas del servicio fijo por satélite no dan lugar a errores importantes en la transmisión de datos ni en la transmisión telegráfica, puede ocurrir que las estaciones terrenas de los sistemas por satélite estén conectadas a estaciones terminales más alejadas por otros medios de telecomunicación que utilicen, por ejemplo, ondas decamétricas, los cuales pueden, por su parte, introducir errores. En tal caso, puede ser conveniente aplicar la corrección automática de errores al circuito completo, incluido el enlace por satélite. El tiempo de propagación en bucle tiene entonces importancia, pues influye en la eficacia de transferencia y en la capacidad de memoria requerida.

En los puntos 2.1 y 2.2 se han indicado los tiempos de propagación que pueden encontrarse en circuitos complejos de este tipo. Los sistemas comúnmente empleados de corrección automática de errores por petición de repetición (ARQ) deberían, con un ciclo de repetición de ocho caracteres, poder funcionar con tiempos de propagación en bucle de 850 ms. En el caso de enlaces que utilicen dos satélites geoestacionarios con doble salto, se necesitará mayor capacidad de memoria; lo mismo podría ocurrir con enlaces que utilicen tres satélites no geoestacionarios con triple salto.

El elevado tiempo de propagación del enlace por satélite puede reducir considerablemente la eficacia de transferencia si se utilizan los sistemas de corrección automática de errores por petición de repetición (ARQ), que son particularmente sensibles a este parámetro. Por consiguiente, se debe seleccionar cuidadosamente el sistema de corrección de errores que debe emplearse en la transmisión de datos por satélite.

Para los sistemas de transmisión de datos que utilizan la repetición automática de bloques de códigos incorrectamente recibidos, convendría que la capacidad de memoria del equipo terminal permitiera acomodar todos los tiempos de propagación en bucle, esto es, el tiempo de propagación radioeléctrico y los retardos por conmutación.

En la explotación telegráfica con conmutación, ciertas dificultades podrían afectar la selección automática a larga distancia. Se trata de un problema que debiera estudiar el CCITT.

Es poco probable que la variación lenta que resulta de la diferencia de longitud del trayecto entre la estación de satélite y las estaciones terrenas dificulte la transmisión de datos o de telegrafía.

5. Telefotografía

El tiempo de propagación en sí carece de importancia, pero las variaciones lentas producen una deformación de «sesgado» de la imagen recibida, deformación mayor o menor según la magnitud en que varíe el tiempo de propagación durante el tiempo necesario para transmitir la imagen completa; esta duración es de unos 15 minutos para un equipo que, de acuerdo con las Recomendaciones del CCITT, funcione a 60 revoluciones por minuto. En un sistema operacional del servicio fijo por satélite, la variación durante estos 15 minutos no excedería probablemente de 10 ms, lo que produciría, en la periferia de la imagen, un desplazamiento de la línea de exploración final de aproximadamente un 1% de la anchura de la imagen con relación a la posición que debería ocupar teóricamente. Esta deformación de «sesgado» sería prácticamente aceptable. Además, se observará que tal deformación puede igualmente deberse a una diferencia entre las velocidades de rotación de los cilindros de transmisión y de recepción. El CCITT recomienda a este respecto una tolerancia de 10^{-5}, lo que equivale precisamente a una variación de 10 ms durante 15 minutos. En los casos más desfavorables, en que los dos efectos se sumasen, la deformación de «sesgado» podría ser de un 3% aproximadamente de la anchura de la imagen; pero hay pocas probabilidades de que una suma de errores tan desfavorable se produzca con frecuencia. Lo que precede es cierto para los equipos que se ajustan a las Recomendaciones del CCITT, pero se aplica igualmente a aquellos otros tipos que, a pesar de las diferencias de velocidad de transmisión, siguen análogas normas de definición.

Para imágenes en color, transmitidas por el procedimiento de separación de colores, las variaciones del tiempo de propagación pueden impedir un registro perfecto.

6. Televisión

Los tiempos de propagación indicados en el punto 2 no limitarán en modo alguno la transmisión de señales de televisión, siempre que sean del mismo orden de magnitud que los de las señales de sonido correspondientes.

Normalmente, sólo es tolerable una pequeña separación entre las señales de sonido y de imagen antes de que se produzca una falta apreciable de sincronismo entre ellas. Por tanto, es de desear que, en un sistema del servicio fijo por satélite, se prevean medios adecuados que permitan la transmisión simultánea de las señales de imagen y de las señales de sonido correspondientes.

7. Resumen

No es necesario tomar en consideración el tiempo total de propagación para los servicios que utilizan transmisiones en un solo sentido, por ejemplo, televisión, telefotografía en blanco y negro y sistemas de telegrafía y transmisión de datos que no necesitan corrección de errores. En cambio, los sistemas de telegrafía y de transmisión de datos dotados de dispositivos de corrección automática de errores pueden requerir una adaptación para tener en cuenta que el tiempo de propagación en las telecomunicaciones por satélite será generalmente más largo que con los otros procedimientos. En el caso de la televisión con canal de sonido asociado, como normalmente es el caso, habrá que cerciorarse de que la diferencia entre los tiempos de propagación se mantiene dentro de límites aceptables. Conviene que el mismo sistema de satélites asegure la transmisión de la imagen y del sonido.

Se ha visto que el tiempo de propagación es menos importante en telefonía cuando se dispone de medios adecuados de protección contra el eco. Los resultados de pruebas recientes han revelado una gran mejora en la calidad subjetiva cuando se utilizan, en conexiones internacionales con largos tiempos de propagación, nuevos compensadores de eco digitales conformes, respectivamente, con las Recomendaciones G.165 y G.164 del CCITT. Debe señalarse que a medida que aumenta el tiempo medio de propagación en un sentido, aumenta la diferencia de calidad de funcionamiento relativa entre compensadores de eco, supresores de eco digitales y supresores de eco conformes con la Recomendación G.161 (Libro Amarillo), siendo los compensadores de eco los que obtienen la mayor puntuación en la evaluación de calidad para cualquier condición referente al tiempo de propagación del circuito.

BIBLIOGRAFÍA

CAMPANELLA, S. J., SUYDERHOUD, H. G. y ONUFRY, M. [octubre de 1970] Subjective evaluation of predicted multiple-hop satellite communications for government and military users. *IEEE Trans. Comm. Tech.*, Vol. COM-18, **5**, 663-672.

DI BIASO, L. S. [27-29 de noviembre de 1979] Satellite user reaction tests, a subjetive evaluation of echo control methods. IEEE National Telecommunications Conference (NTC'79), Washington DC, Estados Unidos de América, Conf. Record, Vol. 3, IEEE Catalog No. 79CH1514-9, Session 48: Advances in echo control for telecommunications, 48.6.1-48.6.6.

HELDER, G. K. y LOPIPARO, P. C. [septiembre de 1977] Improving transmission on domestic satellite circuits. *BSTJ*, Vol. XLV, 7, 1157-1191.

POST, J. A. y SILVERTHORN, R. D. [29 de noviembre de 1979] Results of a subjective comparison of echo control devices in terrestrial and satellite trunks. IEEE National Telecommunications Conference (NTC'79), Washington DC, Estados Unidos de América, Conf. Record, Vol. 3. IEEE Catalog No. 79CH1514-9, Session 48: Advances in echo control for telecommunication, 48.4.1-48.4.5.

SUYDERHOUD, H. G., CAMPANELLA, S. J. y ONUFRY, M. [otoño de 1975] Results and analysis of worldwide echo canceller field trial. *COMSAT Tech. Rev.*, Vol. 5, **2**, 253-274.

INFORME 451-3

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO DE LOS SISTEMAS Y EN LA ELECCIÓN DE FRECUENCIAS PARA ENLACES ENTRE SATÉLITES DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 2/4)

(1970-1974-1978-1982)

1. Consideraciones generales

Los enlaces de radiocomunicaciones entre estaciones espaciales del servicio fijo por satélite constituyen un medio de interconexión de las redes espaciales. Se trata de una alternativa al empleo de sistemas de antenas múltiples en las estaciones terrenas o de circuitos de varios saltos. Se han efectuado con éxito diversos experimentos basados en esta técnica.

Reconociendo la posible utilidad de los enlaces entre satélites, la CAMTE de 1971, definió el servicio entre satélites y la CAMR-79 atribuyó frecuencias por encima de 22 GHz. Puede resultar también ventajoso explotar enlaces entre satélites a frecuencias más bajas.

Este Informe estudia, en términos generales, algunos conceptos relativos al desarrollo de los enlaces entre satélites y los requisitos técnicos de explotación de dichos enlaces.

Si bien podrían utilizarse haces de ondas láser para las comunicaciones entre vehículos espaciales, el hecho de que su abertura sea extremadamente pequeña, además de otras limitaciones, hace que en la actualidad se prefiera utilizar ondas milimétricas u otros modos de radiocomunicación, por lo que en este Informe se considerará sólo la gama de frecuencias de 3 GHz a 300 GHz.

2. Ventajas y desventajas de los enlaces entre satélites

Las conexiones entre satélites ofrecen por lo menos cuatro ventajas importantes, a saber:

- reducen el número de estaciones terrenas necesarias y/o de las correspondientes antenas;
- permiten una mejor utilización de la capacidad de circuitos disponible en los trayectos Tierra-espacio;
- ofrecen la ampliación de las posibilidades de interconexión (global) para las estaciones terrenas con acceso a satélites mediante haces de cobertura restringida;
- aumentan la flexibilidad para preparar los planes de configuraciones de las redes.

Para ilustrar con un ejemplo las ventajas mencionadas consideremos el caso límite hipotético de un sistema que comprenda, para cada estación terrena, un satélite dedicado exclusivamente a asegurar el enlace con una estación terrena (satélite «amarrado»). Las conexiones entre las estaciones terrenas del sistema se efectuarían entonces mediante los enlaces entre satélites en el arco orbital. Cada satélite constituiría, de hecho, una extensión, a muy larga distancia, de su estación terrena asociada.

En este caso límite de satélites «amarrados», todas las deficiencias en la utilización de la capacidad disponible respecto a potencia y anchura de banda debidas a:

- agrupación de circuitos,
- limitaciones en cuanto a conexión,
- conmutación,
- multiplexado, etc.,

se transfieren de los enlaces Tierra-espacio al arco de la órbita geoestacionaria. En el arco geoestacionario, liberado ya de enlaces con Tierra, el espectro disponible, considerablemente mayor, debido a la posibilidad de utilizar longitudes de ondas submilimétricas u ópticas, sería más tolerante a las deficiencias de utilización generadas por limitaciones reales de conexiones de circuitos en el sistema.

Además, como sólo habría una estación terrena por cada satélite, se reduciría a un mínimo el requisito de cobertura de la antena del satélite. Teóricamente, se podría utilizar una antena de satélite con un haz muy estrecho orientada hacia la Tierra, que asegure una buena supresión fuera del eje del haz de las señales interferentes recibidas de otras estaciones terrenas y reduzca a un mínimo la posibilidad de interferencias causadas a otras estaciones terrenas. Con un nivel reducido de la densidad de flujo interferente generada por los lóbulos laterales de nivel más bajo de las antenas, podría tolerarse una menor separación entre los satélites. Por otra parte, con sólo una conexión bilateral con una estación terrena, el modo de explotación consistente en transmitir una sola portadora por transpónder (es decir, baja intermodulación y reducción escasa o nula del punto de funcionamiento del TOP del transpónder respecto al punto de saturación «back-off», permitiría obtener una capacidad adicional superior a la asegurada por antenas de haces restringidos.

Teóricamente, dicho sistema permitiría elevar al máximo la eficacia del espectro en el sentido espacio-Tierra. Con la mayor disponibilidad del espectro en las frecuencias superiores a los enlaces entre satélites, es razonable prever que la capacidad orbital seguiría estando condicionada por la capacidad que pueda obtenerse en los enlaces Tierra-espacio, incluso con la configuración más ventajosa. En consecuencia, el modelo ideal que se describe parece fijar un límite superior a la capacidad posible en la órbita de los satélites geoestacionarios. Sistemas menos desarrollados que empleen enlaces entre satélites para conectar entre sí satélites, cada uno de los cuales preste servicio a varias estaciones terrenas, no ofrecerían las ventajas citadas en la misma medida.

Sin embargo, en la Recomendación G.114 del CCITT se especifica que el límite de tiempo de propagación aceptable de la señal en un canal telefónico es de 400 ms. El retardo de la señal en un enlace que utiliza un solo satélite geoestacionario, incluido el margen para el retardo en las prolongaciones terrenales, suele ser de unos 290 ms. De ahí que el retardo admisible de la señal en un canal telefónico de un enlace entre satélites no deba exceder de unos 110 ms. El ángulo de separación entre los dos satélites geoestacionarios viene dado por la fórmula:

$$\theta \leqslant 2 \text{ arc sen } \frac{t \cdot C}{2 (R_E + H)}$$

siendo

t: retardo admisible de la señal en un canal telefónico de la sección satélite-satélite,

C: velocidad de propagación de la onda radioeléctrica,

R_E: radio de la Tierra,

H: altura del satélite sobre la superficie de la Tierra.

Para satisfacer la Recomendación G.114 del CCITT, el ángulo de separación entre dos satélites geoestacionarios en un enlace entre satélites destinado a telefonía no debe exceder de unos 50°.

A corto plazo, para aumentar de un modo económico la capacidad existente con una repercusión mínima sobre los sistemas actuales, deben considerarse concepciones más limitadas de enlaces entre satélites. Típicamente, tales enlaces proporcionarían solamente una capacidad limitada de circuitos entre satélites. Estos sistemas a corto plazo, tendrían probablemente las siguientes características:

- distancia de separación entre satélites relativamente corta;
- capacidad limitada;
- número reducido de sistemas en servicio;
- repercusiones mínimas en la tecnología actual de los vehículos espaciales: estructura, puntería/orientación y componentes RF.

3. Consideraciones sobre el diseño de los enlaces entre satélites

Los elementos que han de tenerse en cuenta al diseñar un enlace entre satélites son:

- separación geométrica entre los satélites, φ (grados);
- frecuencia, f (MHz);
- diámetro de la antena, D (m), de abertura circular equivalente, con una eficacia de aproximadamente el 55%;
- temperatura de ruido del sistema receptor, T (K);
- potencia disponible en radiofrecuencia, p (W);
- anchura de banda necesaria, b (Hz).

Basado en estos parámetros, la calidad de funcionamiento de un enlace entre satélites puede expresarse en función de la relación portadora/ruido antes de la detección, la cual puede aproximarse mediante la ecuación:

$$C/N = 3{,}72 \frac{pD^4 f^2}{\varphi^2 kTb} 10^{-18} \quad (1)$$

donde $k = 1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K, es la constante de Boltzmann. Esta ecuación es válida para pequeñas separaciones orbitales. Para $\varphi > 10°$, debe sustituirse el término φ^2 por: $1{,}31 \times 10^4 \times \text{sen}^2 (\varphi/2)$.

En la ecuación (1), la temperatura de ruido del sistema receptor es función de la frecuencia. Temperaturas de ruido de unos 1000 K son típicas para frecuencias en torno a 6 GHz, y se supone la siguiente dependencia de la fecuencia:

$$T(f) \simeq 31{,}6 \, (f/6)^{1/2} \quad \text{K} \quad (2)$$

En la planificación real de sistemas, los parámetros C/N y φ están generalmente impuestos por el sistema; el primero viene determinado por la calidad de funcionamiento requerida del sistema, y el segundo por consideraciones de interferencia entre satélites. Es por tanto conveniente establecer la relación entre los requisitos de potencia y el tamaño de la antena en los enlaces entre satélites.

La fig. 1 muestra la potencia relativa requerida por unidad de anchura de banda (p/b) en función de la frecuencia, con el diámetro de la antena como parámetro, en dB, comparada con una referencia arbitraria y para valores fijos de φ y C/N. También se muestran en la fig. 1 las aberturas angulares de los haces de las antenas para enlaces entre satélites, para las diversas combinaciones de D y f. El aumento del diámetro de la antena en los enlaces entre satélites reduce las necesidades de potencia en relación inversa a la cuarta potencia. Conforme aumenta el tamaño de la antena, disminuye la abertura angular del haz y son cada vez más rigurosos los requisitos mutuos de puntería entre los dos satélites.

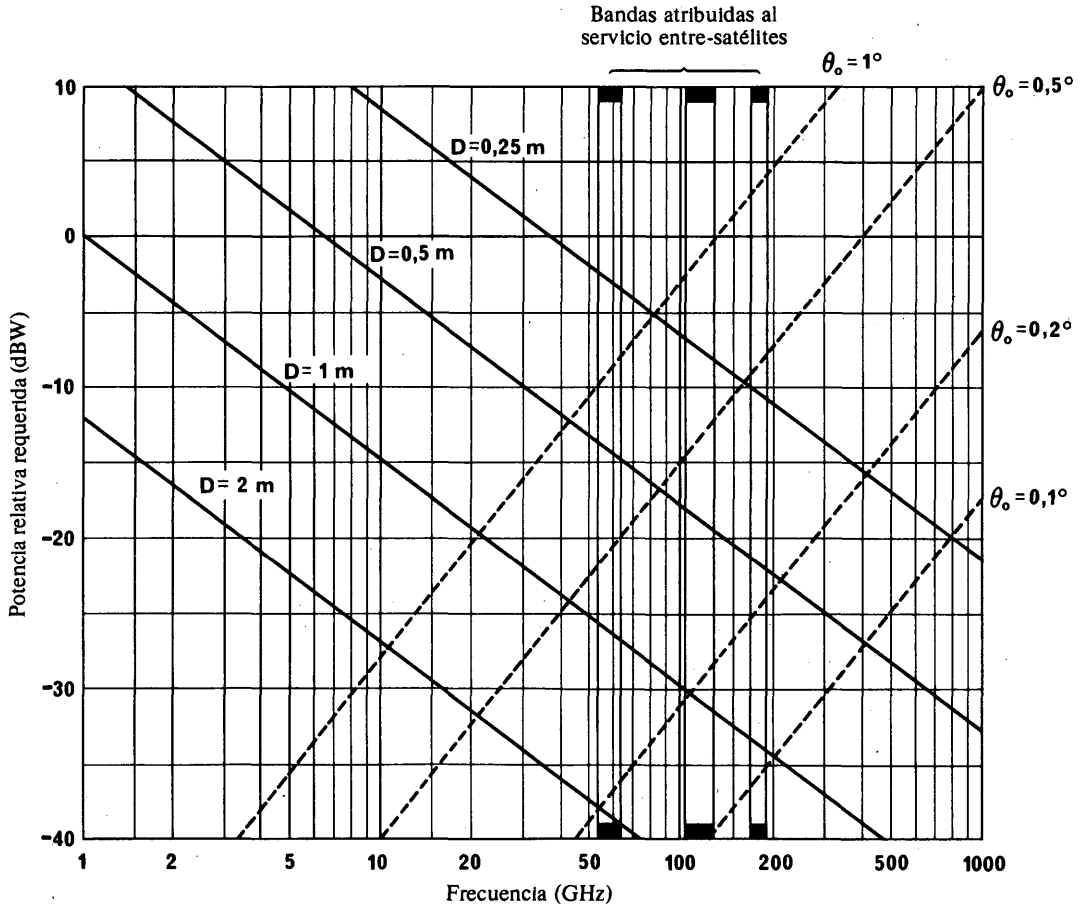


FIGURA 1 — *Potencia relativa por unidad de anchura de banda, necesaria para un enlace entre-satélites, en función de la frecuencia y para diversos diámetros de antena, en ausencia de pérdidas imputables a falta de puntería de seguimiento*

D: Diámetro de la antena

θ_0: Abertura angular del haz a potencia mitad

Por ejemplo, con una potencia disponible de 20 W, para una separación entre satélites de 3°, un enlace entre satélites con una anchura de 100 MHz en 54 GHz y una relación portadora/ruido de 30 dB, exigiría antenas de 0,68 m de diámetro. La abertura angular del haz de esas antenas es de 0,56° aproximadamente, y se necesitarían precisiones de puntería de aproximadamente 1/10 de ese valor, o sea unos 0,06° para aprovechar completamente la ganancia de la antena. Se ha tomado como punto de partida una relación portadora/ruido de 30 dB basándose en que el ruido en el enlace entre satélites no debería influir de forma apreciable en la calidad de funcionamiento total.

Por ello, la utilización de antenas de dimensiones razonables para reducir al mínimo la potencia, en 54 GHz o en frecuencias más elevadas, probablemente necesite incorporar el seguimiento mutuo entre satélites, dadas las condiciones actuales de la técnica en materia de estabilización de actitud de los vehículos espaciales y de adaptación de los elementos orbitales. La técnica de seguimiento y de orientación de haces está bastante desarrollada hasta las frecuencias ópticas.

No obstante, para reducir a un mínimo la complejidad de los vehículos espaciales y aumentar la confiabilidad, es interesante considerar (por ejemplo, en el caso de aplicaciones para INTELSAT) enlaces entre satélites capaces de mantenerse sin seguimiento mutuo.

4. Enlaces entre satélites sin seguimiento

Al examinar los enlaces entre satélites cuyas antenas efectúan un seguimiento mutuo, es necesario tener en cuenta dos requisitos adicionales impuestos por el sistema:

ΔC: la variación tolerable del nivel de la señal en el enlace entre satélites (dB);

δ : el error en puntería de la antena debido a las tolerancias relativas de actitud del vehículo espacial (grados).

En el anexo I se muestran los márgenes de error de orientación característicos en el plano y perpendicularmente a éste, para vehículos espaciales nominalmente geoestacionarios. En las condiciones actuales de la técnica, se pueden obtener errores angulares netos de sólo 0,5° a 1°.

La degradación de la ganancia en la dirección del lóbulo principal debida a errores de orientación, $g(\theta)/G_0$, en el caso de una antena con un alimentador simple, puede aproximarse mediante:

$$g(\theta)/g_0 \approx 10^{-1,2\,(\theta/\theta_0)^2} \tag{3}$$

en donde θ es la desviación angular respecto a la línea de puntería (en grados) y θ_0, la abertura angular del haz a potencia mitad (en grados), cuya relación con el diámetro de la abertura D viene dada por:

con

$$\theta_0 = \frac{2{,}14}{fD} \cdot 10^4 \qquad \text{grados} \tag{4}$$

f en MHz, y
D en metros.

Considerando que la incertidumbre de puntería implica un error de colimación $\theta = \delta$ y que intervienen dos antenas, cada una de las cuales puede experimentar variaciones de ganancia comprendidas entre g_0 y $g(\theta)$, pueden combinarse las ecuaciones (3) y (4) para obtener:

$$20 \log (g/g_0) = \Delta C \approx 5{,}24\,(\delta f D)^2\, 10^{-8} \qquad \text{dB} \tag{5}$$

Si se combinan las ecuaciones (1) y (2), se resuelve la nueva expresión para la densidad espectral mínima de potencia requerida p/b, y se inserta la ecuación (5) como atenuación adicional debida a los errores de puntería, se obtiene, en dB:

$$10 \log (p/b) = P_0 = C/N + 20 \log \varphi - 15 \log f - 40 \log D + \\ + 5{,}24\,(\delta f D)^2\, 10^{-8} - 43{,}2 \qquad \text{dB(W/Hz)} \tag{6}$$

La representación de P_0 en función de f para $\delta = 0{,}5°$ y $\delta = 1°$ y diámetros de antena de 0,25, 0,5, 1 y 2 m (fig. 2) muestra que pueden cumplirse los requisitos mínimos de potencia en frecuencias inferiores a 54 GHz, que es la frecuencia más baja atribuida en la actualidad al servicio entre satélites. La fig. 2 utiliza una referencia arbitraria para P_0 y considera C/N y φ como constantes del sistema. La medida en que un enlace entre satélites

puede explotarse cerca de la frecuencia óptima (por ejemplo, mínima P_0), depende de la tolerancia de nivel de la señal ΔC que se esté dispuesto a aceptar. En la fig. 2 se exponen los límites para ΔC = 1 dB y 2 dB. La frecuencia efectiva óptima es aquella en que se cortan las curvas de P_0 y ΔC. Los requisitos mínimos absolutos de potencia se cumplen para un valor de ΔC de unos 3,4 dB; por ello no se obtiene ninguna ventaja admitiendo una variación de nivel superior a unos 3 dB.

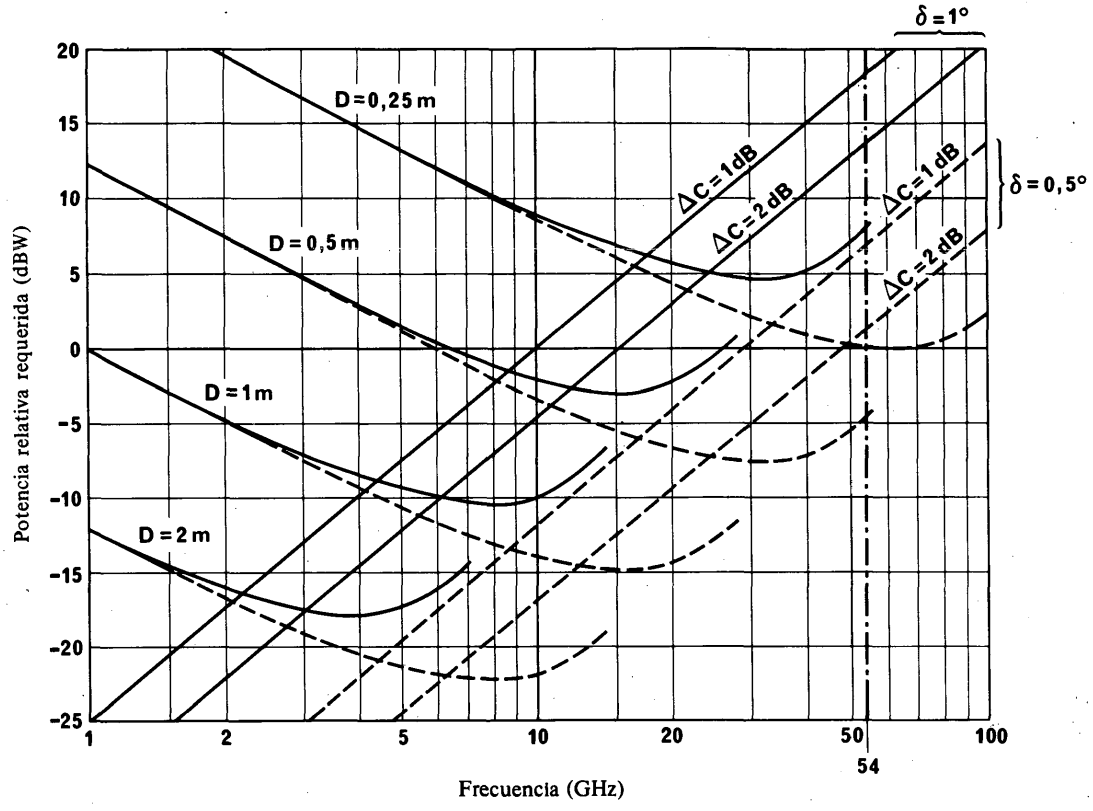


FIGURA 2 — *Potencia relativa requerida en un enlace entre-satélites sin seguimiento, en función de la frecuencia, con un diámetro de antena (D), un error de puntería neto (δ) y a una variación admisible de nivel de la señal ΔC, como parámetros*

——— δ = 1°
– – – – δ = 0,5°

Estas consideraciones indican que, para antenas de tamaño superior a 0,25 m, las frecuencias óptimas para enlaces entre satélites próximos sin seguimiento parecen situarse por debajo de 54 GHz, dado que cuanto mayor es el diámetro de la antena más baja es la frecuencia óptima.

5. Reutilización de frecuencias por enlaces entre satélites con antenas de seguimiento

El anexo II al presente Informe contiene los resultados y las conclusiones de un análisis, basado en ciertas hipótesis, del grado en que los enlaces entre satélites geoestacionarios pueden reutilizar las mismas frecuencias.

6. Elección de frecuencias para los enlaces entre satélites

Los enlaces entre satélites geoestacionarios de telecomunicación pueden agruparse en dos categorías distintas:

a) Enlace entre satélites muy separados entre sí en la órbita de los satélites geoestacionarios (por ejemplo, 60°) destinados a extender la cobertura geográfica de un sistema sin utilizar una estación terrena como repetidor.

b) Enlaces entre satélites relativamente próximos entre sí (por ejemplo, una separación de órbita de 3° a 5°) y virtualmente con la misma zona de servicio, pero que están destinados a grupos diferentes de estaciones terrenas.

Más abajo se consideran los parámetros técnicos óptimos para estos dos tipos de enlace, que normalmente serían muy diferentes.

6.1 *Enlaces largos entre satélites*

En los enlaces de la categoría a), la pérdida debida al trayecto entre los satélites será grande y comparable con la pérdida del trayecto desde un satélite geoestacionario a la Tierra; para mantener la potencia de transmisión del enlace en un valor práctico, habría que utilizar antenas de alta ganancia tanto en transmisión como en recepción. En el caso de un diámetro máximo de antena, por ejemplo de 1,2 m, impuesto por las dimensiones del compartimento portador del vehículo del lanzador del satélite, esta ganancia elevada exigiría la explotación con una frecuencia lo más elevada posible, típicamente superior a 20 GHz, y de preferencia en la banda 54,25 a 58,2 GHz, atribuida al servicio entre satélites. Si los errores de mantenimiento en posición y la inclinación orbital del satélite se mantienen dentro de valores pequeños, pero realizables con el estado actual de la técnica, las variaciones en la dirección de un satélite a otro serán de poca monta, y las grandes distancias de separación propias de estos sistemas no excluyen la utilización de antenas de haces restringidos, incluso cuando se carece de dispositivos de seguimiento.

6.2 *Enlaces cortos entre satélites*

En el caso de enlaces cortos entre satélites descritos en la categoría b), la relativa proximidad de los satélites se traduce en grandes variaciones angulares en el trayecto del enlace para valores muy pequeños de inclinación orbital. Por ejemplo, la variación angular máxima en un enlace entre satélites separados entre sí 4° y con tolerancias de inclinación orbital en cada uno de ellos de ± 0,1°, será de:

$$2 \text{ arc tg } \frac{0{,}2}{4} = 5{,}7^\circ$$

Se ha supuesto la peor situación que puede presentarse, cuando los desplazamientos en latitud de los dos satélites son en total oposición de fase. Normalmente se evitaría esta situación eligiendo adecuadamente los parámetros orbitales y, como se muestra en el anexo I, sería posible reducir la variación angular a ± 1°. Si se dispusiera de antenas con dispositivos de seguimiento, podrían utilizarse antenas de gran ganancia para enlaces cortos entre satélites. Sin embargo, el seguimiento de antena obligaría a utilizar dispositivos de satélite muy perfeccionados y de poco peso, que probablemente no pueden obtenerse en la actualidad con la confiabilidad suficiente. Así, en el ejemplo citado más arriba, es necesario utilizar antenas con una abertura angular del haz igual a 2,0° más un margen de quizá 0,15° para los errores de actitud del satélite.

Estos resultados y la fig. 2 indican que las antenas de 1 m de diámetro que no efectúan seguimiento, tendrían mejor rendimiento para frecuencias del orden de 10 GHz. Si la variación angular pudiera reducirse a fracciones de 1° mediante un sistema de seguimiento de la antena, el valor óptimo aumentaría hasta situarse en la gama de 20 a 30 GHz. Puede aliviarse en cierto grado el problema de seguimiento mediante el empleo de antenas más pequeñas, pero esto implica un aumento notable en la potencia de transmisión.

Debido a consideraciones de interferencia, sería imposible utilizar para los enlaces entre satélites las bandas atribuidas a los servicios espacio-Tierra o Tierra-espacio del servicio fijo por satélite. Sin embargo, como la orientación de los trayectos de transmisión del enlace está bastante alejada de la Tierra, no puede haber ningún problema de compartición con los servicios terrenales; este aspecto del problema se examina en el Informe 387.

6.3 *Tecnología de los dispositivos*

Actualmente se encuentra bien desarrollada la tecnología para las estaciones espaciales en las bandas de 11/14 y 20/30 GHz. Sería deseable, poder utilizar en los enlaces entre satélites estos equipos comprobados en el espacio, u otros similares. Para la puesta en servicio en un futuro próximo, las frecuencias superiores a 50 GHz pueden ser demasiado elevadas.

6.4 *Problemas de interferencia y coordinación*

Se han detectado los siguientes problemas básicos:

- El servicio entre satélites tendrá que tener una capacidad dúplex completa. Por consiguiente, serán necesarios pares de bandas de frecuencias con igual anchura y separados por un intervalo de frecuencias.
- Las bandas entre satélites deberán estar separadas en frecuencia de las bandas de los trayectos ascendente y descendente. Conviene además que haya un intervalo entre cualquiera dos de esas bandas para reducir al mínimo los problemas de interferencias. Un satélite utilizará una frecuencia entre satélites para la transmisión y otro satélite para la recepción. Si las frecuencias del trayecto ascendente o descendente son muy próximas a la frecuencia entre satélites, es posible que se produzcan diferencias de nivel considerables entre un transmisor y un receptor que sean adyacentes en frecuencia. Ello entraña la necesidad de niveles de protección muy estrictos a bordo del satélite, de hecho tan estrictos que sería necesario dejar de utilizar partes de las bandas con el objeto de que haya así un intervalo entre las frecuencias de transmisión y de recepción.
- En términos generales, no deben compartirse las bandas de frecuencias entre satélites con otras bandas utilizadas por los satélites. En cambio, sí pueden compartirse con las bandas utilizadas por los servicios terrenales (véase el Informe 791).

– Los haces de todos los enlaces entre satélites estarían orientados en el plano de la órbita de los satélites geoestacionarios, y la separación angular entre los haces de los enlaces entre satélites pertenecientes a sistemas distintos puede no ser mayor que la separación angular entre satélites adyacentes. Para lograr una reutilización de frecuencias del espectro atribuido a los enlaces entre satélites, será necesario que las antenas se diseñen con aberturas de haz muy estrechas, niveles bajos de lóbulos laterales y gran precisión de puntería respecto de las aplicaciones del enlace entre satélites. Es igualmente evidente que hay necesidad de prever técnicas y criterios para la coordinación de las frecuencias asignadas a los enlaces entre satélites.

7. Conclusiones

Del examen precedente se infiere que es razonable esperar un creciente interés por los enlaces entre satélites. He aquí algunos de los principales problemas técnicos que habrá que resolver:

– diseño y especificación de las características de transmisión, de la tecnología y de la configuración de los enlaces entre satélites;
– disposiciones a tomar respecto a los enlaces interorbitales; concepción y tecnología de la conmutación;
– repercusiones en las características mecánicas de los vehículos espaciales.

Puede preverse la posibilidad de una demanda de enlaces cortos entre satélites destinados a proporcionar servicios de interconexión entre redes de satélites de telecomunicación, y se ha observado que la frecuencia óptima de explotación es notablemente inferior a la frecuencia más baja atribuida al servicio entre satélites, y preferiblemente entre 15 y 35 GHz.

BIBLIOGRAFÍA

KURAKOV, P. S. [1980] Vybor parametrov mezhsputnikovoi linii svyazi (Elección de parámetros para un enlace entre satélites). *Elektrosviaz*, **2**, 11-14.

ANEXO I

ERRORES DE PUNTERÍA Y SUS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS PARA ANTENAS SIN SEGUIMIENTO EN UN ENLACE ENTRE SATÉLITES

Se supone que las antenas empleadas para enlaces entre satélites en cada estación espacial están instaladas en una plataforma de desrotación y alineadas inicialmente de forma que cada estación espacial se encuentre en el centro del diagrama de radiación de la antena de la estación espacial correspondiente, en las condiciones nominales dentro de la órbita sincrónica. Los errores de orientación motivados por desviaciones respecto de las condiciones nominales están desglosados en componentes dentro y fuera del plano en los cuadros I y II. El error total es la suma cuadrática de los errores de ambas componentes y afecta por separado a cada uno de los satélites.

CUADRO I — *Errores de puntería «en el plano»*

Fuente de error	Magnitud del error
1. *Variación a largo plazo*	
Distorsión térmica de la antena	± 0,02°
Error de posición en el sentido de la trayectoria	± 0,05°
Error de posición transversal a la trayectoria:	
Separación nominal en longitud:	
2°	± 0,47°
3°	± 0,31°
4°	± 0,23°
5°	± 0,19°
2. *Error sistemático*	± 0,20°
3. *Variación a corto plazo*	
Puntería de la plataforma con desrotación	± 0,25°

CUADRO II — *Errores de puntería «fuera de plano»*

Fuente de error	Magnitud del error
1. *Variación a largo plazo*	
Distorsión térmica de la antena	± 0,04°
Incertidumbre respecto a la actitud	± 0,01°
Precesión de la actitud con respecto a la órbita normal	⩽ 0,10°
Error de posición «fuera de plano»:	
Separación nominal en longitud:	
2°	± 0,31°
3°	± 0,21°
4°	± 0,15°
5°	± 0,12°
2. *Error sistemático*	
Alineación mecánica	± 0,20°
3. *Variación a corto plazo*	
Vacilación del movimiento de rotación y nutación	± 0,06°

Los errores angulares de puntería introducidos por el desplazamiento sobre la órbita son función de la separación nominal, en longitud, de los satélites. El error de posición «en el plano» de la órbita comprende un error de ubicación, debido al hecho de que la separación en longitud no corresponde a la nominal, y un error transversal debido a que uno o ambos satélites no se encuentran a su altitud nominal. El error «fuera del plano» de la órbita se produce cuando el movimiento del satélite no tiene lugar en el mismo plano. Se supone que estos errores se deben a las tolerancias admitidas en lo tocante a los elementos orbitales y no a la incertidumbre estadística en las posiciones de cada uno de los satélites.

El error de ubicación contribuye relativamente poco al error de orientación angular, ya que es igual a la mitad del error admisible en las separaciones entre satélites. Si se pone mucho cuidado, puede mantenerse una tolerancia de ± 0,1° en la separación entre satélites con un consumo de combustible ligeramente superior al necesario para el mantenimiento normal en posición Este-Oeste. La tolerancia es también lo suficientemente grande para permitir una cierta flexibilidad en la programación de las diversas maniobras.

El error transversal a la trayectoria se produce debido a que ninguno de los satélites puede mantenerse en una órbita perfectamente circular sin correcciones diarias de velocidad. Por ello la altitud de cada satélite experimentará a lo largo de las 24 horas una variación en torno a un valor medio. La altitud media de cada satélite será aproximadamente la misma, ya que el movimiento Este-Oeste estará casi en fase, pero las variaciones individuales tendrán por lo general amplitudes y fases distintas.

Existe la posibilidad de controlar las amplitudes de las variaciones individuales de altitud o, alternativamente, de controlar su fase, de forma que el error de posición transversal a la trayectoria no sea nunca superior a algunos kilómetros. Sin embargo, ello requiere correcciones suplementarias de velocidad de desplazamiento, en presencia de un acoplamiento de velocidad «en el plano» como consecuencia de maniobras Norte-Sur, así como una estrecha coordinación de las maniobras normales Este-Oeste en los dos satélites. Sin introducir esta complejidad adicional, se estima que el error de posición puede mantenerse dentro de un margen de 12 km.

El error de orientación «fuera del plano» se produce cuando los dos satélites no se mueven exactamente en el mismo plano. Se estima que este error de posición puede mantenerse dentro de un margen de 8 km, lo que corresponde a un ángulo de aproximadamente 0,01° entre los planos orbitales individuales. Este error refleja la incertidumbre esperada en las correcciones de velocidad efectuadas durante las maniobras individuales para el mantenimiento en posición Norte-Sur efectuadas sobre cada satélite.

Cada maniobra de mantenimiento en posición en el sentido Norte-Sur modificará en 0,2° la orientación por inercia de cada plano orbital. Para que la orientación relativa sea aproximadamente constante, deben coordinarse estrechamente las distintas maniobras. Para una separación en longitud entre satélites igual a 3°, las maniobras deben realizarse con 12 minutos, a lo sumo, una de otra (4 minutos por grado de separación en longitud).

Error de puntería

Los diversos elementos que componen el error de puntería se han reducido a un solo valor efectivo mediante la aplicación de la regla siguiente:

- Todas las contribuciones a largo plazo «dentro del plano» se suman algebraicamente para obtener un solo valor. Se procede de igual modo para todas las contribuciones «transversales» a largo plazo.
- La suma cuadrática de los errores «en el plano» y «transversales» se suman para obtener un solo valor de error a largo plazo. Como las dos componentes son iguales y se presume que no están correlacionadas, el error cuadrático a largo plazo es circular.
- Las contribuciones «en el plano» a corto plazo se suman algebraicamente. Se procede de forma semejante para las contribuciones «transversales» a corto plazo.
- Las contribuciones «en el plano» y «transversales» y el error cuadrático a largo plazo se suman cuadráticamente para obtener el error total de orientación.
- Dado que cada término de la suma total tomado individualmente tiene un bajo valor de probabilidad, nominalmente del tipo 3 σ, el error total de puntería tiene también un bajo valor de probabilidad, nominalmente 3 σ.

Cuando se aplica la norma anterior a los márgenes de error antes indicados, se obtiene el error total para las diversas separaciones entre satélites especificado en el cuadro III. Éstos son los errores de puntería utilizados para evaluar la calidad de funcionamiento del enlace.

CUADRO III — *Error de puntería en función de la separación entre satélites*

Separación	Error efectivo de puntería
2°	1,01°
3°	0,833°
4°	0,739°
5°	0,693°

Se supone que el error efectivo total es circular, aunque ello no sea totalmente exacto. La comodidad, a la hora de efectuar los cálculos, justifica que se haga esta hipótesis a pesar del pequeño error que se comete.

ANEXO II

REUTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS POR ENLACES ENTRE SATÉLITES GEOESTACIONARIOS QUE UTILIZAN ANTENAS DE SEGUIMIENTO

1. Introducción

El importante desarrollo previsible del servicio entre satélites exigirá la utilización de antenas de comunicación de seguimiento recíproco, emplazadas a bordo de las distintas estaciones espaciales unidas por los enlaces.

Aceptando la utilización generalizada de estos enlaces entre satélites geoestacionarios, hay que determinar entonces cuántos enlaces de ese género pueden compartir las mismas frecuencias y qué factores influyen en las posibilidades de reutilización de frecuencias en el servicio entre satélites.

2. Definición del enlace

Un enlace entre satélites geoestacionarios se caracteriza por dos estaciones espaciales geoestacionarias con una separación angular geocéntrica, θ, cada una de las cuales apunta hacia la otra los haces principales de su antena transmisora y receptora (que puede ser la misma) de ganancia elevada. Esa puntería se mantiene por seguimiento siendo despreciable el error. Se supone que las bandas de frecuencia de transmisión son diferentes en las direcciones Este-Oeste y Oeste-Este pero suficientemente próximas entre sí para poder dar por sentado que las ganancias de antena y las pérdidas de trayecto son las mismas en ambos casos ($|f_1 - f_2| \ll f_1$). Se supone también que el requisito de calidad (relación portadora/ruido (C/N)) en ambas direcciones es igual, como también lo es la relación de protección requerida (relación portadora deseada/portadora interferente (C/I)) contra la interferencia procedente de emisiones de otros enlaces entre satélites.

Se supone asimismo que los diagramas de radiación de las antenas transmisoras y receptoras son idénticos y se caracterizan por la ecuación siguiente:

$$\left.\begin{array}{l} g(\xi) = 6750\,\varphi_0^{-2}\left[1 + \left(\dfrac{\xi}{\varphi_0}\right)^{2,5}\right]^{-1} \\ \\ g(\xi) = 0{,}1 \end{array}\right\} \quad \text{el valor que sea mayor} \qquad (7)$$

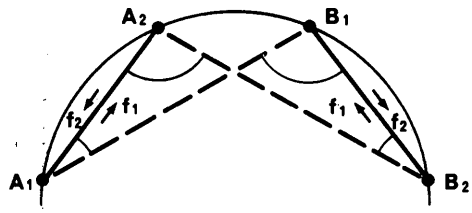
donde $2\varphi_0$ representa la abertura del haz a potencia mitad de las antenas transmisoras y receptora, y ξ es el ángulo fuera del eje del haz principal (ángulo de discriminación).

3. Interferencia entre enlaces entre satélites cortos e idénticos

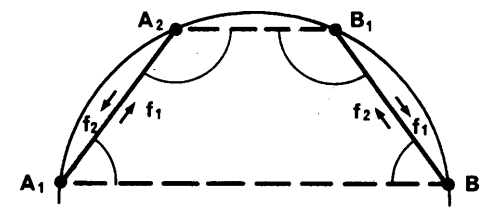
Se examinará en primer lugar el caso sencillo de enlaces entre satélites cortos e idénticos (homogéneos). Dos enlaces de ese género pueden disponerse en cuatro formas distintas, según se indica en la fig. 3, que muestra también los distintos trayectos de interferencia posibles.

3.1 *Asignaciones de frecuencia en direcciones contrarias*

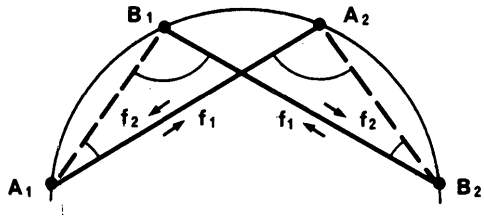
Al considerar los enlaces entre satélites, sus frecuencias pueden asignarse a pares en direcciones contrarias (figs. 3a) y 3b)). El anáIisis detallado de tales configuraciones permite observar que su espaciamiento en función del ángulo geocéntrico, θ', entre los dos satélites «izquierdos» de uno u otro enlace, puede ser bastante pequeño; para supuestos apropiados de la excentricidad orbital y un aislamiento del orden de 30 dB, el espaciamiento será en general inferior a 1° de arco. Puede observarse también que, conforme a estos supuestos, una estación espacial puede ser el origen de un enlace hacia el Este y un enlace hacia el Oeste en las mismas frecuencias.



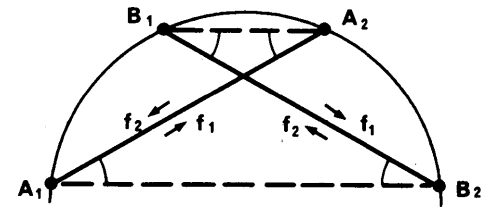
a) Frecuencias en direcciones contrarias; enlaces separados en la órbita.



c) Frecuencias en la misma dirección; enlaces separados.



b) Frecuencias en direcciones contrarias; enlaces intercalados.



d) Frecuencias en la misma dirección; enlaces intercalados.

FIGURA 3 — *Geometrías de la interferencia recíproca de los enlaces entre satélites*

(Los ángulos representan los ángulos de discriminación de la antena.
Las líneas de trazo discontinuo representan los trayectos de la interferencia.)

Al disponer más de dos enlaces entre satélites con asignaciones de frecuencia en direcciones contrarias a lo largo de la órbita, cualquier otro enlace tendrá necesariamente asignaciones de frecuencia en la misma dirección.

3.2 *Asignaciones de frecuencia en la misma dirección*

Corresponden a la disposición mostrada en las figs. 3c) y 3d). Cuando se disponen de este modo más de dos enlaces, puede observarse que el ángulo de separación entre enlaces, θ', es función de la «longitud» del enlace, θ, de la anchura del haz de la antena del enlace entre satélites, $2\varphi_0$, del aislamiento necesario, C/I, y de la desviación radial máxima Δh de las estaciones espaciales con respecto a la altitud orbital nominal (función de la excentricidad orbital y de la tasa máxima de deriva Este-Oeste entre las maniobras de mantenimiento en posición de la estación). Los valores obtenidos en la actualidad para Δh de carácter representativos, varían entre 15 y 100 km.

El análisis detallado muestra que hay una «longitud» mínima de enlace θ que permite «intercalar» tales enlaces: véase la fig. 3d). Además, cuanto mayor es la longitud del enlace θ, más enlaces entre satélites idénticos pueden formarse dentro de cualquier arco ocupado por el enlace. La fig. 4 muestra la longitud del enlace intercalado «de corte» y el número de enlaces intercalados que pueden formarse dentro de un arco de enlace.

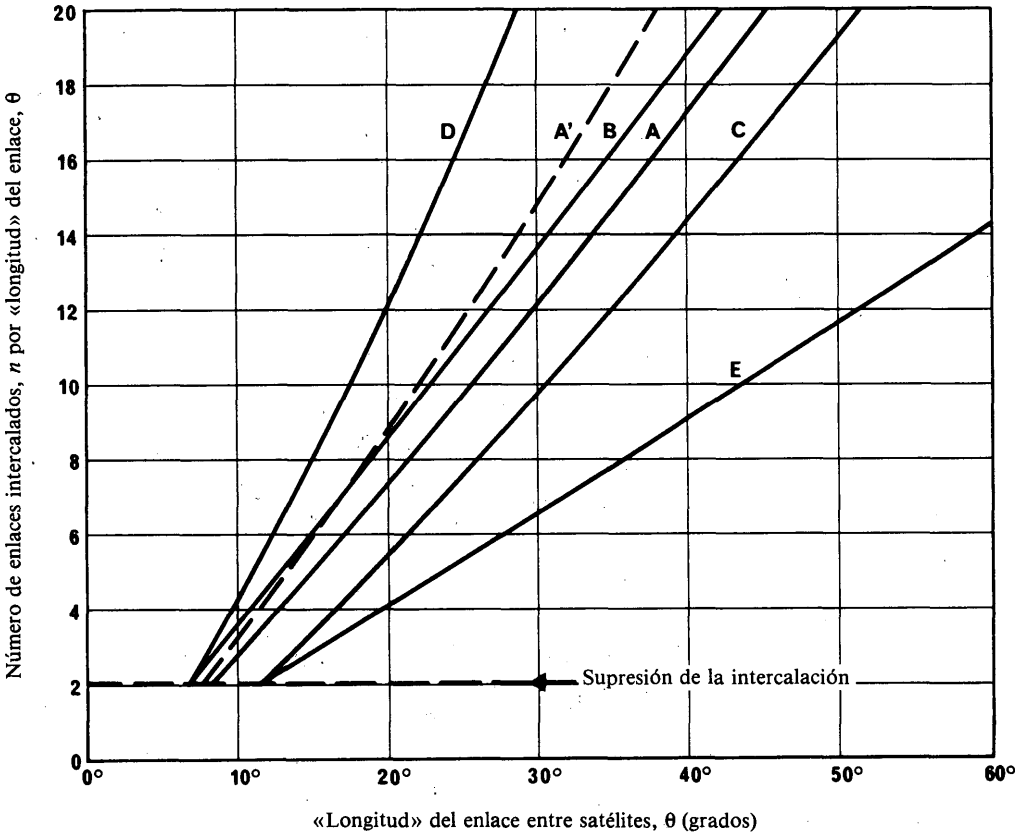


FIGURA 4 — *Número de enlaces intercalados, n, por «longitud» del enlace, θ, en función de la «longitud» del enlace, para diversas combinaciones de φ_0, Δh y C/I*

A: $\varphi_0 = 0{,}25°$; $\Delta h = 40$ km
B: $\varphi_0 = 0{,}25°$; $\Delta h = 15$ km
C: $\varphi_0 = 0{,}25°$; $\Delta h = 100$ km
D: $\varphi_0 = 0{,}125°$; $\Delta h = 40$ km
E: $\varphi_0 = 0{,}5°$; $\Delta h = 40$ km
A': como para el caso A, pero con una relación $C/I = 25$ dB

Pueden establecerse enlaces de extremo a extremo no intercalados en la misma dirección, pero requieren cierto ligero espaciamiento entre los satélites adyacentes, excepto en el caso de longitudes de enlace muy pequeñas en las que, a medida que disminuye la longitud del enlace, debe aumentar este espaciamiento.

4. Utilización de la órbita por enlaces cortos idénticos

La fig. 5 muestra la relación entre el número de enlaces que pueden incluirse a lo largo de toda la órbita geoestacionaria (ordenada de la derecha) y la longitud del enlace, para distintos supuestos de parámetros. La ordenada de la izquierda muestra la densidad relativa de reutilizaciones de frecuencias (utilización de la órbita) con respecto a una referencia arbitraria. Las secciones de la curva situadas a la izquierda de los principales «escalones» verticales corresponden a los enlaces no intercalados y las de la derecha a una intercalación de enlaces cada vez mayor. Las curvas reales se presentarían en forma de escalones que indican el aumento de un enlace, como se muestra con un ejemplo; en todos los casos restantes sólo aparecen las envolventes de los escalones.

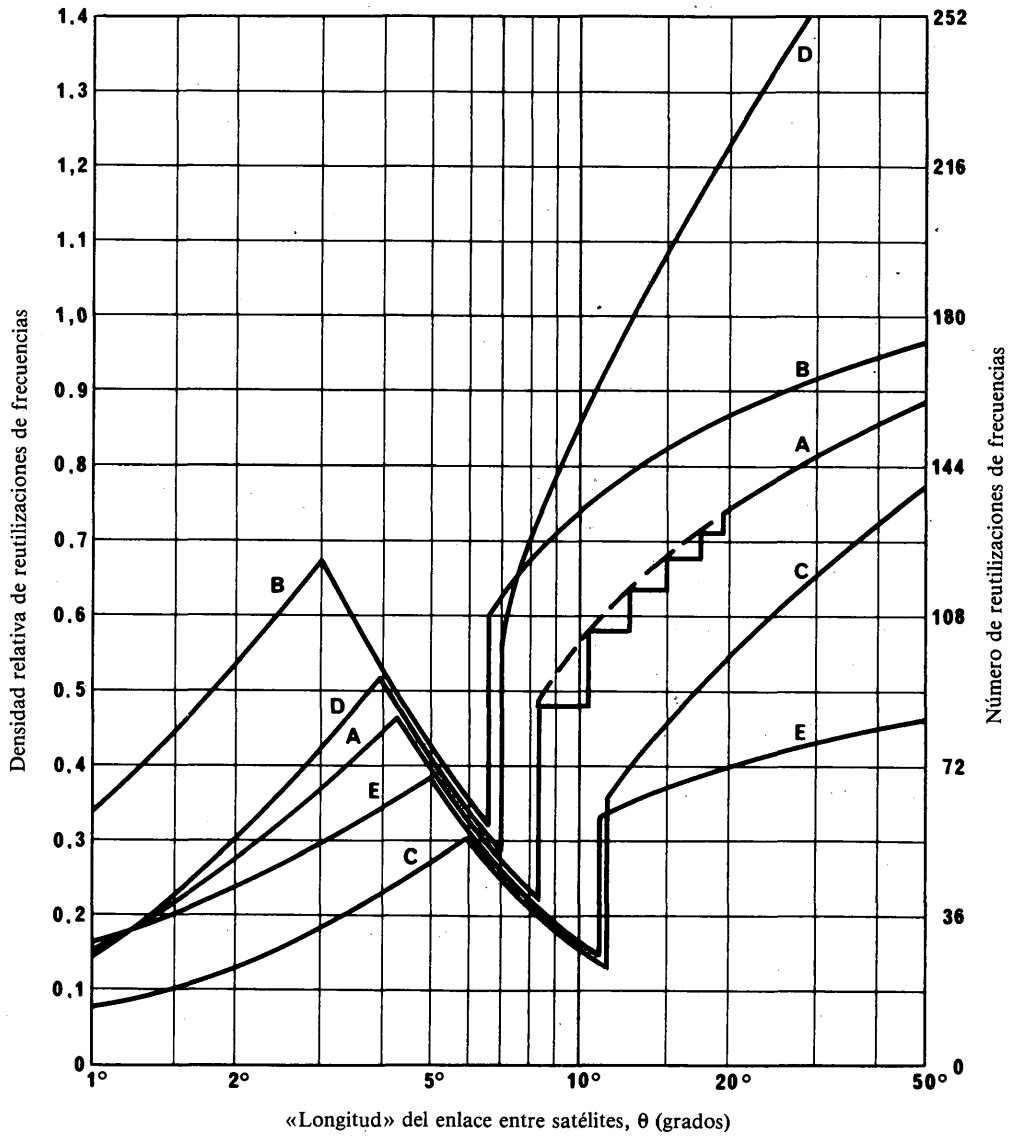


FIGURA 5 — *Densidad máxima relativa de reutilizaciones de frecuencias (utilización de la órbita) en el caso de enlaces entre satélites idénticos, en función de la «longitud» del enlace, θ, para diversas combinaciones de φ_0 y Δh*

A: φ_0 = 0,25°; Δh = 40 km
B: φ_0 = 0,25°; Δh = 15 km
C: φ_0 = 0,25°; Δh = 100 km
D: φ_0 = 0,125°; Δh = 40 km
E: φ_0 = 0,5°; Δh = 40 km

5. Enlaces no idénticos entre satélites

Pueden observarse que en una serie existente de enlaces cortos, hay la posibilidad de añadir grupos adicionales de enlaces, como se indica en la fig. 6. Esto se logra haciendo que los enlaces de los grupos adicionales sean suficientemente largos para dar el aislamiento necesario frente a los del grupo original de enlaces. Cada grupo adicional de enlaces aumentará la utilización de la órbita por el grupo original de enlaces «cortos» hasta que se alcancen longitudes de enlace que comenzaría a interceptar la Tierra (alrededor de 160° de arco).

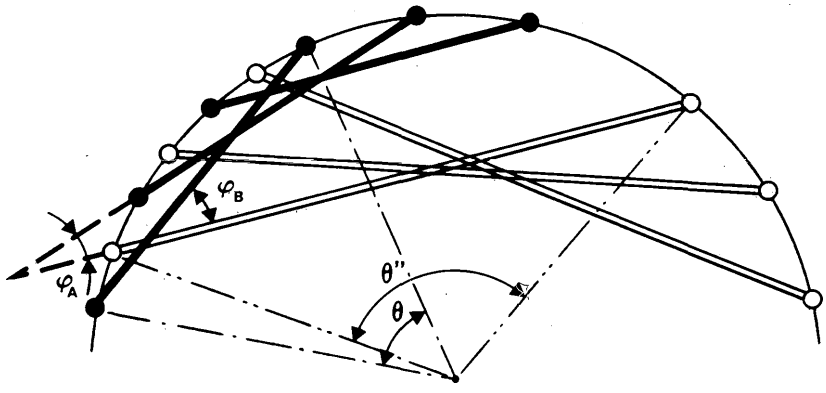


FIGURA 6 — *Geometría de la intercalación de dos grupos de enlaces con «longitudes» θ y θ″*

6. Conclusiones

Una investigación preliminar de la posibilidad de reutilización de frecuencias en el servicio entre satélites en la órbita geoestacionaria conduce a las conclusiones provisionales siguientes:

- La posibilidad de reutilización de frecuencias en los enlaces entre satélites geoestacionarios es considerable y admitiría la instalación de varios centenares de enlaces entre satélites sin rebasar los límites en materia de interferencia admisible.
- Los factores que influyen preponderantemente en esa posibilidad de reutilización de frecuencias son la discriminación de los lóbulos laterales de las antenas y la elipticidad de la órbita. Se ha determinado que esa posibilidad aumenta si la discriminación de lóbulos laterales es elevada (antenas de haz estrecho y/o lóbulos laterales de disminución rápida) y si las órbitas son poco elípticas (órbitas sensiblemente circulares).
- Se ha observado específicamente que no puede haber superposición de enlaces entre satélites muy cortos con asignaciones de frecuencia en la misma dirección, como los que podrían atraer fundamentalmente a los primeros usuarios del servicio entre satélites. La longitud mínima de enlaces entre satélites similares que permitiría tal superposición depende de la discriminación de la antena y de la elipticidad de la órbita; cuanto mayor sea la primera y menor la segunda, tanto más pequeña será la longitud del enlace en que esa superposición resulta posible.
- La utilización de varios grupos de enlaces entre satélites de longitud de enlace suficientemente distinta permite aumentar la reutilización de frecuencias hasta un múltiplo del valor obtenible con una sola serie de enlaces cortos idénticos.

No se estudió el problema de la reutilización de frecuencias de los enlaces entre satélites que conectan estaciones espaciales estrechamente agrupadas (esto es, contenidas dentro del haz principal de una estación terrena). La reutilización de frecuencias dentro de los enlaces estrechamente agrupados y entre los mismos deberá ser objeto de un estudio ulterior.

BIBLIOGRAFÍA

Documentos del CCIR

[1978-82]: 4/55 (Estados Unidos de América).

INFORME 552-3

UTILIZACIÓN DE LAS BANDAS DE FRECUENCIAS SUPERIORES A 10 GHz POR EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Programa de Estudios 27C/4)

(1974-1978-1982-1986)

1. Introducción

En el presente Informe se hace un examen preliminar de algunos factores técnicos que deben tenerse en cuenta en el diseño de sistemas del servicio fijo por satélite destinados a funcionar en las bandas de frecuencias superiores a 10 GHz. Dado que la anchura de las bandas atribuidas al servicio fijo por satélite es generalmente mayor en frecuencias superiores a 10 GHz, el empleo de esas frecuencias facilitaría el diseño de sistemas de gran capacidad. En especial, la utilización de las bandas de 30/20 GHz, facilitaría la realización de sistemas de capacidad muy elevada con antenas de haces de cobertura restringida.

Los factores que se examinan en este Informe son:

- estrategias para la configuración del sistema;
- la compartición de frecuencias con sistemas terrenales;
- consideraciones relativas al diseño de los sistemas del servicio fijo por satélite.

2. Estrategias para la configuración del sistema

La dispersión y la absorción debida a las nubes y a las precipitaciones aumenta rápidamente en las frecuencias superiores a unos 10 GHz; ello agrava considerablemente los problemas de diseño de tales sistemas. Sin el empleo de técnicas especiales puede ser casi imposible establecer el amplio margen para las lluvias necesario para satisfacer las normas especificadas de calidad.

Existen cuatro métodos posibles para superar los graves efectos de las precipitaciones en las frecuencias más elevadas:

a) el empleo de la diversidad de emplazamientos;

b) la utilización de una banda alternativa de frecuencias más baja que la utilizada normalmente y mucho menos sensible a los efectos de las precipitaciones;

c) el empleo de sistemas autoadaptables que modifican los parámetros de transmisión en función de las variaciones de las condiciones de propagación;

d) el empleo a bordo de antenas de haces mútiples estrechos, con posible extensión al concepto de una sola estación por haz.

En el primer método, citado en a), puede aprovecharse el hecho de que, entre dos estaciones terrenas entre las que medie una distancia adecuada (por ejemplo, 10 a 30 km), la correlación de precipitaciones es casi despreciable y la probabilidad de que la lluvia intensa afecte simultáneamente a ambas se considera muy reducida. La técnica consiste en conectar las dos estaciones que proporcionan la diversidad, por medio de una línea de transmisión inmune a los efectos de las precipitaciones y en seleccionar a efectos de la explotación, la estación terrena menos afectada. La explotación por diversidad se trata en detalle en el anexo I.

En el sistema b) se parte de la hipótesis de que varias estaciones terrenas de un mismo sistema trabajan normalmente en frecuencias que pueden ser gravemente afectadas por la lluvia, es decir, por encima de unos 10 GHz. Sin embargo, como es poco probable que la precipitación afecte simultáneamente a más de una estación, puede emplearse la técnica de conmutar a una banda de frecuencias inferior en la estación terrena más afectada por la precipitación [Mori y otros, 1978]. A fin de utilizar mejor la banda alternativa más baja de frecuencias normalmente no empleada, cabe cursar normalmente el tráfico en la banda de frecuencias inferior e intercambiar las bandas de frecuencias de explotación entre las estaciones que funcionan en frecuencias más bajas y las que funcionan en frecuencias más altas cuando las condiciones meteorológicas son adversas [Kosaka, 1978]. Basándose en esta idea, se construyó un sistema experimental que utiliza las bandas de 30/20 GHz y 6/4 GHz [Kosaka y otros, 1982].

Con la técnica expuesta en el tercer método, inciso c) anterior, puede mejorarse la calidad de funcionamiento de los sistemas digitales reduciendo la velocidad de transmisión de la información o aumentando la potencia transmitida (control de potencia en el enlace ascendente), cuando las condiciones de propagación son desfavorables. En los anexos II y III figuran ejemplos de esta técnica.

En el cuarto método, a que se hace referencia en el inciso d) anterior, el objetivo es evitar complicaciones de diseño y explotación de las estaciones terrenas, incluso a costa de aumentar la complicación del satélite como consecuencia de la utilización de antenas complejas a bordo de haces múltiples estrechos, que permiten obtener una p.i.r.e. de satélite elevada y una relación G/T de satélite elevada para compensar los efectos de la propagación.

3. Compartición de frecuencias con sistemas terrenales

En frecuencias superiores a unos 10 GHz, las variaciones del nivel de la relación señal deseada/señal interferente debidas a la precipitación y los efectos de la dispersión influyen notablemente en la distancia mínima de separación entre estaciones terrenas del servicio fijo por satélite y estaciones terrenales del servicio fijo.

El efecto de dispersión puede superarse eligiendo una ubicación adecuada que evite la intersección de haces de los dos sistemas y utilizando la discriminación por polarización cruzada en el caso de ondas polarizadas linealmente; y, dado que la pérdida de transmisión básica en un determinado trayecto aumenta con la frecuencia, la distancia de separación entre estaciones de los dos sistemas puede ser menor en frecuencias superiores. Haciendo que el ángulo de separación entre una estación terrena y las estaciones terrenales sea de más de 20° a 30°, puede reducirse la distancia de separación mínima a unos pocos kilómetros y evitarse en cierta medida el efecto de la fluctuación de la relación señal deseada/señal interferente originado por la atenuación diferencial de la lluvia en los dos sistemas.

4. Consideraciones relativas al diseño de los sistemas del servicio fijo por satélite en frecuencias superiores a 10 GHz

En los sistemas del servicio fijo por satélite que utilizan bandas de frecuencias superiores a 10 GHz, los efectos de los hidrometeoros, sobre todo de la lluvia, son particularmente importantes y deben tenerse presentes al proyectar los sistemas. Las distribuciones observadas de las atenuaciones en función del tiempo, debidas a los hidrometeoros, proporcionan la base más segura para calcular los efectos de éstos. Tales distribuciones varían con la frecuencia y la estación del año y dependen de las condiciones climatológicas en el lugar donde se ha instalado la estación terrena y del ángulo de visibilidad del satélite.

También debe tenerse presente que el grado de correlación entre las atenuaciones en los trayectos del enlace por satélite disminuye cuando la separación entre las estaciones terrenas aumenta, e igualmente cuando la intensidad de las precipitaciones aumenta. Otro factor que disminuye la correlación es la diferencia de frecuencias entre los trayectos ascendente y descendente.

En los Informes 564 y 565 pueden encontrarse los datos de propagación pertinentes. Además, desde 1969, se han realizado continuos experimentos para evaluar la atenuación producida por la lluvia en trayectos Tierra-satélite en varios lugares de Estados Unidos. Las frecuencias de medición fueron 11,7, 13,6, 15,5, 17,8, 19 y 28,5 GHz. Se han publicado resultados provisionales relativos a los 10 años de experimentos (de 1969 a 1978) en diversas publicaciones técnicas y actas de conferencias. Lin y otros [1980] hacen un resumen de los resultados nuevos y de los resultados anteriormente publicados y tratan el tema de los sistemas de radiocomunicaciones. En el resumen se incluye la dependencia geográfica, la dependencia de la frecuencia, las variaciones diarias, mensuales y anuales de las estadísticas de la atenuación producida por la lluvia, los factores de mejora por diversidad, las distribuciones de la duración de los desvanecimientos, el comportamiento dinámico de la atenuación producida por la lluvia, la distribución de la intensidad de lluvia a largo plazo (20 años) en puntos de Estados Unidos y un sencillo modelo empírico de la atenuación producida por la lluvia.

Los datos indican que el enlace radioeléctrico Tierra-satélite en 28,5 GHz, suponiendo un margen de desvanecimiento de 20 dB, exigirá una protección por diversidad de emplazamientos en la mayoría de los puntos de Estados Unidos, para cumplir el objetivo convencional de fiabilidad en larga distancia. La explotación en esta banda de frecuencias o en otras superiores, exigiría probablemente, por tanto, nuevos procedimientos de explotación de la red.

Por otra parte puede evitarse la protección por diversidad de emplazamientos en frecuencias de 14 GHz o inferiores, cuando el ángulo de elevación de la antena es relativamente elevado.

El enlace estación terrena-satélite en 19 GHz, puede o no necesitar protección por diversidad de emplazamientos, según la posición de la estación terrena y la posición orbital del satélite. Otras conclusiones importantes son:

- Las interrupciones inducidas por la lluvia en los enlaces radioeléctricos Tierra-satélite, tienen mayores repercusiones en el servicio que las interrupciones debidas al desvanecimiento por trayectos múltiples en los sistemas de relevadores radioeléctricos terrenales (6/4 GHz), aun si los dos sistemas se han proyectado para el mismo tiempo de interrupción total. Esto se debe a que el desvanecimiento por trayectos múltiples ocurre casi siempre durante las horas tempranas de la mañana en las que el tráfico telefónico es pequeño. Además, el desvanecimiento por trayectos múltiples es un fenómeno selectivo en frecuencia e interrumpe sólo una parte de la banda de frecuencias en un momento determinado. En cambio, alrededor del 35% de las interrupciones producidas por la lluvia ocurrirán durante las horas cargadas del servicio telefónico, y la interrupción cortará todo el tráfico en un enlace radioeléctrico Tierra-satélite al mismo tiempo.
- La protección por diversidad de emplazamientos puede reducir el tiempo de interrupción por la lluvia en al menos un orden de magnitud si la separación de emplazamientos es superior a 20 km. La protección por diversidad orbital, si bien es efectiva contra las interrupciones debidas al tránsito solar, reduce el tiempo de interrupción por lluvia en menos del 20%.

Al calcular los balances de potencia del enlace, deberán tenerse en cuenta los ruidos del enlace ascendente y del enlace descendente, la interferencia exterior y las degradaciones interiores, como son la intermodulación, la interferencia cocanal y de canal adyacente, del mismo modo que en los sistemas que funcionan por debajo de 10 GHz. Sin embargo, la importancia relativa de esta contribución puede ser diferente y normalmente variará mucho con las condiciones de propagación. Los parámetros de los sistemas destinados a la transmisión internacional, deberían definirse con arreglo a las Recomendaciones 353 y 522. Estas Recomendaciones especifican la calidad de transmisión para tres porcentajes de tiempo. Los balances del enlace deben calcularse para

estos tres porcentajes de tiempo. En cada estación terrena de la red, los parámetros resultantes deberán satisfacer las condiciones más rigurosas. Si bien para frecuencias inferiores a 10 GHz, es normalmente la condición a más largo plazo la que prevalece, en frecuencias superiores, cualquiera de las tres puede ser la más rigurosa, según los requisitos del sistema y las condiciones climáticas locales. Por esta razón, a algunos de los parámetros de estación terrena se les asigna normalmente más de una especificación a fin de tener en cuenta los fenómenos de propagación. A este respecto, el anexo IV, ofrece un método para obtener el diámetro de una antena de estación terrena a partir de una especificación de la relación G/T.

Es preciso observar, sin embargo, que la elección del diámetro de la antena utilizada en la práctica puede depender de muchos factores entre los que figuran los requisitos de p.i.r.e del enlace ascendente, los márgenes de desvanecimiento deseados, el costo, etc. Al diseñar un sistema por satélite es posible minimizar el costo de la estación terrena mediante la optimización de la combinación de los costos de la antena, del amplificador de alta potencia, del amplificador de bajo ruido, etc.

5. Conclusiones

En frecuencias superiores a unos 10 GHz, la dispersión y la absorción causadas por nubes y precipitaciones reviste mucha importancia. Además, puede haber una diferencia apreciable entre las frecuencias de los enlaces ascendente y descendente y es menester un proyecto cuidadoso para asegurar que los objetivos de calidad de funcionamiento se satisfagan de un modo equilibrado.

Para superar los problemas causados durante pequeños porcentajes de tiempo por la gran atenuación debida a las precipitaciones, pueden aplicarse métodos tales como la diversidad de emplazamientos, el empleo de una banda de frecuencias alternativa o de sistemas autoadaptables.

El empleo de bandas de frecuencias en torno a 20 y 30 GHz, en las cuales se dispone de 3,5 GHz de anchura de banda, permitiría establecer sistemas regionales y nacionales de capacidad muy elevada utilizando antenas de haces de cobertura restringida, y las estaciones terrenas de tales sistemas podrían estar muy cerca de centros de tráfico.

En la gama de frecuencias 14/11 GHz, ha habido ya en servicio durante algún tiempo algunos sistemas de comunicación por satélite, que han demostrado que puede lograrse fácilmente una explotación fiable en estas frecuencias.

Con relación a la gama de frecuencias 30/20 GHz, se han obtenido resultados sustanciales a través de los experimentos realizados con el satélite CS de Japón (satélite de comunicaciones de mediana capacidad para fines experimentales). Estos experimentos han permitido establecer las técnicas de diseño de los equipos físicos del satélite y de la estación terrena en las bandas 30/20 GHz. Las perspectivas de utilización práctica de un sistema de comunicación por satélite en 30/20 GHz pueden ser muy favorables, siempre que el ángulo de elevación mínimo sea adecuado para las condiciones climáticas locales [Hatsuda y otros, 1980]. En febrero y agosto de 1983 se lanzaron con éxito los satélites de comunicación operacionales de Japón CS-2a y CS-2b, que utilizan las bandas de 6/4 GHz y de 30/20 GHz. Estos satélites han utilizado por primera vez en el mundo la nueva banda de frecuencias de 30/20 GHz [Hayashizaki, 1983].

El diseño y planificación de sistemas para el servicio fijo por satélite que utilicen frecuencias superiores a unos 10 GHz comprende cierto número de aspectos que requieren mayor estudio, por ejemplo la determinación de la relación G/T de las estaciones terrenas y el margen que debe preverse para la propagación, incluido el efecto de dicha propagación sobre la discriminación por polarización cruzada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HATSUDA, T., MORIHIRO, Y. y NAKAJIMA, S. [julio-agosto de 1980] Método de cálculo del enlace para el sistema de telecomunicación por satélite en la banda 30/20 GHz. *Rev. Elec. Comm. Labs., NTT*, Vol. 28, **7/8**, 604-619.

HAYASHIZAKI, H. [1983] Domestic satellite communications system – Satellite communication using 30/20 GHz band, *Japan Telecomm. Rev.* R-129, 57-65.

KOSAKA, K. [1978] Frequency switching TDMA system for countermeasure against rainfall attenuation. *J. Radio Res. Labs.* (Japón), Vol. 25, **117/118**.

KOSAKA, K., HAMAMOTO, N., SUSUKI, R., UMEDA, Y. e ITO, H. [1982] Experimental frequency switching TDMA equipment for countermeasure against rainfall attenuation. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'82), Miami, FLA, Estados Unidos de América.

LIN, S. H., BERGMANN, H. J. y PURSLEY, M. V. [febrero de 1980] Rain attenuation on Earth-Satellite paths – summary of 10-year experiments and studies. *BSTJ*, Vol. 59, **2**, 183-228.

MORI, Y., HIGUTI, I. y MORITA, K. [1978] Estimation for frequency band diversity effect on Earth-satellite links in microwave and millimeter wave bands. *Trans. Inst. Electron. Comm. Engrs. Japan*, Vol. J61-B, **10**.

BIBLIOGRAFÍA

DALGLEISH, D. J. y REED, A. C. [25-27 de noviembre de 1969] Some comparisons of the traffic-carrying capacity of communication-satellites using digital techniques with the capacity of satellites using frequency modulation. Proc. INTELSAT/IEE Conference on Digital Satellite Communication, Londres, 226-240.

HATSUDA, T., FUKETA, H. e IZUMI, K. [febrero de 1974] System design of millimetre-wave satellite communication systems. Tech. Group on Communication systems. Inst. Electronics and Communications Engineers of Japan, Doc. CS 73-147.

IPPOLITO, L. J. [febrero de 1971] Effects of precipitation on 15.3 and 31.65 GHz earth-space transmissions with the ATS-V satellite. IEEE International Conference on Communications, (ICC'71), Montreal, Canadá, Conf. Rec., Vol. 59, **2**, 189-205.

IPPOLITO, L. J. [20 de junio de 1972] The 20 and 30 GHz communications system for the ATS-F millimeter wave experiment. IEEE International Conference on Communications, (ICC'72), Filadelfia, Pa., Estados Unidos de América, Conf. Rec., Session 26: Aerospace and electronic systems, 26-2 a 26-7.

KAPLUNOV, M. B. [1971] Rasprostanenie millimetrovykh voln v atmosfere i sputnikovaya avyaz (Propagación atmosférica de las ondas milimétricas en las telecomunicaciones por satélite). *Obzornaya informatsiya o zarubezhnoi tekhnike svyazi* (Examen de la tecnología extranjera de telecomunicaciones). Ministerio de Telecomunicaciones de la URSS., **5**, 24-55.

Documentos del CCIR:

[1982-86]: 5/49 (Japón).

ANEXO I

EXPLOTACIÓN CON DIVERSIDAD DE EMPLAZAMIENTOS

1. Consideraciones generales de diseño

La calidad de funcionamiento requerida para las estaciones terrenas con diversidad no sólo depende de las zonas hidrometeorológicas, sino también de la configuración con diversidad. La primera clase de configuración es con diversidad equilibrada (diversidad por dos estaciones terrenas con la misma calidad de funcionamiento). La otra configuración es con diversidad desequilibrada. En esta configuración, la calidad de funcionamiento de una estación (estación principal) es lo suficientemente elevada para que los requisitos de calidad de funcionamiento de la otra (subestación) puedan reducirse considerablemente. Cabe esperar la configuración con diversidad desequilibrada cuando la antena de la estación principal está provista de un alimentador en múltiples bandas de frecuencias como 6/4 GHz y 14/11 GHz, y/o cuando la subestación ha de simplificarse por razones técnicas o de explotación.

En el cuadro I se resumen, a título de ejemplo, los resultados de cálculos del diámetro de la antena y de la máxima potencia de transmisión requerida para enlaces con diversidad equilibrada y ángulos de elevación reducidos. Se indican las estimaciones para dos enlaces con diversidad supuestos: (A) Yamaguchi-Hofu (distancia de diversidad = 20 km) y (B) Yamaguchi-Hamada (100 km), ambos en Japón.

Como puede verse en este cuadro, los diámetros de la antena requeridos para el enlace MF en 14/11 GHz (14 GHz para enlace ascendente y 11 GHz para el descendente) son aproximadamente de 28 m y 19 m, en los casos (A) y (B), respectivamente. Cuando el diámetro de la estación principal puede aumentarse con respecto a esos valores, el diámetro requerido de la subestación disminuye. Los valores indicados en este cuadro se derivan utilizando muchos de los parámetros del enlace establecidos para los satélites Intelsat-V, por lo que están sometidos a variación cuando los parámetros del enlace difieren de los utilizados aquí.

Los métodos de cálculo de las calidades de funcionamiento requeridas (diámetro de la antena y p.i.r.e.) para las estaciones terrenas con diversidad difieren según las configuraciones que emplean la diversidad. Para diseñar el enlace con diversidad equilibrada, los cálculos han de basarse en la distribución conjunta de probabilidad de la atenuación debida a la lluvia en ambas ubicaciones, en tanto que, en el caso de la configuración con diversidad desequilibrada, son necesarias la distribución acumulativa en el tiempo de la atenuación debida a la lluvia y la probabilidad condicional de la atenuación.

La probabilidad condicional $P(L''/L')$ es la probabilidad con la que la atenuación debida a la lluvia en la ubicación de la subestación rebase L'', a condición de que la atenuación debida a la lluvia en la ubicación principal rebase L' [CCIR, 1978-82].

Para realizar estimaciones fidedignas de los requisitos de las estaciones terrenas se precisan estadísticas fiables, sobre la base de mediciones de la propagación a largo plazo.

2. Operación de conmutación con diversidad de emplazamientos

La explotación de estaciones terrenas con diversidad, debe hacerse cuidando la operación de conmutación, pues al producirse ésta, puede producirse una pérdida de señal o solapamiento de corta duración debido a la diferencia de longitud entre los trayectos de las rutas con diversidad o a discontinuidades en la fase de la portadora.

CUADRO I – *Ejemplos de cálculos de calidades de funcionamiento requeridas para enlaces con diversidad equilibrada y ángulos de elevación reducidos (14/11 GHz)*

Ubicación	(A) Yamaguchi - Hofu	(B) Yamaguchi - Hamada
Ángulo de elevación (grados)	9,1 9,1	9,1 8,4
Distancia de diversidad (km)	20	100
MF		
Diámetro requerido de la antena (m)	28 / 32	19 / 22
Potencia requerida de transmisión(1) (W) (valor máximo)	730	510
AMDT(2)		
Diámetro requerido de la antena (m)	17 / 19	11 / 12
Potencia requerida de transmisión (W) (valor máximo)	530	400

(1) Valores para portadora MDF-MF de 792 canales (25 MHz).

(2) Valores cuando se emplea la MDPC cuadrivalente a 120 Mbit/s con corrección de errores en recepción (FEC).

Hipótesis:

Frecuencia: 14,5 (enlace ascendente)/11,7 (enlace descendente) GHz

Posición orbital del satélite: 63° E, 0° N

p.i.r.e. del satélite: 41,1 dBW

Los diámetros de la antena han sido estimados en dos casos:
T_s = 50 K y T_s = 150 K
T_s: temperatura de ruido del sistema de la antena de la estación terrena

Eficacia de la antena de la estación terrena: 65%

Las estimaciones se basan en las estadísticas de intensidad de la lluvia obtenidas para esas ubicaciones.

En las transmisiones analógicas como son las MF-AMDF, la conmutación en transmisión necesariamente producirá discontinuidad en la fase de la portadora, lo que dará lugar a una discontinuidad de la señal a la salida del demodulador en las estaciones terrenas de recepción. Puede evitarse la discontinuidad de la señal debida a la conmutación en la estación terrena de recepción con un ajuste cuidadoso de la longitud del trayecto radioeléctrico de cada enlace con diversidad medida desde el equipo de conmutación hasta el satélite.

En las transmisiones digitales es posible evitar las discontinuidades de la señal aun en el caso de conmutación en la estación terrena de transmisión, disponiendo intervalos ficticios en la secuencia de señal de transmisión y efectuando la conmutación en el intervalo ficticio. En las estaciones terrenas de recepción, los intervalos ficticios deben descartarse independientemente de que se produzca o no conmutación.

La conmutación con continuidad en transmisión y recepción en un sistema con diversidad puede lograrse muy convenientemente en transmisión AMDT [Watanabe y otros, 1978]. Los intervalos ficticios están incorporados, pues la transmisión AMDT ocupa sólo una parte de la trama AMDT. Además, en transmisiones AMDT los demoduladores son aptos para recibir portadoras en forma de ráfagas de fase incoherente. Por tanto, la incoherencia de fase de las portadoras AMDT no causa dificultad alguna. El único problema posible asociado al funcionamiento por diversidad de emplazamientos en la transmisión AMDT sería la necesidad de transmitir con gran precisión el control de temporización incluso en la transmisión inicial desde la estación de reserva. Esto puede resolverse bien sea por transmisión continua de una ráfaga ficticia desde la estación de reserva o bien obteniendo datos de la distancia del satélite suficientemente exactos, lo que es posible cuando el sistema AMDT emplea sincronización en bucle abierto. En la transmisión AMDT pueden igualarse las longitudes de los trayectos de las rutas de diversidad utilizando la temporización de recepción de las señales de sincronización de trama. La temporización de recepción de las señales de ambas rutas de diversidad puede igualarse automáticamente controlando una línea de retardo variable insertada en una de las rutas de diversidad. Un sistema experimental y los resultados de experimentos que utilizan la técnica de ráfaga ficticia se describen en [Fugono y otros, 1979; Susuki y otros, 1983].

En la elección de ruta en la operación por diversidad, es necesario medir la calidad de transmisión de las rutas con diversidad. Dado que el efecto de la diversidad puede degradarse según la elección del método de medición de la calidad del enlace, hay que tener cuidado al elegir el tiempo de medición y la precisión realizable [Susuki y otros, 1983].

3. Enlace de interconexión para recepción por diversidad

Ha de tenerse en cuenta que el circuito ficticio de referencia del CCIR, descrito en la Recomendación 352 y el trayecto digital ficticio de referencia del CCIR que figura en la Recomendación 521, comprenden enlaces de interconexión para recepción por diversidad (EID) hasta el punto de conmutación por diversidad y todo el equipo adicional de modulación-demodulación necesario. Ello significa que los valores de ruido del sistema han de incluir los efectos de los EID.

3.1 *Configuración básica*

3.1.1 *Aspectos físicos*

Son posibles diversas configuraciones de especificaciones diferentes, pudiéndose aducir argumentos para preferir una u otra. Dos de ellas se identifican en este anexo y se describen a continuación (véase la fig. 1):

- Un emplazamiento principal en que se instalan el equipo de conmutación de diversidad y el equipo de interfaz con el radioenlace terrenal. Se efectúa la conexión del emplazamiento de diversidad mediante un EID que utiliza un radioenlace de microondas de dos tramos, con un repetidor activo o pasivo. (Se supone un repetidor, ya que existen pocas probabilidades de visibilidad mutua entre los emplazamientos de diversidad.)
- Dos emplazamientos de diversidad y un emplazamiento de control independiente que comprenda el equipo de interfaz y de conmutación de diversidad; radioenlaces de microondas de un solo tramo entre cada emplazamiento de diversidad y el emplazamiento de control.

Es posible que para el EID también puedan emplearse enlaces por cable o por guiaondas. Cuando en una estación terrena se utilizan la técnica MDF-MF y la técnica MDT (AMDF o AMDT) se necesitan usualmente dos enlaces en paralelo.

3.1.2 *Requisitos de modulación*

Cuando se emplea MDF-MF dado que tanto las características de modulación como la configuración de banda de base que se utilizan en los enlaces por satélite son diferentes de las que se utilizan habitualmente para los sistemas terrenales, será necesario proceder a una remodulación. La diferencia principal reside en la forma de disponer los canales. En el sistema terrenal los canales se suelen combinar en una o más bandas de base en cada dirección y se aplica un índice de modulación relativamente bajo. En la estación terrena las bandas de base del sistema terrenal se reparten en varias bandas de base de composición diferente de las del sistema terrenal, para transmisión a múltiples destinos, y se utiliza un índice de modulación distinto. Las bandas de base en recepción son todavía más numerosas y pueden consistir simplemente en unos cuantos canales, que han de combinarse de nuevo para formar las bandas de base de los enlaces terrenales. Este proceso requiere equipo de modulación-demodulación en el emplazamiento principal de la estación terrena y en el emplazamiento de diversidad, donde se utiliza un diseño clásico para el EID. Utilizando la técnica de remodulación pueden aplicarse todas las configuraciones, a condición de disponer de equipo doble en el punto de diversidad.

Una técnica alternativa consiste en utilizar en el sistema terrenal los mismos esquemas de modulación que en el sistema por satélite. Esta técnica parece factible, aunque no sea clásica. Tiene como incentivo el que permitiría economizar el costo del equipo de remodulación, quizá a costa de algunos gastos adicionales en el sistema terrenal, si bien es posible que puedan realizarse también economías en este último sistema. El empleo de la técnica que acaba de describirse es únicamente aplicable con la segunda configuración de la fig. 1. Cuando se emplea MDT-(AMDF o AMDT) puede utilizarse cualquiera de estas técnicas. En el caso del AMDT se efectúa la conmutación de diversidad entre ráfagas (véase el punto 2 del anexo I). Para el EID podría emplearse el mismo método de modulación que el utilizado en el sistema de satélite, aunque las velocidades de datos, generalmente no serán las mismas que las correspondientes a un sistema digital convencional de relevadores radioeléctricos.

3.2 *Factores técnicos*

3.2.1 *Elección de frecuencias*

La elección de frecuencias para un EID en microondas debe estudiarse cuidadosamente a fin de obtener la necesaria calidad total de funcionamiento. Los Informes 338 y 720 del CCIR contienen información sobre la propagación en sistemas terrenales de microondas.

3.2.2 *Anchura de banda necesaria*

La relación entre la anchura de banda necesaria para los EID y la anchura de banda de la estación terrena, puede ser igual o inferior a la unidad, según que se recurra o no a la remodulación. Si sólo se efectúa una translación de frecuencias, las necesidades de anchura de banda han de ser iguales (MHz por MHz). Utilizando la remodulación, puede lograrse una mayor densidad de canales empleando índices de modulación MF más reducidos, pero a expensas de un interfaz múltiplex bastante costoso.

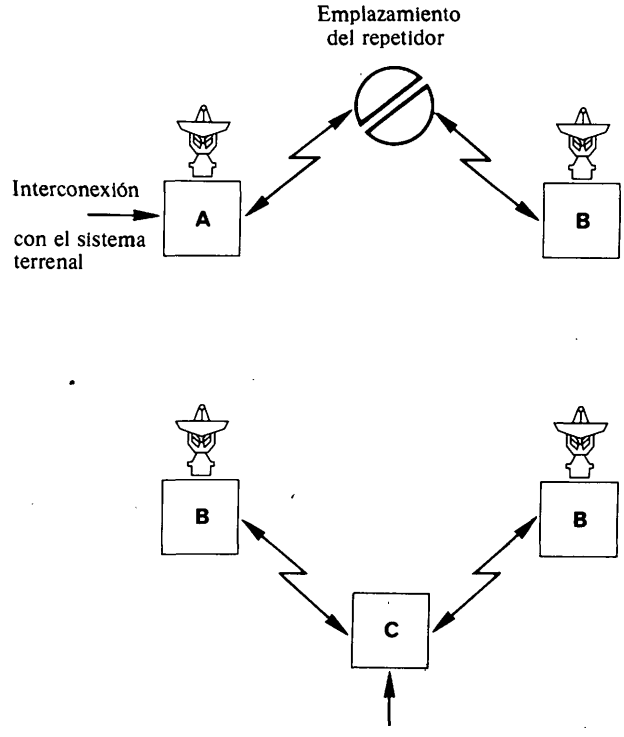


FIGURA 1 – *Configuraciones de estaciones terrenas que funcionan utilizando diversidad de emplazamientos*

A: Emplazamiento principal
B: Emplazamiento de diversidad
C: Emplazamiento de control

3.2.3 *Atenuación debida a la lluvia*

Otro factor se refiere a la atenuación debida a la lluvia y a las características de los emplazamientos de diversidad en relación con el fenómeno de las precipitaciones. Se prefiere un clima seco. El funcionamiento con diversidad depende de la separación entre emplazamientos. Se prevé una separación de unos 16 km como separación nominal requerida. Se supone que la mejor orientación para la línea de conexión entre los emplazamientos es la que coincide con la perpendicular a la dirección de los fenómenos meteorológicos predominantes, ya que de ese modo es poco probable que las condiciones de atenuación más desfavorable afecten simultáneamente a ambos emplazamientos, y puede lograrse la máxima eficacia para la recepción por diversidad [Gray, 1973; Hall y Allnut, 1975; Davis y Croom, 1974]. Aunque sean de importancia secundaria, han de tenerse también en cuenta los efectos meteorológicos sobre los EID que utilizan microondas, si estos radioenlaces funcionan en las bandas de frecuencias superiores.

3.2.4 *Variaciones del tiempo de transmisión debidas a la conmutación de diversidad*

Otro elemento importante está relacionado con el retardo diferencial de propagación de las señales recibidas por diversidad cuando llegan al punto de conmutación. Las variaciones en el tiempo de transmisión debidas a la conmutación de diversidad se examinan en el Informe 383.

3.3 *Consideraciones generales*

Los enlaces de interconexión para recepción por diversidad (EID) presentan dos aspectos importantes:

- su contribución al ruido total del sistema, y
- su contribución a las interrupciones del sistema.

Se estudian aquí estas cuestiones para poder examinar con mayor detalle los efectos de los parámetros importantes y su relación con las secciones del sistema que constituyen el enlace por satélite.

Los enlaces para recepción por diversidad pueden diseñarse con arreglo a dos bases de diseño diferentes. Si se elige un método que utilice remodulación, cabe tomar como base de diseño los sistemas clásicos de relevadores radioeléctricos. Si se utiliza el método de traslación de frecuencias, el diseño se basará en un modelo distinto, que será muy similar al de los sistemas por satélite. Los márgenes de desvanecimiento y las fuentes de ruido deben tenerse en cuenta al determinar la calidad total. En el caso especial, en que para el enlace de interconexión por diversidad se utilicen las mismas frecuencias que para el sistema por satélite, debe tomarse también en consideración el ruido interferente.

3.3.1 *Balances de ruido para MDF-MF*

Hay que procurar que la contribución de ruido total aportado por el EID en el circuito ficticio de referencia sea bastante modesta con objeto de mantener la calidad de funcionamiento del sistema especificada en la Recomendación 353.

Parece lógico suponer que la contribución de ruido aportada por el EID forme parte del valor asignado a la estación terrena (normalmente 1500 pW0p), ya que dicho enlace EID asegura en realidad una parte de las funciones ordinarias de la estación terrena. Falta por determinar si tal contribución puede mantenerse en un nivel lo suficientemente bajo para que no se rebase el total de 1500 pW0p. El desvanecimiento en el EID contribuirá, a corto plazo, al valor total de ruido en el enlace.

La contribución de ruido aportada por el EID tendrá componentes que dependerán de la configuración de la instalación y de las bandas de frecuencias utilizadas. Esas componentes son:

a) *Ruido térmico*

Las normas clásicas del CCIR para los radioenlaces especifican entre 1 y 3 pW0p por km, o incluso menos; este valor puede mantenerse a 10 pW0p, o incluso menos, en el caso de un solo tramo. Algunos diseños especiales permiten obtener valores más pequeños. Los componentes que varían en función del tiempo, debidos tanto al desvanecimiento por trayectos múltiples como a la atenuación debida a la lluvia, son relativamente importantes, pero tratándose de tramos cortos pueden mantenerse dentro de límites razonables. El ruido térmico está en relación directa, dB por dB, con el desvanecimiento, cualquier que sea su mecanismo.

b) *Ruido intrínseco de fondo*

Se trata del ruido en banda de base y es aplicable solamente a configuraciones con remodulación. Son corrientes niveles de ruido comprendidos entre 50 y 100 pW0p cuando las bandas de base están interconectadas «espalda con espalda». El límite normal de ruido de una estación terrena tiene en cuenta esta contribución, mientras que una configuración en que se utilizara remodulación aportaría una contribución adicional.

c) *Interferencias*

En algunos casos, otros sistemas de microondas que funcionen en las mismas bandas de frecuencias aportarán una pequeña contribución al ruido. Esta contribución puede considerarse insignificante. En el caso especial en que se reutilice la misma banda de frecuencias, es de prever que los enlaces ascendentes y descendentes producirán interferencia en la estación terrena. En condiciones normales de funcionamiento, se estima que el valor de esta contribución estaría comprendido entre 10 y 100 pW0p. Además, ciertas condiciones de desvanecimiento pueden ir acompañadas de un incremento del ruido durante periodos muy breves, en consonancia con el ruido térmico. Esta configuración no requiere remodulación, de modo que todo el ruido adicional asociado al componente b) no intervendría.

d) *Intermodulación*

Un sistema en el cual se utilice remodulación deberá estar provisto de un par adicional de moduladores-demoduladores y de amplificadores de FI, mientras que en un sistema en que se utilice traslación de frecuencias, el equipo necesario será el clásico de estación terrena, y, por lo tanto, aportará muy poco ruido de intermodulación.

El siguiente cuadro II ilustra una posible distribución del ruido:

CUADRO II

Ejemplos de distribución de ruido – Condiciones de espacio libre

	Remodulación (2 vanos)		Translación de frecuencias (1 vano)	
	Débil (pW0p)	*Elevado* (pW0p)	*Débil* (pW0p)	*Elevado* (pW0p)
Ruido térmico	2	20	1	10
Ruido de intermodulación en banda de base	50	100	–	–
Ruido de interferencia	–	–	10	100
Ruido de intermodulación en RF	100	200	20	50
Ruido total (pW0p)	152	320	31	160

3.3.2 *Balance de ruido para el sistema AMDT*

Las contribuciones del EID a la proporción global de errores del trayecto digital ficticio de referencia, deben hacerse razonablemente pequeñas, con objeto de mantener la calidad de funcionamiento del sistema conforme a la Recomendación 522.

Debe observarse que, en el caso de utilizar un EID con remodulación, los errores serán aditivos mientras que en el caso de traslación de frecuencias serán aditivos los efectos del ruido.

3.3.3 *Consideraciones acerca de las frecuencias*

Las características del desvanecimiento en función de la frecuencia, del clima y de la longitud del trayecto que atraviesa zonas de lluvia, pueden derivarse de los diseños clásicos de microondas. La atenuación debida a la lluvia y el desvanecimiento por trayectos múltiples son fenómenos independientes y, en realidad, casi se excluyen mutuamente.

Como la separación prevista para un par de estaciones terrenas que proporcionen una recepción por diversidad es del orden de 16 a 24 km y dado que se prevé también que será necesario un repetidor o un emplazamiento común, la longitud de los trayectos individuales del EID no puede probablemente exceder de 16 km. Para un trayecto de esta longitud, normalmente pueden preverse márgenes lo bastante elevados para acomodar interrupciones de tan corta duración como las que corresponden al 0,001% del tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DAVIS, P. G. y CROOM, D. L. [noviembre de 1974] Diversity measurements of attenuation at 37 GHz with solar tracking radiometers. *Electron. Lett.*, Vol. 10, 482-483.

FUGONO, N., YOSHIMURA, K. y HAYASHI, I. [octubre de 1979] Japan's millimeter wave satellite communication program. *IEEE Trans. Comm.* Vol. COM-27, **10**, 1381-1391.

GRAY, D. A. [22-24 de agosto de 1973] Earth to space path diversity; Dependence of base-line orientation. IEEE GAP International Symposium.

HALL, J. E. y ALLNUT, J. E. [7-10 de abril de 1975] Results of site diversity test applicable to 12 GHz satellite communications. IEE Conference Publication 126.

SUZUKI, Y., SHIMADA, M., MINENO, H., SHINOZUKA, T., KUROIWA, H. e INOMATA, H. [septiembre de 1983] TDMA site diversity switching experiments with Japanese CS. *IEEE J. Selec. Areas Comm.*, Vol. SAC-1, **4**, 674-680.

WATANABE, T., SAITOH, H., OGAWA, A., y DEAL, J. H. [octubre de 1978] Space diversity system for TDMA satellite link. 4th International Conference on Digital Satellite Communication, Session IX, Montreal, Canadá.

Documentos del CCIR

[1978-82]: 4/26 (Japón).

ANEXO II

SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN A VELOCIDAD VARIABLE UTILIZANDO CÓDIGOS CORRECTORES DE ERRORES

1. Introducción

La calidad de funcionamiento de los sistemas de transmisión digital por satélite puede mejorarse reduciendo la velocidad de transmisión en condiciones de propagación desfavorables. En tal caso, se emplean códigos correctores de errores para mantener la necesaria calidad de funcionamiento del sistema.

2. Técnica que utiliza un código corrector de errores

Desde el punto de vista de la facilidad de construcción del equipo y de su funcionamiento a elevada velocidad, se propone un sistema que utilice un código convolucional auto-ortogonal de relación 1/2. En condiciones de propagación desfavorables, la velocidad de los bits de información se reduce a la mitad y se inserta un bit de control de paridad después de cada bit de información. Por tanto, se reduce la relación portadora/ruido (C/N) necesaria para mantener la misma proporción global de bits erróneos que en condiciones de propagación favorables.

Para mayor sencillez de construcción de los equipos, pueden ser preferibles códigos de relación 1/2, con capacidad para corregir 1 ó 2 errores en cada bloque del tren de bits. La introducción del código corrector de un error será algo más sencilla que la del código corrector de dos errores.

3. Comparación con otras técnicas en que la velocidad de información es variable

Se pueden tener en cuenta otras dos técnicas con velocidades de transmisión de información variables.

La técnica basada en que el parámetro de modulación es variable, consiste en una técnica aplicable a los sistemas MDP mediante la cual disminuye, en condiciones de propagación desfavorables, el número de fases transmitidas. El inconveniente de este sistema es que exige modificaciones en la configuración del equipo por donde pasa la portadora, lo que puede entrañar una mayor complejidad del equipo y una degradación efectiva de la relación C/N debida a la imposibilidad de alcanzar un ajuste perfecto de los equipos.

La técnica de frecuencia de reloj autoadaptable es una técnica en la que puede reducirse la frecuencia del reloj, lo que permite emplear una anchura de banda más estrecha en el equipo de recepción y, por consiguiente, mejorar la relación C/N requerida. El inconveniente de esta técnica es que hay que modificar la configuración del filtro y reajustar la temporización de los bits.

El cuadro III muestra la mejora efectiva teórica de la relación C/N que puede obtenerse con cada uno de los sistemas considerados, en el supuesto de un sistema MDPC (coherente) de 4 niveles con un índice de reducción de la velocidad de bits de información igual a 1/2.

CUADRO III – *Mejora efectiva teórica de la relación C/N para un sistema MDPC de transmisión de información a velocidad variable, con un índice de reducción de 1/2*

Proporción de bits erróneos	Mejora efectiva teórica de la relación C/N (dB)			
	Código corrector de errores		Técnica de parámetro de modulación variable (4 fases/2 fases)	Técnica de frecuencia del reloj autoadaptable
	Posibilidad para corregir un solo error	Posibilidad para corregir dos errores		
10^{-6}	3,0	4,3	3,0	3,0
10^{-4}	2,9	3,9	3,0	3,0

4. Conclusiones

Se ha supuesto una técnica para mantener la calidad de funcionamiento del sistema en condiciones de propagación desfavorables, que se autoadapta reduciendo la velocidad de transmisión de la información y aplicando un código corrector de errores.

Las principales ventajas de esta técnica son:

- la sencillez de construcción del equipo;
- puede aplicarse mediante un tratamiento de la señal en banda de base;
- no es necesario reajustar la temporización de los bits;
- la mejora de la relación efectiva C/N que puede obtenerse es mayor que la que es posible obtener con las otras técnicas examinadas.

BIBLIOGRAFÍA

ROBINS, W. P. [19-21 de junio de 1972] Techniques for dealing with the effects of bad weather in satellite communications system. IEEE International Conference on Communications, (ICC'72), Filadelfia, Pa., Estados Unidos de América, Conf. Rec., Session 2: Space Communication, 2-25 a 2-30.

ROBINSON, J. P. y BERNSTEIN, A. J. [enero de 1967] A class of binary recurrent codes with limited error propagation. IEEE International Conference on Communications, Vol. IT-13, 1, 106-113.

ANEXO III

CONTROL DE POTENCIA EN EL ENLACE ASCENDENTE

1. Introducción

Para reducir el efecto de la atenuación en el enlace ascendente puede utilizarse el Control de Potencia en el Enlace Ascendente (CPEA) en los sistemas de comunicación por satélite explotados en las bandas de frecuencias más altas (por ejemplo, 14/11 y 30/20 GHz). Esta técnica podría utilizarse para conseguir una explotación eficaz de un sistema de comunicaciones por satélite y para reducir la interferencia causada a otros satélites y a enlaces terrenales, disminuyendo la p.i.r.e. en condiciones de cielo despejado.

2. Realización del control de potencia en el enlace ascendente

Hay varios métodos para conseguir el CPEA, los más utilizados son los que se mencionan a continuación.

2.1 *Métodos de CPEA de bucle abierto*

En este método se utiliza la señal de baliza del satélite para medir la atenuación producida por la lluvia en el trayecto descendente. Debido a la correlación entre la atenuación producida por la lluvia en el enlace ascendente y en el descendente, esta medida se utiliza para estimar la atenuación producida por la lluvia en el enlace ascendente y por ende los valores de control del CPEA. La mayoría de los valores de atenuación predichos coinciden con los valores reales; sin embargo, algunos valores no coinciden a causa de las condiciones ambientales, tales como la velocidad del viento o la distribución del tamaño de las gotas de lluvia. En el cuadro IV se muestra un ejemplo de los posibles errores en la estimación de la atenuación en el enlace ascendente (14 GHz) a partir de la medición en el enlace descendente (11 GHz).

CUADRO IV – *Ejemplo de los errores potenciales en el cálculo de la atenuación del enlace ascendente (14 GHz) basado en una medición del enlace descendente (11 GHz)*

a) *Atenuación menor de 1,0 dB en el enlace ascendente*			
Ángulo de elevación:	5°	15°	25°
Error debido al equipo(1)	0,725	0,725	0,725
Atenuación por hielo	0,05	0,05	0,05
Vapor de agua/difusión	0,20	0,10	0,05
Nivel en condiciones de cielo despejado	0,10	0,10	0,10
Error máximo del enlace ascendente (dB)	±1,075	±0,975	±0,925
b) *Atenuación entre 1 y 6 dB en el enlace ascendente*			
Ángulo de elevación:	5°	15°	25°
Error debido al equipo(1)	0,725	0,725	0,725
Atenuación por hielo	0,05	0,05	0,05
Distribución de las gotas de lluvia	0,10	0,075	0,05
Vapor de agua/difusión	0,20	0,10	0,05
Nivel en condiciones de cielo despejado	0,10	0,10	0,10
Error de polarización	0,10	0,075	0,05
Error de longitud del trayecto	0,20	0,10	0,05
Capa de fusión	0,05	0,05	0,05
Error máximo del enlace ascendente (dB)	±1,525	±1,275	±1,125
c) *Atenuación mayor de 6 dB en el enlace ascendente*			
Ángulo de elevación:	5°	15°	25°
Error debido al equipo(1)	0,725	0,725	0,725
Atenuación por hielo	0,05	0,05	0,05
Distribución de las gotas de lluvia	0,20	0,15	0,10
Vapor de agua/difusión	0,10	0,075	0,05
Nivel en condiciones de cielo despejado	0,10	0,10	0,10
Error de polarización	0,20	0,15	0,10
Error de longitud del trayecto	0,40	0,25	0,15
Capa de fusión	0,05	0,05	0,05
Error máximo del enlace ascendente (dB)	±1,825	±1,550	±1,325

(1) El supuesto de error de ±0,725 dB debido al equipo se basa en un error de ±0,5 dB en la banda de 11,7 GHz (enlace descendente) y suponiendo un factor de dependencia con la frecuencia de 1,45 entre 11,7 GHz y 14 GHz. El error de ±0,5 dB fue calculado sobre la base de los datos disponibles y requiere una mayor verificación con mediciones adicionales.

Se han excluido algunas causas potenciales de error por ser demasiado insignificantes para calcularlas (por ejemplo, errores en el seguimiento de la antena, de apuntamiento del satélite, errores de preacentuación, de degradación de la ganancia de la antena, de efectos de refracción de ángulos de elevación bajos, y de fluctuaciones rápidas del índice de pluviosidad) o por ser de un tipo muy raro (por ejemplo, grandes acumulaciones de nieve húmeda en la antena o fallo de los circuitos de control o de medición de los enlaces ascendente y descendente). Varias combinaciones de estas causas adicionales de error podrían, a la larga, agravar los errores acumulativos del nivel de potencia del enlace ascendente.

2.2 *Método de CPEA de bucle cerrado*

En este método se compara la señal de baliza del satélite con la relación C/N o S/N del retorno en bucle de una señal piloto o de una señal en un canal especial. De esta forma pueden determinarse la atenuación producida por la lluvia en el trayecto ascendente y el valor de control del CPEA con gran exactitud. Sin embargo, este método presenta el inconveniente de necesitar canales de control separados además de los canales de comunicación.

3. Experimento de control de potencia en el enlace ascendente

Se realizó un experimento de CPEA de bucle abierto utilizando las bandas 30/20 GHz [Isobe y otros, 1982], cuyos resultados se muestran en la fig. 2. En este experimento se determinaron los valores de CPEA a partir de los valores de la atenuación en el enlace descendente. En la fig. 2 se muestran los siguientes parámetros: a) nivel de baliza, b) nivel de potencia transmitida del amplificador de gran potencia (AP), c) nivel de recepción del satélite. Como se muestra, la variación de los valores totales de C/N puede mantenerse dentro de 1 dB (cresta a cresta) excepto cuando la potencia transmitida requerida excede la potencia transmitida máxima.

Se realizó también un experimento de CPEA de bucle cerrado utilizando las bandas de 30/20 GHz con el resultado que aparece en la fig. 3. El error en el control se mantuvo dentro de un valor de 0,3 dB (cresta a cresta).

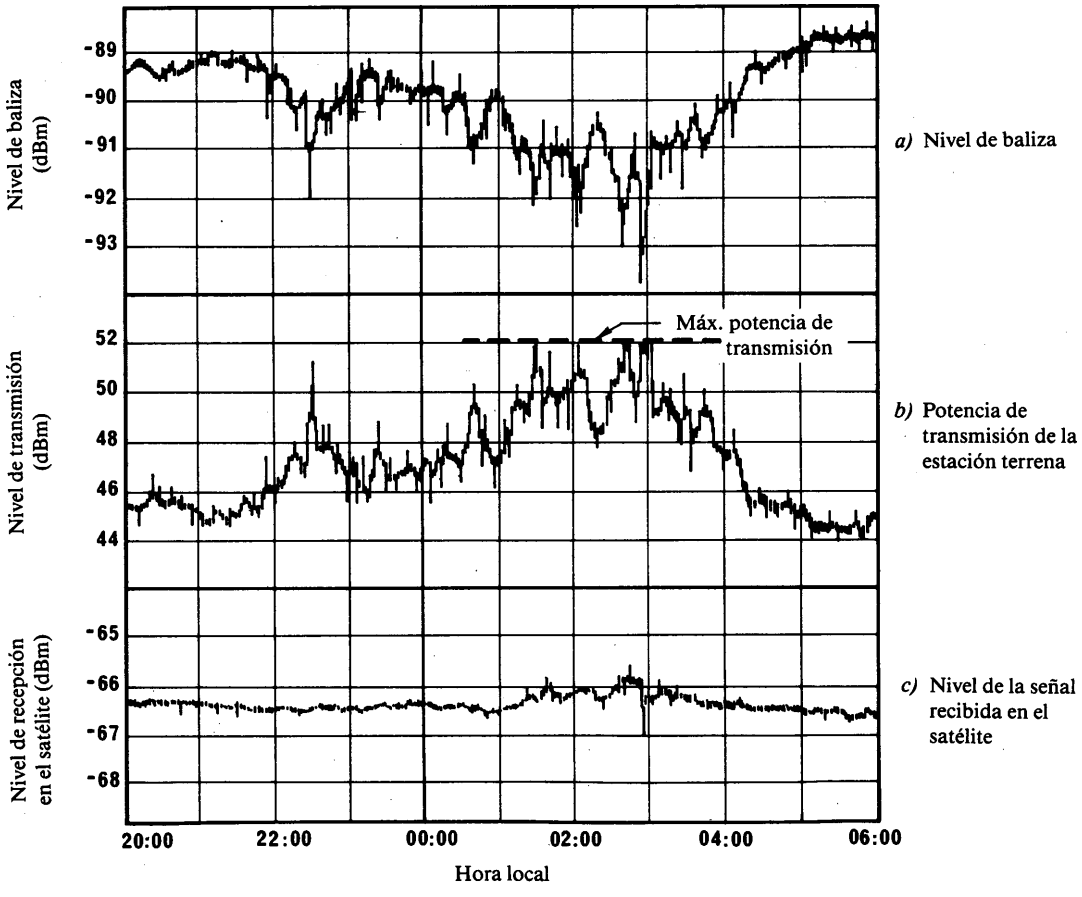


FIGURA 2 – *Resultados experimentales de un CPEA de bucle abierto*

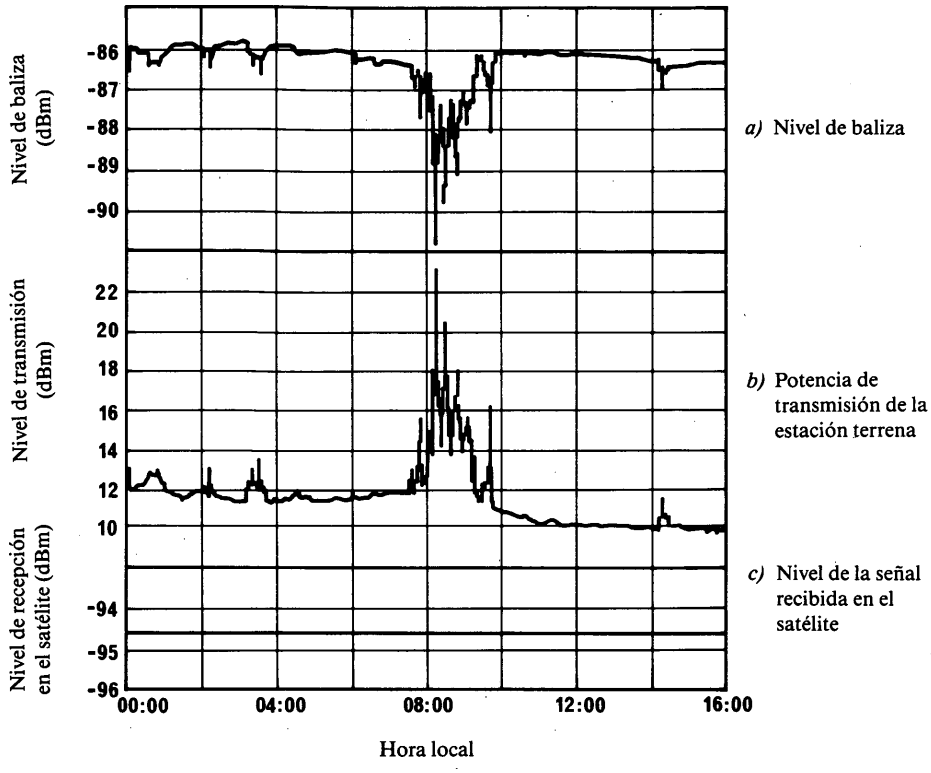


FIGURA 3 – *Resultado experimental de un CPEA de bucle cerrado*

4. Conclusión

El CPEA es una de las técnicas más importantes para establecer los sistemas de comunicación por satélite en las bandas de frecuencias más altas. Utilizando el CPEA para las bandas de frecuencias más altas, puede reducirse la interferencia entre sistemas de satélites vecinos y redes terrenales, y así se consigue una utilización eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios y una explotación eficaz del sistema.

Se necesitarán estudios más detallados para obtener métodos más precisos de CPEA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ISOBE, S., SASAOKA, H., KOSAKA, K. y OTSU, Y. [1982] Small traffic domestic satellite communications system with a K-band transponder. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'82), Miami, FLA, Estados Unidos de América.

ANEXO IV

MÉTODO DE DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ANTENA DE LAS ESTACIONES TERRENAS A FRECUENCIAS SUPERIORES A 10 GHz

1. Introducción

En los sistemas de telecomunicaciones por satélite que funcionan a frecuencias superiores a 10 GHz, las especificaciones de las estaciones terrenas, y en particular, el factor de calidad, G/T, deben tener en cuenta la atenuación debida a la atmósfera y a las precipitaciones. Esta atenuación viene expresada por lo general por un porcentaje de tiempo que se determina en función de la calidad que se desea para el sistema.

La especificación del factor de calidad G/T debe tener en cuenta la atenuación:

- directamente, por una parte, puesto que esta atenuación da lugar a un aumento de la relación G/T requerida;
- indirectamente por otra, puesto que esta atenuación implica un incremento del término T de temperatura de ruido.

Las fórmulas que se dan a continuación deben permitir la normalización de los métodos de determinación de las características de la antena, teniendo en cuenta la atenuación. En los Informes 390 y 868, se facilita información sobre las características generales de las antenas de estaciones terrenas.

2. Especificación del factor de calidad

La fórmula general que especifica el factor de calidad G/T de las estaciones terrenas a frecuencias superiores a 10 GHz, generalmente, es la siguiente:

$$\frac{G}{T_i} - L_i \geqslant \left(K_i + 20 \log \frac{F}{F_0}\right) \qquad \text{dB}(\text{K}^{-1}) \tag{1}$$

en la banda de recepción de frecuencias F durante un porcentaje del tiempo de por lo menos $(100 - P_i)\%$.

El término L_i, expresado en dB, es la pérdida suplementaria en el enlace espacio-Tierra debida a las condiciones nominales de cielo despejado.

Como ejemplos se pueden citar:

a) la siguiente doble especificación para las estaciones terrenas de la red europea ECS:

$$\frac{G}{T_1} - L_1 \geqslant \left(39 + 20 \log \frac{F}{11{,}2}\right) \qquad \text{dB}(\text{K}^{-1})$$

durante por lo menos el 90% del mes más desfavorable.

$$\frac{G}{T_2} - L_2 \geqslant \left(31 + 20 \log \frac{F}{11{,}2}\right) \qquad \text{dB}(\text{K}^{-1})$$

durante por lo menos el 99,99% del año.

b) la siguiente doble especificación para las estaciones terrenas de la norma C de INTELSAT:

$$\frac{G}{T_1} - L_1 \geqslant \left(39 + 20 \log \frac{F}{11{,}2}\right) \qquad \text{dB}(\text{K}^{-1})$$

que han de cumplir todas las estaciones terrenas durante por lo menos el 90% del año.

$$\frac{G}{T_2} - L_2 \geqslant \left(32{,}5 + 20 \log \frac{F}{11{,}2}\right) \qquad \text{dB}(\text{K}^{-1})$$

que han de cumplir las estaciones terrenas de Europa durante por lo menos el 99,983% del año.

$$\frac{G}{T_2} - L_2 \geqslant \left(29{,}5 + 20 \log \frac{F}{11{,}2}\right) \qquad \text{dB}(\text{K}^{-1})$$

que han de cumplir todas las estaciones terrenas de América del Norte durante por lo menos el 99,983% del año.

Nota. – Los diferentes valores para cada región para los pequeños porcentajes de tiempo, se deben a las diferentes condiciones de propagación imperantes en las dos zonas, si bien al mismo tiempo posibilitan efectuar diseños de antenas razonablemente similares. Se encuentran aún en estudio los valores para otras regiones.

3. Modelo de cálculo

Se pretende establecer una relación $D = f(L_i, K_i, T_R)$ que permita determinar el diámetro de abertura circular D que debe darse a la antena de una estación terrena cuyor factor de calidad $\frac{G}{T_i}$ viene especificado por la fórmula (1), teniendo en cuenta el valor T_R de la temperatura de ruido de los equipos de recepción.

Puesto que la ganancia G de la antena viene dada por la relación:

$$G = 10 \log \left[\eta \left(\frac{\pi D F}{c} \right)^2 \right]$$

la fórmula (1) se puede expresar de la siguiente manera:

$$20 \log D \geqslant (L_i + K_i) \text{ dB} + 10 \log T_i - 10 \log \eta + 20 \log \frac{c}{\pi F_0} \qquad (2)$$

donde:

D: diámetro de la antena (m),

c: velocidad de la luz, 3×10^8 m/s,

F_0: frecuencia (GHz),

η: eficiencia de la antena en recepción, a la frecuencia F_0,

L_i: factor de atenuación atmosférica (en relación con las condiciones de cielo despejado), (dB),

K_i: valor especificado del factor de calidad para cielo despejado a la frecuencia F_0, (dB(K^{-1})),

T_i: temperatura de ruido de la estación terrena referida al acceso de recepción, (Kelvin).

La temperatura T_i de ruido de la estación terrena viene dada con una buena aproximación por la fórmula:

$$T_i = \frac{L'_i - 1}{\alpha L'_i} (T_{atm} - T_c) + \frac{1}{\alpha} \left[T_c + T_s + (\alpha - 1) T_{fis} \right] + T_R \qquad \text{K} \qquad (3)$$

donde:

T_c: temperatura de ruido de la antena producida por un cielo despejado,

T_s: temperatura de ruido de la antena debida al suelo,

T_{atm}: temperatura física de la atmósfera y de las precipitaciones,

T_{fis}: temperatura física de los elementos no radiantes del sistema de alimentación,

T_R: temperatura de ruido de los equipos de recepción,

$\alpha \geqslant 1$: pérdidas resistivas debidas a los elementos no radiantes del sistema de alimentación,

$L'_i \geqslant 1$: atenuación debida a la atmósfera y a las precipitaciones (relación).

$L'_i = 10^{\frac{L_i}{10}}$ donde L_i está expresada en dB.

Resulta cómodo expresar la fórmula (3) de la siguiente manera:

$$T_i = T_A + (\Delta T_A) + T_R \qquad (4)$$

donde:

T_A: temperatura de ruido de la antena en condiciones de cielo despejado ($L_i = 0$ dB)

$$T_A = \frac{T_c + T_s}{\alpha} + \frac{\alpha - 1}{\alpha} T_{fis} \qquad (5)$$

(ΔT_A): aumento de la temperatura de ruido de antena provocado por la atenuación de la atmósfera y de las precipitaciones.

$$(\Delta T_A) = \frac{L'_i - 1}{\alpha L'_i} (T_{atm} - T_c) \qquad (6)$$

Introduciendo la relación (3) o la relación (4) en la fórmula (2), se puede despejar D como se indica a continuación:

$$D = f(L_i, K_i, T_R)$$

expresión que engloba el conocimiento de datos complementarios relativos a las características típicas de las antenas de estaciones terrenas que funcionan en la banda de frecuencias considerada [ESA, 1976; Lennart, 1981].

4. Ejemplo de cálculo

En el ejemplo que sigue, se calcula el diámetro D de una antena de estación según la norma C de INTELSAT, que cumpla la doble especificación del punto 2b).

4.1 *Hipótesis*

- los cálculos se efectúan a $F_0 = 11{,}2$ GHz, con un ángulo de elevación del orden de 30° por encima del horizonte,
- la eficiencia de la antena en el extremo recepción, a la frecuencia F_0 es:

  $\eta = 0{,}67$

  $T_c = 15$ K, $T_s = 10$ K — valores típicos de contribución a la temperatura de ruido de antena para un ángulo de elevación de 30°, a $F_0 = 11{,}2$ GHz

  $T_{atm} = 270$ K

  $T_{fis} = 290$ K

  $\alpha = 1{,}122$ (pérdidas resistivas = 0,5 dB)
- las especificaciones, son:

  $K_1 = 39$ dB

  $K_2 = 32{,}5$ dB

4.2 *Resultados del cálculo*

La fig. 4 muestra dos series de curvas

$D = f(L_i)$

cuyos parámetros responden a la doble especificación del factor de calidad para cielo despejado (K_i) y a tres valores de la temperatura de ruido de los equipos de recepción T_R (130 K – 160 K – 190 K).

En el caso del ejemplo analizado, si $T_R = 160$ K y si se desea situar una estación en un lugar en el que los datos de propagación son tales que:

$L_1 \leqslant 1$ dB durante el 90% del año,

$L_2 \leqslant 6$ dB durante el 99,983% del año;

se llega a los siguientes 2 valores de diámetro de antena:

$D_1 = 16{,}80$ m,

$D_2 = 17{,}20$ m;

lo que obliga a elegir $D \geqslant 17{,}20$ m.

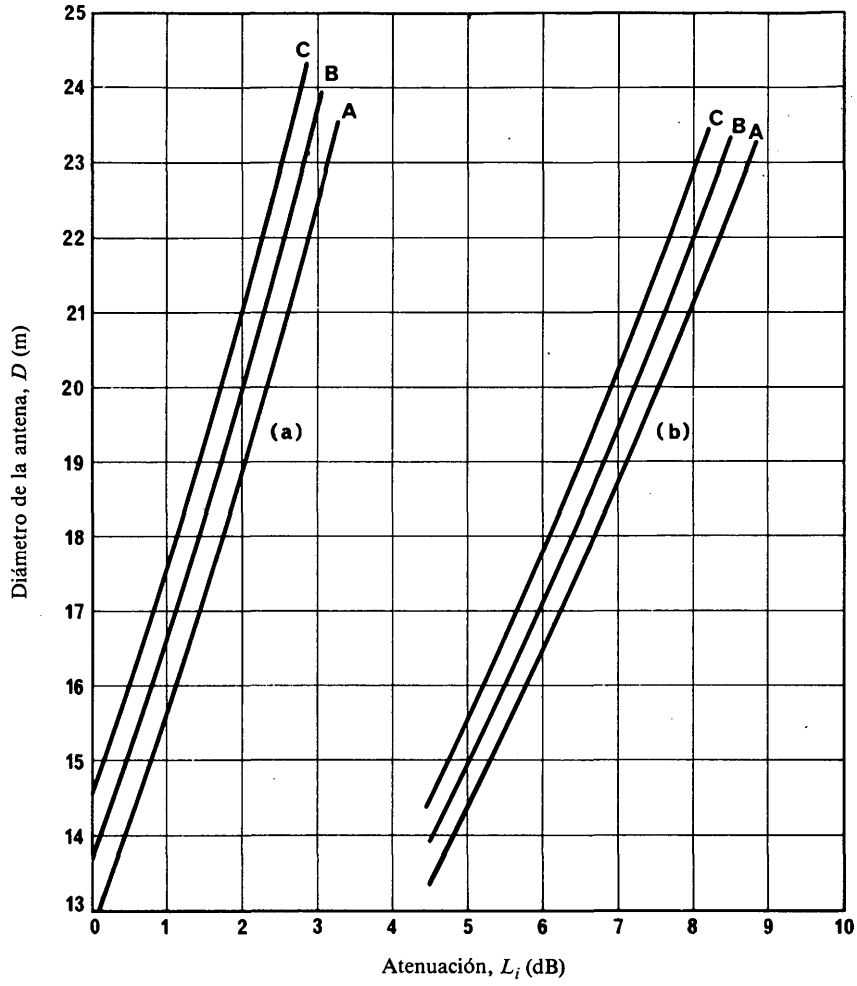


FIGURA 4 – *Variación del diámetro de la antena D en función de la atenuación* L_i

Para dos valores del factor de calidad a 11,2 GHz:
(a): G/T_1 = 39 dB(K^{-1})
(b): G/T_2 = 32,5 dB(K^{-1})

y para tres valores de la temperatura de ruido T_R de los equipos de recepción:
A : T_R = 130 K
B : T_R = 160 K
C : T_R = 190 K

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ESA [enero de 1976] Atmospheric attenuation and noise in satellite systems at 11-14 GHz. Doc. TEC/9039/SED/SA – Revisión 2. Agencia Espacial Europea, París, Francia.

LENNART, H. [8-10 de abril de 1981] Correlating OTS beacon measurements with radiometer and rainfall data. IEE International Conference on Results of Tests and Experiments with the European OTS Satellite, Londres, Reino Unido.

SECCIÓN 4C: CARACTERÍSTICAS DE LA BANDA DE BASE

Recomendaciones e Informes

RECOMENDACIÓN 352-4

CIRCUITO FICTICIO DE REFERENCIA PARA LOS SISTEMAS QUE UTILIZAN LA TRANSMISIÓN ANALÓGICA EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 2/4)

(1963-1970-1974-1978-1982)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que interesa establecer un circuito ficticio de referencia para sistemas del servicio fijo por satélite activo, que pueda servir de guía a los proyectistas y constructores de equipos y de sistemas destinados a las redes telefónicas y de televisión;

b) que sólo se utilizan o se prevé utilizar satélites de gran altitud;

c) que con tales satélites se puede lograr que la mayor parte de las conexiones no comprendan más que un solo enlace por satélite, requiriéndose ocasionalmente dos enlaces en tándem, especialmente para televisión;

d) que el funcionamiento global de cada enlace por satélite depende muy poco de la distancia a lo largo del arco de círculo máximo entre las estaciones terrenas;

e) que, para contrarrestar el desvanecimiento, las estaciones terrenas pueden funcionar con diversidad de emplazamientos, lo que exige enlaces de interconexión terrenal entre pares de antenas;

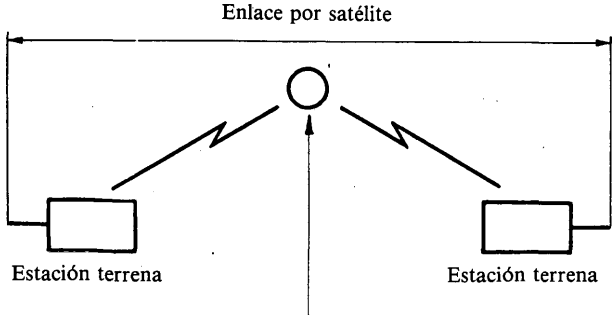
f) que probablemente se van a utilizar enlaces entre satélites en el servicio fijo por satélite,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que el circuito ficticio de referencia de los sistemas del servicio fijo por satélite que utilizan la transmisión analógica conste de un solo enlace Tierra-espacio-Tierra, en el que la porción espacial pueda contener uno o varios trayectos entre satélites.

2. Que, para estaciones terrenas que no disponen de recepción por diversidad de emplazamientos, la entrada de ese circuito de referencia corresponda a la entrada del modulador que realiza la transferencia de la banda de base a la portadora radioeléctrica y la salida del circuito corresponda a la salida del demodulador que realiza la operación inversa.

3. Que los enlaces entre las estaciones terrenas y los centros de conmutación asociados a ellas no se incluyan en el circuito ficticio de referencia.



Estación espacial del servicio fijo por satélite o estaciones espaciales de dicho servicio interconectadas por enlaces entre satélites

FIGURA 1 – *Circuito ficticio de referencia para transmisión analógica*

4. Que, para las estaciones terrenas con diversidad de emplazamientos, el circuito ficticio de referencia tendrá que comprender también los necesarios enlaces terrenales y, si ha lugar, los equipos adicionales de modulación, demodulación o ambos, suponiéndose entonces que el interfaz entre el sistema terrenal y el sistema de satélites está situado en la banda de base, a continuación del punto de conmutación de diversidad.

5. Que los enlaces terrenales entre los puntos de conmutación para recepción por diversidad de emplazamientos de tales estaciones terrenas y los centros de conmutación asociados no se incluyan en el circuito ficticio de referencia.

RECOMENDACIÓN 353-5

POTENCIA DE RUIDO ADMISIBLE EN EL CIRCUITO FICTICIO DE REFERENCIA PARA LA TELEFONÍA CON MULTIPLAJE POR DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 27/4)

(1963-1966-1970-1978-1982-1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que el circuito ficticio de referencia ha de servir de guía a los proyectistas para el diseño y construcción de los sistemas utilizados en la práctica;

b) que los costes de establecimiento y de mantenimiento de los sistemas del servicio fijo por satélite están íntimamente ligados a la calidad de funcionamiento requerida en lo que respecta a la relación señal/ruido global;

c) que la potencia total del ruido en el circuito ficticio de referencia no debe perturbar de modo apreciable la conversación en la mayoría de las comunicaciones telefónicas, ni la transmisión de la señalización telefónica;

d) que no puede determinarse completamente la importancia de los desvanecimientos sin disponer de datos experimentales, aun cuando no se espera que sea apreciable en los sistemas del servicio fijo por satélite;

e) que puede haber otras fuentes de ruido de corta duración,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que la potencia del ruido en un punto del nivel relativo cero, en cualquier canal telefónico del circuito ficticio de referencia definido en la Recomendación 352, no exceda de los siguientes valores provisionales:

1.1 10 000 pW0p, potencia sofométrica media durante un minuto, durante más del 20% de cualquier mes.

1.2 50 000 pW0p, potencia sofométrica media durante un minuto, durante más del 0,3% de cualquier mes.

1.3 1 000 000 pW0, potencia no ponderada (con un tiempo de integración de 5 ms), durante más del 0,01% de cualquier año.

2. Que las notas que siguen sean consideradas parte integrante de la presente Recomendación.

Nota 1. – En cuanto precede están excluidos los ruidos internos del equipo de multiplaje por distribución de frecuencia. En telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia, el ruido adicional a los mencionados valores se debe al equipo necesario para efectuar la traslación de la banda de base del enlace por satélite a partir del nivel del equipo múltiplex requerido para la interconexión con un enlace terrenal, o para lograr dicho nivel. Al considerar la calidad de funcionamiento de una conexión global, el ruido introducido por ese equipo debe agregarse a los valores indicados en el punto 1 de la parte dispositiva. El ruido autorizado por el CCITT para el equipo múltiplex figura en la Recomendación G.222, punto 4.

Nota 2. – Se supone que los picos de ruido y los chasquidos debidos a los dispositivos de alimentación y a los aparatos de conmutación (incluida la conmutación de un satélite a otro) son de proporciones despreciables y no se tendrán en cuenta en los cálculos de ruido.

Nota 3. – Cuando se aplican las nociones de circuito ficticio de referencia y de ruido de circuito admisible al diseño de equipos de satélites y de estaciones terrenas para cierto valor de la relación señal/ruido global, deben usarse, en su caso, las características preferidas por el CCIR, según están expuestas en sus Recomendaciones. Siempre que se recomiende más de un valor, el ingeniero que diseñe el sistema indicará el valor que ha elegido o, a falta de valores preferidos, las hipótesis que haya adoptado.

Nota 4. – En el caso de la telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia, se supondrá que la señal en la banda de base, durante la hora cargada, puede representarse por una señal de espectro uniforme, cuyo nivel medio absoluto de potencia, en un punto de nivel relativo cero, es $(-15 + 10 \log N)$ dBm para 240 canales o más y $(-1 + 4 \log N)$ dBm*, para un número de canales comprendido entre 12 y 240, siendo N el número de canales. Estas fórmulas se aplican únicamente a las señales en la banda de base, sin preacentuación, con utilización de amplificadores o de repetidores independientes para los dos sentidos de transmisión. Para más información sobre la carga convencional, en particular en el caso de un repetidor común para los dos sentidos de transmisión, véase la Recomendación G.223 del CCITT.

Nota 5. – Todavía no es posible formular proposiciones concretas sobre las condiciones que habrá que respetar si hubiera de asegurarse la transmisión de telegrafía armónica o de datos por canales telefónicos de un sistema del servicio fijo por satélite.

Nota 6. – La potencia de ruido, indicada en el punto 1 anterior, debería incluir los ruidos debidos a interferencias (véanse las Recomendaciones 356 y 466), y los resultantes de la absorción atmosférica y del aumento de la temperatura de ruido a causa de la lluvia. No obstante, en ciertos casos, ciertos ruidos suplementarios podrán sobrepasar los objetivos generales; pero ello no debe ser motivo de inquietud, siempre que se respete la Recomendación G.222, punto 2.6, del CCITT.

Nota 7. – El valor indicado en el punto 1.3 puede excederse en alguna ocasión, debido a interferencias causadas por el Sol sobre el haz de la antena, pero, dado el carácter previsible de estas interferencias, no se consideran en esta Recomendación. En el anexo II al Informe 390 figuran informaciones detalladas sobre este tema.

Nota 8. – Los objetivos presentados en esta Recomendación son objetivos de calidad de funcionamiento y no deben confundirse con los objetivos de disponibilidad.

Nota 9. – Tal vez sea necesario prever disposiciones especiales con respecto a la calidad de funcionamiento de los enlaces entre satélites; el alcance de tales disposiciones requiere nuevo estudio.

Nota 10. – Las interrupciones breves (menos de 10 s) deben considerarse equivalentes al caso en que la potencia de ruido no ponderado de un circuito es superior a 10^6 pW0.

Nota 11. – Para la planificación de los sistemas, es conveniente tomar como base datos de propagación que cubran un periodo de por lo menos cuatro años. La calidad de funcionamiento recomendada que ha de cumplirse en «cualquier año» debe basarse en las estadísticas de propagación acumulativas correspondientes a todos los años completos para los que se dispone de datos confiables. La calidad de funcionamiento recomendada que ha de cumplirse en «cualquier mes» debe basarse en los datos de propagación correspondientes al valor mediano durante el «mes más desfavorable del año» tomados de las estadísticas mensuales de todos los años para los que se dispone de datos confiables.

Nota 12. – Esta Recomendación se aplica solamente cuando el sistema se considera disponible con arreglo a la Recomendación 579, e incluye periodos de elevado ruido no ponderado superior a 10^6 pW0, de duración inferior a 10 s consecutivos. Los periodos de elevado ruido de 10 o más segundos de duración se tienen en cuenta en la Recomendación 579.

---

* Se estima que estas fórmulas proporcionan una buena aproximación para el cálculo del ruido de intermodulación cuando $N \geqslant 60$. No obstante, en el caso de sistemas de pocos canales, los resultados de medidas hechas con un ruido aleatorio de espectro uniforme están más alejados de la realidad, dada la gran diferencia que existe entre la naturaleza de la señal real y de la señal de medida.

RECOMENDACIÓN 354-2

ANCHURA DE BANDA DE VIDEO Y NIVEL DE RUIDO ADMISIBLE EN EL CIRCUITO FICTICIO DE REFERENCIA PARA EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE*

(Cuestión 2/4)

(1963-1970-1974)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que el circuito ficticio de referencia ha de servir de guía a los proyectistas para el diseño y construcción de los sistemas utilizados en la práctica;

b) que los costos de establecimiento y de mantenimiento de un sistema del servicio fijo por satélite están íntimamente ligados a la anchura de la banda de videofrecuencias y a la relación señal/ruido global, por lo que conviene que estas dos magnitudes no excedan los valores estrictamente necesarios para una transmisión aceptable;

c) que es conveniente que en las transmisiones por satélite el nivel de ruido no sea superior al nivel admisible en las transmisiones internacionales por vía terrenal (véase la Recomendación 567);

d) que en las estaciones espaciales del servicio fijo por satélite conviene transmitir los programas internacionales de televisión con la norma y el sistema de televisión de origen, a fin de asegurar la mejor calidad posible de servicio, de conformidad con el Ruego 38,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que en el circuito ficticio de referencia para sistemas del servicio fijo por satélite definido en la Recomendación 352, el límite superior nominal de la banda de videofrecuencias sea compatible con el necesario para el sistema o los sistemas de televisión de que se trate (véase la Recomendación 567).

2. Que las relaciones señal/ruido ponderado para el ruido aleatorio continuo en el extremo del circuito ficticio de referencia, definido en la Recomendación 352, sean provisionalmente iguales a las preconizadas para el circuito ficticio de referencia de 2500 km en la Recomendación 567, para la norma de televisión adecuada.

Nota 1. – La CMTT se propone estudiar las definiciones y las características de los circuitos auxiliares que han de asociarse a los circuitos imagen y sonido (Programa de Estudios 17C/CMTT).

Nota 2. – Al aplicar el punto 2 de la presente Recomendación se prestará particular atención a la nota 2** del punto 1.2 de la Recomendación 421 (Ginebra, 1974) en lo que concierne al ruido en el circuito ficticio de referencia.

Nota 3. – El nivel de ruido especificado debe incluir el ruido de interferencia indicado en la Recomendación 483.

INFORME 208-6

CONSTITUCIÓN DEL CIRCUITO FICTICIO DE REFERENCIA Y NORMAS SOBRE EL NIVEL DE RUIDO ADMISIBLE PARA TRANSMISIÓN DE TELEFONÍA CON MULTIPLAJE POR DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA Y DE TELEVISIÓN, EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 27/4)

(1963-1966-1970-1974-1978-1982-1986)

1. Constitución del circuito ficticio de referencia

Para facilitar la labor de los proyectictas de sistemas del servicio fijo por satélite, se ha establecido en la Recomendación 352 un circuito ficticio de referencia análogo al adoptado para los sistemas terrenales de transmisión a larga distancia. Con este circuito se simplifica la labor de especificar, diseñar y de mantener la calidad de funcionamiento del sistema y sus características en el punto de utilización o en el interfaz con otros sistemas.

---

* Estas especificaciones son provisionales. En efecto, en la Cuestión 13/CMTT y en el Programa de Estudios 13D/CMTT, la CMTT invita a las administraciones a determinar las características del circuito ficticio de referencia para la transmisión de televisión por satélite.

** *Nota de la Secretaría:* Esta nota se ha suprimido en la Recomendación 567, que sustituye a la Recomendación 421-3.

El circuito ficticio de referencia para sistemas del servicio fijo por satélite comprende un solo enlace espacial por satélite geoestacionario. Además de la telefonía, el circuito ficticio de referencia es aplicable a otros tipos de señales como televisión y datos, cuando se utilizan en el servicio fijo por satélite.

En lo que respecta a la televisión, la CMTT ha estudiado la definición de las características de cadenas de referencia que comprenden uno o varios circuitos ficticios de referencia y corresponden a diversos tipos de servicio; esos estudios se recogen en las Recomendaciones 354 y 567.

Las disposiciones de la Conferencia Administrativa Mundial de Telecomunicaciones Espaciales, Ginebra, 1971, introdujeron nuevos factores que deberán tenerse en cuenta al desarrollar los circuitos ficticios de referencia. El primero de ellos, a este respecto, ha sido la introducción del servicio entre satélites que puede proporcionar enlaces entre satélites en el servicio fijo por satélite. Aun cuando todavía no se han proyectado los sistemas que utilizarán enlaces entre satélites, es evidente que contribuirán a aumentar el tiempo de propagación y el ruido del sistema.

El segundo factor lo constituyen las nuevas atribuciones en las bandas de frecuencias de 11, 14, 18 y 30 GHz al servicio fijo por satélite, en las cuales los estudios preliminares indican la necesidad de prever una diversidad de emplazamientos para las estaciones terrenas sometidas a una fuerte atenuación debida a la lluvia. Deben preverse interconexiones terrenales para tales servicios, lo cual incrementará el nivel de ruido. A ello se refiere la Recomendación 352.

2. Normas para el nivel de ruido admisible

2.1 *Consideraciones generales*

Las normas para los niveles de ruido admisibles en el circuito ficticio de referencia del servicio fijo por satélite deben ser comparables a las adoptadas para otros sistemas de transmisión a larga distancia; son de interés los principios establecidos por la Comisión Mixta CMBD (CCITT/CCIR) para el ruido de los circuitos telefónicos y por la CMTT para las transmisiones de televisión a larga distancia. (*Nota.* – la Comisión Mixta CMBD (CCITT/CCIR) fue disuelta en la VIII Asamblea Plenaria del CCITT, Málaga-Torremolinos, 1984).

Los criterios para la potencia de ruido admisible máxima a corto plazo indicados en las Recomendaciones 353 y 356, se derivan de los niveles aplicables a circuitos terrenales. Sin embargo, si sólo se considera el ruido térmico en las bandas de frecuencias de 4 y 6 GHz, el porcentaje de tiempo durante el cual se rebasa la potencia de 50 000 pW0p puede ser considerablemente inferior al valor del 0,3% indicado en la Recomendación 353. La experiencia adquirida en sistemas en explotación en estas bandas de frecuencias tiende a confirmar este hecho.

No obstante, es posible que estas conclusiones no sean válidas en sistemas que funcionan en bandas de frecuencias más elevadas, puesto que experimentan tanto una mayor atenuación debida a la lluvia como un aumento importante en las temperaturas de ruido del sistema. La temperatura de ruido del sistema receptor de una estación terrena en el terminal de salida de la antena receptora viene dada por la siguiente fórmula:

$$T = FT_e + \frac{(1-F)}{a_r a_g}\left[T_c + T_a\,(a_r a_g - 1)\right] + (w-1)\,T_w + wT_r \qquad \text{K} \tag{1}$$

donde

T_e: temperatura efectiva del terreno que rodea la estación terrena (K);

T_c: temperatura de la radiación de fondo del cielo (K);

T_a: temperatura efectiva del medio de absorción (gases, nubes, lluvia) (K);

T_w: temperatura del guiaondas o línea de transmisión, que conecta el terminal de antena al receptor (K);

T_r: temperatura de ruido del receptor y de los pasos siguientes, referida a la entrada del receptor (K);

F: ganancia relativa de la antena con respecto a la antena isótropa, integrada sobre todas las componentes de directividad que subtiende al terreno circundante («factor de interceptación de la tierra»);

a_r: factor de absorción de la lluvia, o de otros hidrometeoros, a lo largo del eje del haz principal;

a_g: factor de absorción de los gases atmosféricos a lo largo del eje del haz principal;

w: factor de atenuación del guiaondas o de la línea de transmisión.

En ausencia de la lluvia ($a_r = 1{,}00$), los dos primeros términos del segundo miembro de la ecuación (1) pueden combinarse para formar la temperatura de ruido de la antena en condiciones de cielo despejado, T_{ant}, resultando la siguiente expresión simplificada para la temperatura de ruido del sistema en recepción, en condiciones de cielo despejado:

$$T_0 = T_{ant} + (w-1)T_w + wT_r \qquad \text{K} \tag{2}$$

La fig. 1 presenta un ejemplo de la degradación de la relación «portadora/ruido térmico» del enlace descendente de una red, en función de la atenuación por absorción en presencia de hidrometeoros, para varias hipótesis de temperatura de ruido del receptor.

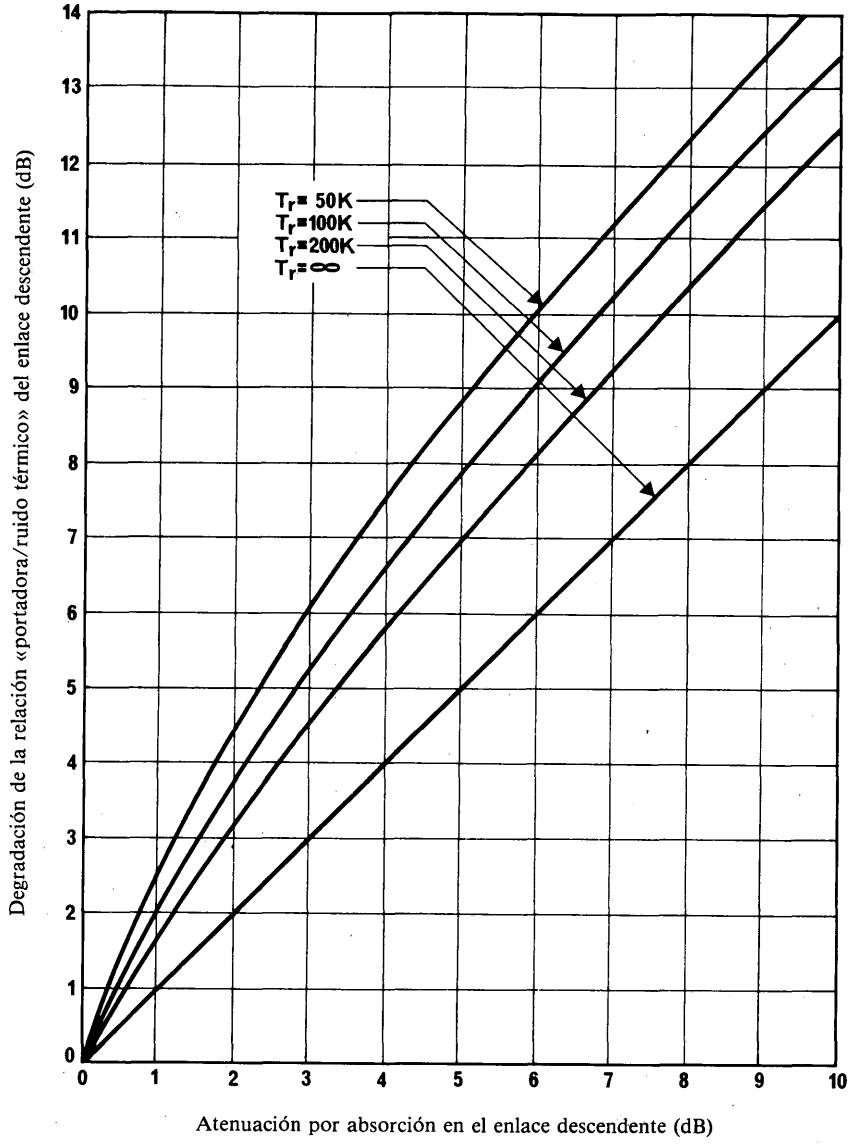


FIGURA 1 – *Degradación de la relación portadora/ruido térmico del enlace descendente debida a la atenuación por absorción en el enlace descendente*

$T_e = T_w = 290$ K $\quad w = 1{,}1$
$T_c = 3$ K $\quad a_g = 1{,}07$
$T_a = 280$ K $\quad F = 0{,}05$

En las secciones sobre Radiometeorología y Telecomunicaciones Espaciales del Volumen V del CCIR, figura la información necesaria para derivar las atenuaciones debidas al trayecto en diferentes regiones y para diferentes bandas de frecuencias.

Conviene continuar el estudio de los criterios de ruido a corto plazo para los sistemas por satélite, a la luz del comportamiento en transmisión real de dichos sistemas, pero teniendo en cuenta los principios pertinentes establecidos por la CMBD (Comisión Mixta Especial CCITT/CCIR) (véase la nota del § 2.1, primer párrafo) y por la CMTT, así como el comportamiento de los sistemas que utilizan bandas de frecuencias distintas a las bandas de 4 y 6 GHz. Es necesario también continuar los estudios a fin de tener en cuenta los mecanismos de desvanecimiento distintos a los hidrometeoros, en vista de las observaciones recientemente realizadas respecto a que el centelleo ionosférico y troposférico puede afectar las señales recibidas en algunas estaciones terrenas.

2.2 *Ruido admisible en el circuito ficticio de referencia: telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia*

Además de las consideraciones generales anteriores, se ha formulado la Recomendación 353 inspirándose en las conclusiones de la Comisión Mixta CMBD (CCITT/CCIR) (véase la nota del § 2.1, primer párrafo). El valor máximo de 10 000 pW0p (potencia sofométrica) del ruido medio durante una hora cualquiera en cualquier canal telefónico del circuito ficticio de referencia correspondería a 1,3 pW/km en una distancia sobre un círculo máximo de 7500 km. Este objetivo es de la misma magnitud que los recomendados para otros medios de transmisión a gran distancia y para otros periodos de integración, a saber, 1 min y 5 ms. Sin embargo, deberán tenerse también en cuenta que los dos factores a que se hace referencia en el punto 1 tendrán influencia sobre las características de dicha Recomendación (véase el anexo II para más amplia información referente al segundo factor).

Para ciertas clases de circuitos establecidos para conexión directa a largas distancias, pero cuyo objetivo no es formar parte de una conexión internacional, puede ser conveniente admitir valores más altos para el ruido medio en el circuito ficticio de referencia. Las razones para considerar estos niveles de ruido admisible más elevados se exponen brevemente en el anexo I al presente Informe, a fin de facilitar a las administraciones interesadas la continuación del estudio.

2.3 *Ruido admisible en el circuito ficticio de referencia: televisión*

Es probable que la mayoría de los circuitos internacionales de televisión sólo comprendan un enlace por satélite, a pesar de que, para las conexiones más largas, a escala del globo, son indispensables dos enlaces de este tipo. En estas condiciones, bastaría por ahora con que el ruido aleatorio continuo en el extremo del circuito ficticio de referencia fuese igual al del circuito ficticio terrenal de referencia de 2500 km, dependiendo los valores precisos de la norma del sistema de televisión considerado (véase la Recomendación 567).

3. Anchura de banda del canal de video en el circuito ficticio de referencia

Al preparar la Recomendación 354 sobre el límite superior nominal de la banda de frecuencias de video en un sistema del servicio fijo por satélite para televisión, se han tenido en cuenta los siguientes puntos:

- la anchura de banda de video debería ser adecuada para una transmisión aceptable de señales de televisión de normas de hasta 625 líneas inclusive;
- la necesidad de no prever, por razones económicas, una anchura de banda de video más amplia de lo necesario;
- la necesidad de que la anchura de la banda de base para la televisión sea compatible con la de telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia de gran capacidad.

Teniendo en cuenta estos factores, se recomienda que, en el circuito ficticio de referencia para transmisión de televisión, la banda de frecuencias de video sea compatible con la necesaria para el sistema o sistemas de televisión considerados.

4. Transmisión simultánea de un canal de sonido y de una señal de imagen de televisión

A fin de evitar grandes diferencias entre el tiempo de transmisión de una señal de imagen de televisión y la correspondiente señal de sonido, es conveniente transmitir ambas señales por el mismo enlace de satélite. En este caso, puede necesitarse una mayor anchura de la banda de base para incluir en ella la señal de sonido (por ejemplo, en una subportadora independiente de la banda de base); o bien puede transmitirse la señal de sonido con la señal de video mediante multiplaje por distribución en el tiempo, utilizando, por ejemplo, los impulsos de sincronismo o los intervalos de supresión, sin necesidad de aumentar la anchura de banda de base. El sonido puede también transmitirse por un canal radioeléctrico del mismo satélite.

ANEXO I

OBJETIVOS EN MATERIA DE RUIDO PARA LOS CIRCUITOS TELEFÓNICOS POR SATÉLITE SOBRE LA BASE DE LAS PREFERENCIAS DE LOS USUARIOS

1. Introducción

En circuitos y canales telefónicos terrenales, el ruido depende esencialmente de la longitud del circuito, lo que ha conducido a un método que consiste en especificar el ruido en circuitos terrenales en función de la distancia cubierta por el circuito, al que se agrega una contribución de ruido constante debida a los equipos y a las características de interferencia que no dependen de la distancia.

Sin embargo, si se examinan los principios en que se basa el método para el establecimiento de normas de nivel de ruido en circuitos terrenales, la característica más destacada resulta ser la calidad de servicio ofrecida a los usuarios del teléfono tanto en condiciones normales como en condiciones extremas de la red.

Si bien las distancias imponen una importante restricción a la calidad de transmisión a través de los circuitos terrenales, el ruido y la atenuación (o la pérdida) de los circuitos por satélite son en gran medida independientes de la distancia. Por tanto, parecería más adecuado determinar un valor o una gama de valores que permitan comunicaciones satisfactorias independientemente de las distancias cubiertas por los circuitos por satélite. Habida cuenta de estas consideraciones tal vez convenga examinar la posibilidad de apartarse de los niveles de ruido previstos por la Recomendación 353 y los efectos que esto puede tener en la calidad de las comunicaciones telefónicas a través de una red de satélites utilizada para el servicio nacional.

2. Posibles soluciones prácticas para el establecimiento de circuitos por satélite

Durante el periodo 1974-1978, Australia sometió un análisis y un examen que muestran que, para determinados tipos de circuitos telefónicos utilizados para el tráfico nacional, las normas aplicadas normalmente para circuitos telefónicos internacionales vía satélite pueden modificarse con vistas a obtener ventajas económicas al mismo tiempo que se proporciona un servicio adecuado en un país. No podrán beneficiarse de esta ventaja todos los circuitos y pueden ser necesarias disposiciones especiales para asegurar que se cumplirán los requisitos de orden internacional cuando estos circuitos por satélite de «norma nacional» deban conectarse a un circuito internacional. Existen, naturalmente, situaciones de tráfico a nivel nacional en las que puede ser necesario aplicar normas que sobrepasen las establecidas por la Recomendación 353.

En el análisis se consideraron tres tipos de enlaces:

a) De conformidad con la Recomendación 353 («circuitos de 10 000 pW0p»).

b) Aumento de la tolerancia en 3 dB («circuitos de 20 000 pW0p»).

c) Aumento de la tolerancia en 6 dB («circuitos de 40 000 pW0p»).

Sería posible prever transpónderes separados para cada tipo de enlace diferente, o una disposición mixta dentro de un mismo transpónder. Las capacidades que podrían obtenerse de los sistemas si se utilizaran valores distintos de 10 000 pW0p dependen de la configuración del sistema considerada, pero pueden ofrecer hasta un aumento del 100% del número total de canales por transpónder, a cambio de un aumento de la tolerancia en 6 dB con relación a la Recomendación 353 [Feder, 1976].

También puede ser conveniente prever algunos enlaces cuya contribución de ruido sea muy baja, que se preste a asociar a ellos permanentemente prolongaciones terrenales muy largas. Estos enlaces podrían, tal vez, respetar la norma de la Recomendación 353 y prolongarse entonces mediante circuitos de tránsito terrenales de aproximadamente 6500 km.

Otra posibilidad consiste en disponer que, siempre que sea factible, todo el tráfico destinado a centros internacionales o procedente de estos centros, se curse por circuitos principales terrenales lo que permitiría utilizar sólo circuitos principales de tipo c); los circuitos de otros tipos sólo se proporcionarían en caso necesario y en número muy reducido. Esto tendría la ventaja de simplificar las disposiciones especiales de conmutación internacional que serían necesarias para limitar debidamente las conexiones en tándem de circuitos por satélite.

Por último, si se acepta la utilización de circuitos con niveles de ruido de, por ejemplo, 40 000 pW0p o 20 000 pW0p, en lugar de 10 000 pW0p, norma fijada para los circuitos, convendría reconsiderar el margen total de ruido no térmico (que se supone constante, de 6000 pW0p), y también la componente de interferencia de este ruido no térmico (que se supone de 2000 pW0p). Es evidente que si la interferencia, y por consiguiente la contribución de ruido no térmico, pudiera aumentarse a expensas del ruido térmico, podrían obtenerse ciertos beneficios económicos gracias a requisitos de coordinación menos rígidos en los sistemas por satélite.

3. Conclusiones

Los objetivos de ruido en la red terrenal deben reflejar las condiciones más desfavorables y las condiciones medias que puedan prevalecer y que generalmente dependen de la distancia. Dentro de los límites de los niveles de ruido total actualmente recomendados por el CCITT, pueden elegirse normas para circuitos por satélite que puedan proporcionar una calidad de funcionamiento equivalente o algo mejor que la de conexiones terrenales largas comparables. Fundamentalmente se considera que el margen de ruido para un circuito por satélite debe corresponder con el margen de ruido de los sistemas terrenales a los que teóricamente reemplaza. Cuando, debido a condiciones especiales, se necesiten circuitos de mejor calidad, podrían adoptarse disposiciones adecuadas que permitieran cumplir estos requisitos especiales. Se ha demostrado que utilizando el método consistente en establecer objetivos para los circuitos por satélite, en vez de aplicar simplemente la norma de la Recomendación 353, podría obtenerse una mayor capacidad en un sistema específico; esto se traduciría, o bien en una reducción del costo por canal en un sistema dado, o en una reducción de los costos globales del sistema para una determinada capacidad de canales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FEDER, A. [1976] Transmission performance objectives for national satellite telephone circuits. *Austral. Telecomm. Res.*, Vol. 10, 2, 59-74.

ANEXO II

En la Recomendación G.222 del CCITT (véanse los § 1.2.1, 1.2.2 y 1.2.3) se define el objetivo de diseño necesario para un equipo MDF de un circuito ficticio de referencia de 2500 km para telefonía, como sigue:

- 10 000 pW0p para 20% de cualquier mes
- 50 000 pW0p para 0,1% de cualquier mes
- 1×10^6 pW0 para 0,01% de cualquier año

Si bien no se hace referencia específica a sistemas por satélite, se menciona la Recomendación 353 del CCIR para el objetivo de ruido provisional correspondiente a sistemas de circuitos ficticios de referencia por satélite.

La Recomendación 353 del CCIR ha sido formulada basándose en el concepto de equivalencia con el circuito ficticio de referencia (CFR) de relevadores radioeléctricos, y la calidad de funcionamiento se ha ajustado a la de dicho sistema. Sin embargo, recientes estudios han revelado que esta equivalencia requiere examen ulterior, especialmente si se tiene en cuenta que los objetivos de diseño de la Recomendación G.222 son más estrictos que los indicados en la Recomendación 353.

Según un estudio realizado por el CCIR, es posible que los sistemas que funcionan en 6/4 GHz no experimenten dificultades para satisfacer el objetivo de ruido a corto plazo (es decir, 50 000 pW0p), mientras que los sistemas en 14/11 GHz experimentarían cierta dificultad en función de las estadísticas de atenuación por lluvia para cada red específica.

Para los sistemas que funcionen en las bandas de 14/11 GHz, la distribución típica de ruido es la que se indica en la fig. 2, en la que son evidentes los efectos del valor más alto de atenuación de lluvia. Las curvas son las típicas de las zonas hidrometeorológicas G y H, y por lo tanto no son las más desfavorables.

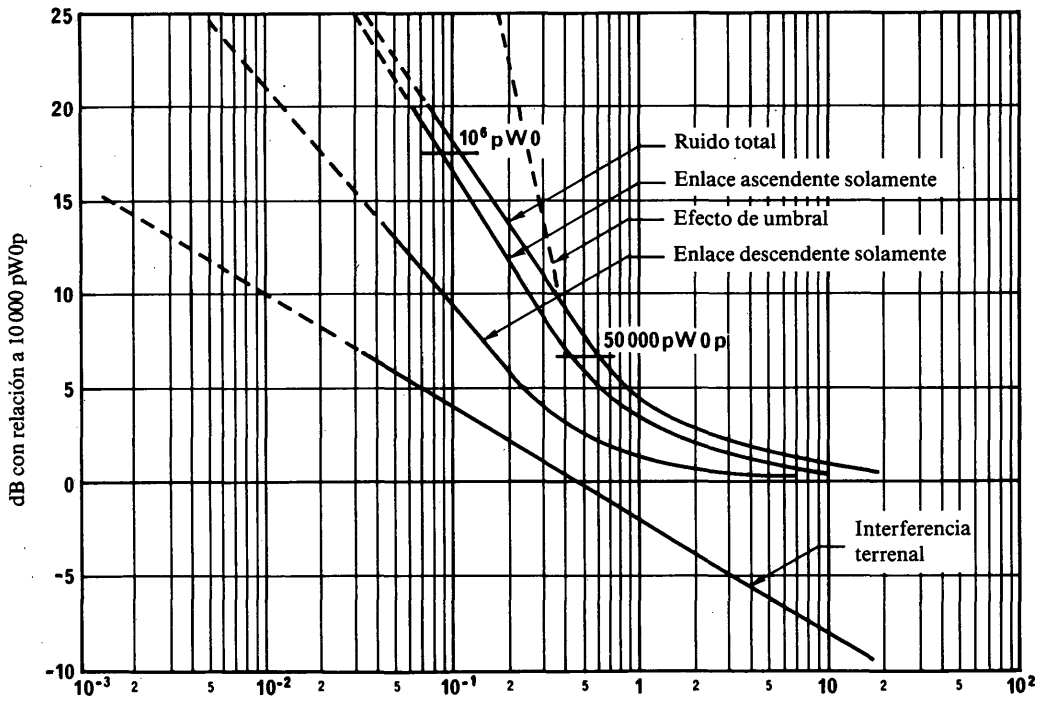


FIGURA 2 – *Distribución de ruido en el canal, funcionando en 14/11 GHz (zonas hidrometeorológicas G y H y reutilización de haz puntual) para el mes más desfavorable, sin control de potencia y sin diversidad*

Sin la aplicación de algunas configuraciones especiales es evidente que las operaciones a 14/11 GHz no podrían cumplir la cláusula del «0,1% de cualquier mes». Una configuración especial, es el control de potencia del enlace ascendente. Otra consiste en el empleo de una estación de diversidad suficientemente distante de la estación principal para reducir la probabilidad de que la lluvia que provoca la atenuación ejerza sus efectos simultáneamente en los dos lugares.

Cualquiera de estas dos técnicas puede aplicarse para modificar la distribución de ruido a fin de permitir que dichos sistemas cumplan objetivos razonables de calidad global.

En la fig. 3 se trazan las curvas que resultan de un control de potencia del enlace ascendente de 10 dB así como de los efectos del empleo de la diversidad (que se supone se emplea a ambos extremos del trayecto); para este caso de control de potencia el nivel de 50 000 pW0p se da el 0,225% del mes más desfavorable. El umbral típico de la ilustración se dará a unos 100 000 pW0p (a C/N = 10 dB) para el 0,125% del mes más desfavorable.

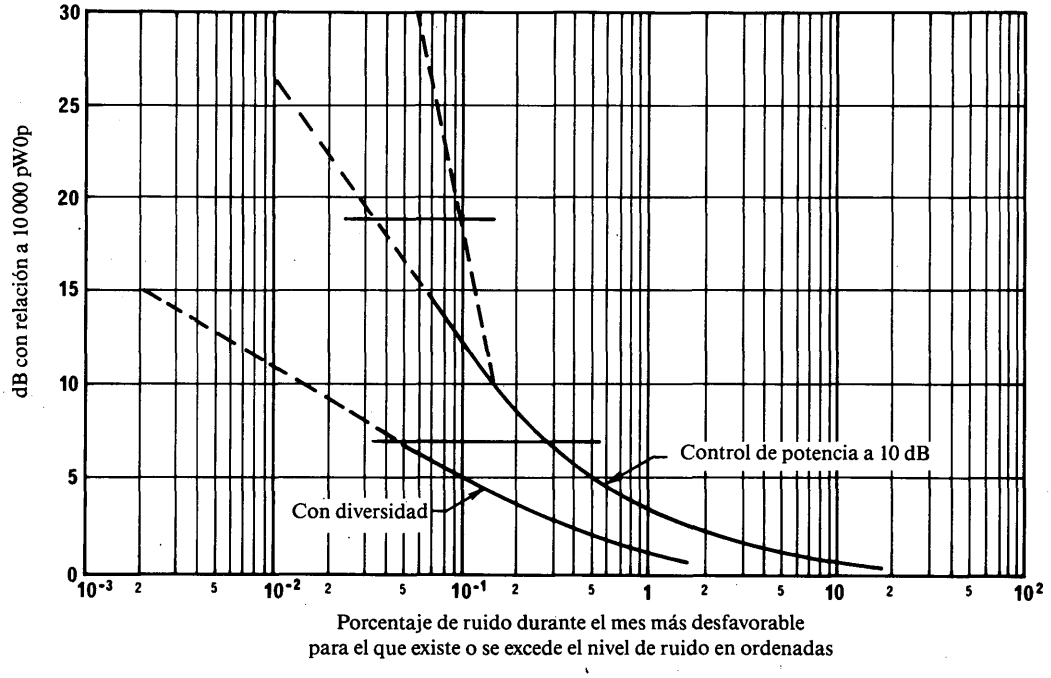


FIGURA 3 – *Distribución de ruido en el canal, funcionando en 14/11 GHz, para el mes más desfavorable, con control de potencia o con diversidad*

Utilizando diversidad de emplazamientos la mejora es espectacular y podría considerarse como típica. Suponiendo una operación de diversidad perfecta en ambas bandas de frecuencia en los dos extremos del trayecto, se verá que el «0,1% de cualquier mes» es un requisito más bien fácil de cumplir mientras la situación de umbral pueda alcanzar el 0,013% de cualquier mes.

Otras situaciones darían lugar a curvas diferentes, pero las indicadas se consideran típicas para los climas hidrometeorológicos utilizados.

Es necesario estudiar ulteriormente el impacto que tendría la modificación de la Recomendación 353 para ajustarla a la Recomendación G.222 del CCITT, habida cuenta especialmente de la diferencia entre la longitud equivalente de un CFR por satélite comparado con los CFR de relevadores radioeléctricos y de cables de 2500 km.

RECOMENDACIÓN 521-2

TRAYECTO DIGITAL FICTICIO DE REFERENCIA PARA LOS SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE QUE UTILIZAN LA TRANSMISIÓN DIGITAL

(Programa de Estudios 29A/4)

(1978-1982-1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que conviene establecer un trayecto digital ficticio de referencia para sistemas del servicio fijo por satélite activo, que pueda servir de guía a los proyectistas y constructores de equipos y de sistemas destinados a las redes que emplean técnicas de transmisión digital;

b) que se puede lograr que la mayor parte de las conexiones no comprendan más que un solo enlace por satélite, requiriéndose ocasionalmente dos enlaces en tándem;

c) que podrían utilizarse enlaces entre satélites en el servicio fijo por satélite;

d) que la variación que introduce el movimiento del satélite con relación a la Tierra en el tiempo de transmisión, reviste especial importancia en el caso de las redes plesiócronas y que pueden instalarse dispositivos para compensar dicha variación en las estaciones terrenas;

e) que en los enlaces digitales por satélite se están utilizando varias técnicas, como el acceso múltiple por distribución en el tiempo (AMDT), la interpolación digital de señales vocales (IDV) y la codificación a baja velocidad (LRE – «low rate encoding»);

f) que pueden transmitirse señales de un solo canal y señales digitales multiplexadas por división en el tiempo por enlaces digitales por satélite;

g) que un trayecto digital ficticio de referencia del servicio fijo por satélite puede formar parte de una conexión ficticia de referencia (XFR) de la red digital de servicios integrados (RDSI), según la define el CCITT,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que el trayecto digital ficticio de referencia para los sistemas del servicio fijo por satélite que utilizan la transmisión digital conste de un solo enlace Tierra-espacio-Tierra, en el que la porción espacial pueda contener uno o varios enlaces entre satélites;

2. Que este trayecto digital ficticio de referencia (TDFR) comprenda el equipo indicado en la fig. 1 y que esté interconectado con la red terrenal mediante un repartidor digital (RD) adecuado, a la velocidad más baja de transmisión de datos que resulte apropiada para ese TDFR.

3. Que la velocidad de bits en el interfaz con la red terrenal pueda tener cualquier valor, según la naturaleza de la aplicación.

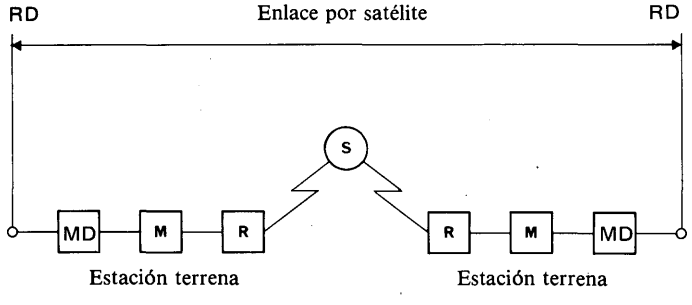


FIGURA 1 – *Trayecto digital ficticio de referencia*

S : Estación espacial del servicio fijo por satélite o estaciones espaciales de dicho servicio interconectadas por enlaces entre satélites

MD: Equipo múltiplex digital (comprendido el equipo AMDT, IDV y LRE, si procede)

M: Equipo de módem

R: Equipo de FI/RF

4. Que el equipo múltiplex digital comprenda los equipos AMDT, IDV y LRE, si se utilizan en la estación terrena y también todo el equipo necesario para compensar los efectos de la variación del tiempo de transmisión en los enlaces por satélite.

5. Que los enlaces entre las estaciones terrenas y los centros de conmutación digitales asociados a ellas se consideren parte de la red terrenal y no se incluyan en el trayecto digital ficticio de referencia.

6. Que para las estaciones terrenas con diversidad de emplazamientos, el trayecto digital ficticio de referencia comprenda también los enlaces terrenales y todo equipo asociado que sea necesario para la conexión entre las estaciones terrenas con diversidad y el punto de conmutación de diversidad.

Nota 1. – Esta Recomendación podría no aplicarse a los satélites que ofrecen tratamiento de la señal de banda de base en el satélite. Es preciso realizar nuevos estudios sobre esta cuestión.

Nota 2. – Si en una estación terrena se utilizan transmultiplexores, no se los considerará parte del TDFR definido en esta Recomendación.

RECOMENDACIÓN 522-2

VALORES ADMISIBLES DE LA PROPORCIÓN DE BITS ERRÓNEOS A LA SALIDA DEL TRAYECTO DIGITAL FICTICIO DE REFERENCIA EN LOS SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE QUE UTILIZAN LA MODULACIÓN POR IMPULSOS CODIFICADOS PARA TELEFONÍA

(Programa de Estudios 29A/4)

(1978-1982-1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que el trayecto digital ficticio de referencia ha de servir de guía a los proyectistas para el diseño y la construcción de los sistemas utilizados en la práctica;

b) que los costes de establecimiento y mantenimiento de los sistemas digitales de comunicaciones por satélite dependen muy estrechamente de la calidad global en materia de proporción de bits erróneos;

c) que la proporción de bits erróneos en el trayecto digital ficticio de referencia no debe ser tal que perturbe de modo apreciable la conversación en la mayoría de las comunicaciones telefónicas, ni la transmisión de la señalización telefónica;

d) que la proporción de bits erróneos puede variar con el tiempo a causa de las variaciones de las condiciones de propagación;

e) que, durante cortos periodos de tiempo, pueden producirse valores altos de proporciones de bits erróneos debido a otras fuentes de ruido, tales como la interferencia,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que la proporción de bits erróneos a la salida del trayecto digital ficticio de referencia, definido en la Recomendación 521, no exceda de los valores provisionales siguientes:

1.1 1×10^{-6}, valor medio durante 10 min, durante más del 20% de cualquier mes;

1.2 1×10^{-4}, valor medio durante 1 min, durante más del 0,3% de cualquier mes;

1.3 1×10^{-3}, valor medio durante 1 s, durante más del 0,05% de cualquier mes.

2. Que las notas que siguen se consideren parte integrante de la presente Recomendación:

Nota 1. – Generalmente, la calidad de funcionamiento de un sistema digital por satélite es mucho más sensible que en el caso de los sistemas analógicos a las variaciones de la calidad de funcionamiento en la parte radioeléctrica de la red. Por ello, para mantener la calidad de funcionamiento recomendada, es especialmente importante que los proyectistas prevean márgenes adecuados para las degradaciones que pueda sufrir el sistema con el tiempo.

Nota 2. – Los objetivos respecto a la proporción de bits erróneos indicados en el punto 1 precedente incluyen los efectos debidos al ruido de interferencia, al ruido resultante de la absorción atmosférica y a la lluvia, pero excluyen el tiempo de indisponibilidad debido al equipo (véase la Recomendación 579).

Nota 3. – Se supone que la única información de sincronización de trama que se transmitirá por el satélite será la indispensable para el correcto funcionamiento del sistema por satélite. Si la información de sincronización de trama en múltiplex MIC debiera transferirse sin modificaciones a través del enlace por satélite, sería necesario tomar nota del posible efecto de las proporciones de bits erróneos más elevadas de los puntos 1.2 y 1.3 sobre el dispositivo de alarma de los sistemas terrenales.

Nota 4. – Los objetivos respecto a la proporción de bits erróneos indicados en el punto 1 precedente se aplican únicamente a las transmisiones de telefonía MIC (véase la Recomendación G.711 del CCITT). La Comisión de Estudio 4 del CCIR habrá de realizar nuevos estudios sobre los objetivos de calidad de funcionamiento adecuados a la transmisión de otros servicios digitales.

Nota 5. – Los sistemas del servicio fijo por satélite que operan por debajo de 10 GHz no estarán, por lo general, limitados por el objetivo a corto plazo de una proporción de bits erróneos de 1×10^{-3}, y los diseñadores de sistemas deben suponer que este objetivo a corto plazo está en función del tiempo total.

Nota 6. – Para los sistemas que operan por encima de 10 GHz, los objetivos de calidad de funcionamiento especificados en el punto 1 de la parte dispositiva se aplicarán durante el tiempo disponible. En el caso de dichos sistemas, los efectos de la atenuación debida a la lluvia para pequeños porcentajes de tiempo podrían degradar el sistema hasta una proporción de bits erróneos inferior a 1×10^{-3}. Para tales porcentajes de tiempo, se debería considerar el circuito como indispensable, de conformidad con la definición de indisponibilidad de la Recomendación 579, o sea, que los periodos de alta proporción de bits erróneos que persisten durante 10 s consecutivos o más, se consideren indisponibles. Las interrupciones cortas (inferiores a 10 s) se tratarán como tiempo disponible, y equivalen al caso en que la proporción de bits erróneos de un enlace excede de 1×10^{-3}. En consecuencia, el objetivo global de diseño para el criterio de 1×10^{-3} (tiempo total) comprendería los periodos estipulados en el punto 1.3 de la parte dispositiva, más el tiempo indisponible de la Recomendación 579 (punto 3.1 de la parte dispositiva).

Nota 7. – En el punto 1.3 de la parte dispositiva, la proporción de bits erróneos de 1×10^{-3} se especifica durante un periodo de cualquier mes, que se supone corresponde a un periodo de cualquier año* mediante un factor de conversión de 5, o sea que el 0,05% de cualquier mes correspondería al 0,01% de cualquier año*. Este factor de conversión se examina con más detalle en el anexo II al Informe 997.

Nota 8. – Puede ser necesario elaborar disposiciones especiales con respecto a la calidad de los enlaces entre satélites. El alcance de tales disposiciones requiere ulteriores estudios.

Nota 9. – La calidad de funcionamiento recomendada que ha de cumplirse en «cualquier mes», debe basarse en los datos de propagación correspondientes al valor mediano durante el «mes más desfavorable del año» obtenido mediante estadísticas mensuales que abarcan un periodo de al menos cuatro años para los que se dispone de datos fiables.

RECOMENDACIÓN 614

OBJETIVOS DE CARACTERÍSTICAS DE ERROR PARA UN TRAYECTO DIGITAL FICTICIO DE REFERENCIA DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE QUE FUNCIONA POR DEBAJO DE 15 GHZ, CUANDO FORMA PARTE DE UNA CONEXIÓN INTERNACIONAL EN UNA RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS

(Programa de Estudios 29A/4)

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que el CCITT ha definido el concepto de red digital de servicios integrados (RDSI);

b) que los satélites en explotación en el servicio fijo por satélite tendrán un papel importante que desempeñar en la ampliación del concepto de RDSI a conexiones internacionales;

c) que unas características de error satisfactorias constituyen un rasgo esencial de cualquier sistema de transmisión digital;

d) que el CCITT en su Recomendación G.821 especifica las características de error a 64 kbit/s de una conexión digital internacional que forme parte de una RDSI;

e) que los costes de instalación y mantenimiento de sistemas de comunicaciones digitales por satélite dependen de manera decisiva de las características globales de error;

f) que al definir criterios para las características de error es necesario tener en cuenta todos los mecanismos previsibles que produzcan errores, especialmente las condiciones de propagación variables con el tiempo y las interferencias,

---

* En relación con el término «cualquier año» véase la nota 11 de la Recomendación 353.

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que la proporción de bits erróneos (BER – «bit error ratio») (véase la nota 2) a la salida de un trayecto digital ficticio de referencia (TDFR) de satélite que funcione por debajo de 15 GHz y forme parte de una conexión a 64 kbit/s de la RDSI, no exceda de los valores provisionales siguientes durante el tiempo disponible:

1.1 1×10^{-7} durante más del 10% de cualquier mes,

1.2 1×10^{-6} durante más del 2% de cualquier mes,

1.3 1×10^{-3} durante más del 0,03% de cualquier mes (véase la nota 4).

2. Las siguientes notas forman parte de la presente Recomendación:

Nota 1. – El punto 1 de la parte dispositiva se estableció utilizando el método descrito en el Informe 997, y resulta suficiente para satisfacer los objetivos de calidad exigidos del TDFR del servicio fijo por satélite, que aparecen en la Recomendación G.821 del CCITT (VIII Asamblea Plenaria del CCITT). Las atribuciones del CCITT para un TDFR del SFS que se consideran aplicables al tiempo de disponibilidad sobre un periodo del orden de cualquier mes, se pueden enunciar así:

- menos del 2% de los intervalos de un minuto tendrán una proporción de bits erróneos peor que 1×10^{-6},
- menos del 0,03% de los intervalos de un segundo tendrán una proporción de bits erróneos peor que 1×10^{-3},
- menos del 1,6% de los intervalos de un segundo tendrán errores.

Nota 2. – Las proporciones de bits erróneos del punto 1 de la parte dispositiva se miden durante un periodo de tiempo lo suficientemente largo a fin de conseguir una buena estimación de la probabilidad de bits erróneos (véase el Informe 997). Un periodo de medición exacto puede variar según la situación, y hace falta proseguir los estudios sobre un periodo de medición específico que convenga para todas las situaciones.

Nota 3. – Las proporciones de bits erróneos especificadas en esta Recomendación están basadas en la hipótesis de que los segundos con muchos errores pueden producirse mediante dos mecanismos distintos: los errores que se producen de forma aleatoria y los que se producen en ráfagas. Durante la mayor parte del tiempo, los errores son aleatorios y están limitados por los puntos 1.1 y 1.2 de la parte dispositiva. Se excluyen los segundos con muchos errores de las mediciones de errores aleatorios realizadas a efectos de verificación en los puntos 1.1 y 1.2 de la parte dispositiva, pero se incluyen en el punto 1.3 de la parte dispositiva (véase el Informe 997).

Nota 4. – El valor de 0,03% de cualquier mes está referido a la BER medida durante el tiempo disponible. Este objetivo se satisface diseñando el sistema de satélite para un objetivo de indisponibilidad del 0,2% del mes más desfavorable (tiempo total). Aplicando un factor de disponibilidad del 10% (relación entre tiempo disponible y tiempo total con una BER peor que 1×10^{-3}), esto correspondería al 0,02% del tiempo disponible en cualquier mes. Además, es necesario incluir un margen del 0,01% del mes más desfavorable para acomodar las contribuciones a los segundos con muchos errores cuando la BER es mejor que 1×10^{-3}. La suma de estos dos márgenes producirá un objetivo de calidad de funcionamiento total del 0,03% del tiempo disponible del mes más desfavorable.

Nota 5. – El trayecto digital ficticio de referencia (TDFR) al que se refiere esta Recomendación se describe en la Recomendación 521 del CCIR.

Nota 6. – Puede ser necesario elaborar disposiciones especiales con respecto a la calidad de los enlaces entre satélites. El alcance de tales disposiciones requiere ulteriores estudios.

Nota 7. – Esta Recomendación se aplica solamente cuando el sistema se considera disponible de conformidad con la Recomendación 579 e incluye periodos con una alta proporción de bits erróneos, superior a 1×10^{-3} y que persiste por periodos inferiores a 10 segundos consecutivos. Las interrupciones breves (menos de 10 s) se considerarán equivalentes al caso en que la proporción de bits erróneos es superior a 1×10^{-3}.

Nota 8. – Los objetivos de características de error dados en la presente Recomendación están destinados a satisfacer la calidad entre extremos especificada para una conexión RDSI con conmutación de circuitos a 64 kbit/s, con independencia del servicio soportado por esta conexión. En la Recomendación 522 se dan los objetivos de calidad de funcionamiento para sistemas por satélite que utilizan telefonía codificada MIC en una conexión que no pertenezca a una RDSI. Los objetivos de calidad para sistemas por satélite que utilicen cualquier otro tipo de conexión digital serán objeto de ulterior estudio cuando los requisitos de dichas conexiones sean dadas a conocer al CCIR.

Nota 9. – Es conveniente que se planifiquen los sistemas basándose en datos de propagación que cubran un periodo de tiempo de por lo menos cuatro años. La calidad de funcionamiento recomendada que ha de cumplirse en «cualquier mes» debe basarse en los datos de propagación que corresponden al valor mediano del «mes más desfavorable del año» tomado de las estadísticas mensuales de todos los años para los que se dispone de datos fiables.

INFORME 997

CARACTERÍSTICAS DE UN TRAYECTO DIGITAL FICTICIO DE REFERENCIA DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE QUE FORME PARTE DE UNA RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS

(Programa de Estudios 29A/4)

(1986)

1. Introducción

La función tradicional del servicio fijo por satélite (SFS) en la red internacional de telecomunicaciones ha sido proporcionar una facilidad de transmisión internacional de alta calidad y fiable entre administraciones. Se considera que el trayecto digital ficticio de referencia (TDFR) internacional del SFS cumplirá una función similar dentro de la red digital de servicios integrados (RDSI).

En este Informe se examinan los objetivos de calidad de funcionamiento que tendrá que cumplir un TDFR del SFS cuando forme parte de una conexión ficticia de referencia (XFR) en una RDSI. En la Recomendación G.821 del CCITT se define la XFR de la RDSI para una conexión con conmutación de circuitos a 64 kbit/s (Libro Rojo del CCITT, Tomo III.3, 1984) que utiliza tres categorías de circuitos para definir la calidad de funcionamiento: calidad local, calidad media y calidad elevada. Los circuitos internacionales por satélite se consideran parte de la sección que tiene un grado de calidad elevada de funcionamiento.

La asignación proporcional de los objetivos globales de la calidad de funcionamiento de la XFR de la RDSI al SFS y la repercusión de esta asignación sobre el diseño de los sistemas del SFS se presentan en los puntos siguientes de este Informe.

2. Atribuciones de calidad de funcionamiento al trayecto digital ficticio de referencia del SFS

2.1 *Atribución de la Recomendación G.821 del CCITT*

En la Recomendación G.821 del CCITT, la XFR de la RDSI abarca una longitud total de 27 500 km, asignándose el 30%, 30% y el 40% de la degradación de la calidad de funcionamiento respectivamente a las tres categorías de circuitos, calidad local, calidad media y calidad elevada.

En la fig. 1 se ilustra la XFR más larga, indicada en la Recomendación G.821 del CCITT y se incluye un solo enlace de satélite. En esta XFR, las asignaciones a la sección local y de calidad media se dividen entre los dos extremos de la conexión (1250 km), mientras que se considera que la porción de alta calidad abarca 25 000 km.

Al asignar la degradación de calidad de funcionamiento a un TDFR del SFS, el CCITT consideró la atribución que habría que dar a la red local, a los sistemas de relevadores radioeléctricos terrenales y a los sistemas de cable y de satélite, etc., cada uno de los cuales forma parte de la XFR y tiene ciertas limitaciones.

Como resultado de este estudio, el CCITT, teniendo en cuenta los requisitos específicos de los diversos sistemas y los requisitos de la XFR en su conjunto, determinó que la atribución de un TDFR del SFS debería ser de 20% (equivalente a 12 500 km).

El CCITT ha reconocido que la XFR de 27 500 km es una conexión muy larga y que las conexiones internacionales reales son, en general, más cortas (véase la Recomendación G.104). Sin embargo, también se ha anticipado que en ciertos casos algunas conexiones podrían ser más largas y podrían rebasarse los márgenes de la XFR.

2.2 *Estudio del CCIR relativo a los trayectos digitales ficticios de referencia por satélite*

A fin de proporcionar una orientación al CCITT para determinar la atribución de calidad de funcionamiento para un TDFR por satélite, el CCIR estudió los requisitos de calidad de funcionamiento par varias conexiones, que abarcan una diversidad de configuraciones de red.

En estos estudios se ha observado que la calidad de funcionamiento del satélite es, en general, independiente de la distancia, con un solo salto máximo que cubre una distancia terrenal equivalente de 16 000 km aproximadamente. En consecuencia, en la gran mayoría de los casos, cuando hay un satélite en la sección internacional de la conexión, el salto por satélite forma la totalidad de la sección internacional, con los dos extremos del enlace por satélite situados en el interior de los países que están conectados, y suelen estar a menos de 1000 km de los usuarios extremos. Cuando se emplean satélites en la sección nacional de una conexión, parece razonable prever que las prolongaciones terrenales desde las estaciones terrenas hasta el usuario extremo serán aún más cortas. En varios sistemas existentes o proyectados, en particular en servicios comerciales, los terminales terrenos estarían en muchos casos situados en los locales de los usuarios extremos, eliminando así virtualmente las prolongaciones terrenales.

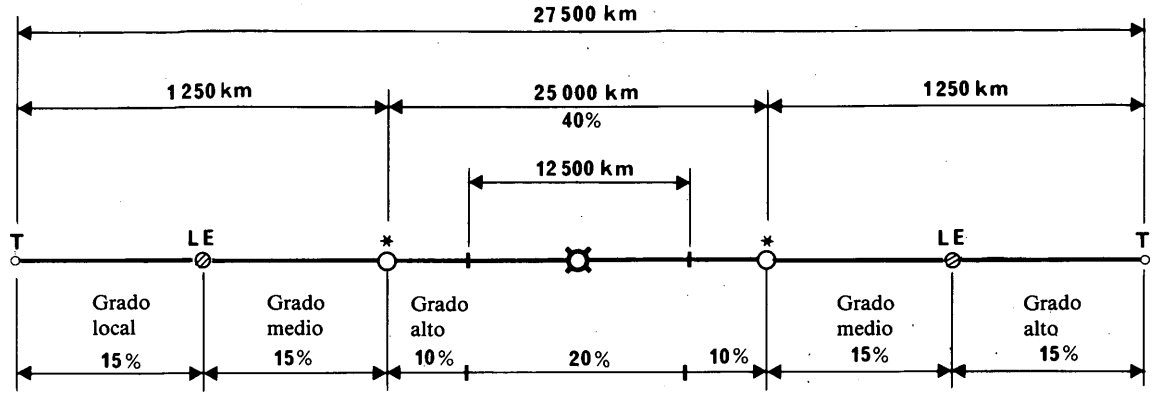


FIGURA 1 – *Conexión ficticia de referencia de la RDSI basada en la Recomendación G.821 del CCITT*

T : Punto de referencia
LE : Central urbana

* No es posible ofrecer una definición de la ubicación de la frontera entre las partes de grado medio y alto de la conexión ficticia de referencia. Véase la Recomendación G.821 que ofrece más aclaraciones de este punto.

Se examinaron varias configuraciones diferentes de XFR que incorporaban estas posibilidades, y se determinó que parecía razonable considerar valores de hasta 40% de la degradación total de la calidad para la degradación del TDFR por satélite. Si bien el método basado en una distribución relacionada con la distancia no parece ser apropiado, se estableció, tras el examen de diversos casos tanto hipotéticos como reales, que se podría postular una distancia para la sección por satélite, lo que ha dado como resultado la formulación del concepto de una «distancia equivalente de satélite» (DES) que se asignaría al TDFR por satélite. Esta es una distancia ficticia y su valor se determinaría a partir del estudio de una variedad de situaciones reales, así como de diversas XFR. Dicho estudio arrojó como resultado, 10 000 km para la DES en un caso (una DES ponderada en función del tráfico), y 13 000 km en otro (incluidos los extremos nacionales, y en base al examen de 98% del tráfico internacional en la hora cargada). Estos valores no son incompatibles con la cifra de 12 500 km (o sea, 50% de 25 000 km) utilizada por el CCITT en la Recomendación G.821.

También se desarrollaron modelos para conexiones con dos saltos por satélite, pero se reconoció que esta configuración sólo podría utilizarse en casos excepcionales, por ejemplo cuando no se dispone de otra forma viable de comunicación.

Debe señalarse que las conexiones con dos saltos por satélite pueden plantear problemas con la transmisión telefónica y con la sincronización de equipos digitales, debido al tiempo de propagación o a la variación del retardo, respectivamente.

Se ha señalado que siguen en estudio las cuestiones del número de enlaces por satélite* que pueden incluirse en una XFR y se ha reconocido que pudieran obtenerse diferentes resultados para diferentes servicios. Las distancias establecidas más arriba no implican un límite al número de enlaces por satélite que pueden admitirse sino que se basan en modelos prácticos que, normalmente, cabría encontrar. En muchos sistemas de dos saltos, es posible que una de las conexiones por satélite sea un sistema nacional.

Se considera que el estudio de los TDFR por satélite sigue teniendo importancia debido a la rápida evolución del diseño y la aplicación de redes de satélite. Las tendencias actuales en materia de diseño de la red favorecen la utilización de pequeñas antenas de estación terrena. Un ejemplo de ello son las redes comerciales por satélite, que pueden interconectarse con la RDSI o estar integradas a ella. Es posible distribuir más ampliamente estas estaciones terrenas más baratas, y situarlas más cerca de los usuarios finales o de las facilidades de conmutación que existen con frecuencia en las estaciones terrenas que son centrales cabeza de línea nacionales, lo que se traduce en enlaces de conexión terrenales mucho más cortos. Quizá la aplicabilidad de la XFR a estas situaciones precise ulteriores estudios.

* El asunto de los enlaces satélite-satélite (o enlaces entre satélites (EES)) no se trata en este Informe. Se prevé que esos enlaces acabarán adquiriendo importancia, por lo que habrá que incluirlos en la XFR. Sin embargo, sólo se consideran las configuraciones más inmediatas.

3. Requisitos de calidad de funcionamiento del TDFR del SFS

3.1 *Objetivos de características de error en sistemas de satélite*

La calidad de funcionamiento de sistemas de satélite se da generalmente en forma de probabilidad de bits erróneos, mientras el método de especificación de calidad empleado en la Recomendación G.821 del CCITT consiste en identificar intervalos de tiempo que han de tener una proporción de errores especificada para ciertos porcentajes. Estos porcentajes se toman durante un periodo más largo, del orden de un mes aproximadamente. En esta parte se presenta el método utilizado para convertir la especificación del CCITT a la forma de objetivos de calidad de funcionamiento utilizados en los sistemas de satélite y se indican los requisitos de calidad de un TDFR por satélite resultantes de la aplicación de este método a los valores citados en la Recomendación G.821.

En este Informe se ha hecho una distinción cuidadosa entre la probabilidad de bits erróneos (PBE) y la proporción de bits erróneos (BER). La PBE, que se utiliza ampliamente en los puntos siguientes, es una magnitud abstracta que expresa la calidad de funcionamiento teórica de los equipos de comunicación de datos. La BER es una magnitud que se puede medir fácilmente (es decir, los bits erróneos sobre los bits transmitidos); si se efectúa un número suficiente de mediciones, cada una de ellas con una duración suficiente, se puede calcular la probabilidad de bits erróneos con la precisión deseada.

3.2 *Requisitos de la Recomendación G.821 del CCITT*

En el cuadro I se resumen los objetivos de calidad de extremo a extremo dados en la Recomendación G.821 y los objetivos del TDFR por satélite. Para cada clasificación de calidad se da el requisito global de extremo a extremo, junto con el requisito de un TDFR por satélite que supone una asignación de 20% (clasificaciones de las características (a) y (c)) o del 15% (clasificación de la característica (b)) de la degradación global admitida.

CUADRO I – *Objetivos globales de calidad de funcionamiento del TDFR de extremo a extremo y por satélite en el caso de conexiones internacionales de la RDSI*

Clasificación de la característica	Objetivo global de extremo a extremo (nota 4)	Objetivos del TDFR por satélite (nota 4)
(a) (Minutos degradados) (notas 1, 2)	Menos del 10% de los intervalos de 1 min tendrán una proporción de bits erróneos peor que 1×10^{-6} (nota 3)	Menos del 2% de los intervalos de 1 min tendrán una proporción de bits erróneos peor que 1×10^{-6} (nota 4)
(b) (Segundos con muchos errores) (nota 1)	Menos del 0,2% de los intervalos de 1 s tendrán una proporción de bits erróneos peor que 1×10^{-3}	Menos del 0,03% de los intervalos de 1 s tendrán una proporción de bits erróneos peor que 1×10^{-3}
(c) (Segundos con errores) (nota 1)	Menos del 8% de los intervalos de 1 s tendrán por lo menos un error (equivalente a 92% de segundos sin errores)	Menos de 1,6% de los intervalos de 1 s tendrán por lo menos un error (equivalente a 98,4% de segundos sin errores)

Nota 1. – Se utilizan los términos «minutos degradados», «segundos con muchos errores» y «segundos con errores» a título de «identificador» práctico y conciso de este objetivo de calidad. El empleo de ellos no prejuzga en uno u otro sentido la aceptabilidad de tal nivel de calidad.

Nota 2. – Los intervalos de 1 min mencionados anteriormente se deducen restando el tiempo indisponible y los segundos con muchos errores del tiempo total y agrupando entonces consecutivamente los segundos restantes en bloques de 60.

Nota 3. – Por razones prácticas, a 64 kbit/s, un minuto que contenga 4 errores (lo que equivale a una proporción de errores de $1{,}04 \times 10^{-6}$) no se considera degradado. Pero esto no implica una mitigación del objetivo de proporción de errores de 1×10^{-6}.

Nota 4. – Los objetivos globales del TDFR de extremo a extremo y por satélite se expresan en términos de tiempo disponible (véase el punto 3.5).

3.3 *Modelos de probabilidad de bits erróneos (PBE) requeridos para ajustarse a la Recomendación G.821 del CCITT*

En el anexo I se describe el método para analizar, en función de los parámetros indicados en el cuadro I, la PBE dada con respecto a la distribución en porcentaje de tiempo. Mediante este procedimiento se han podido obtener varias distribuciones, o modelos, basados en las características generales de sistemas de satélites, que satisfacen o exceden los objetivos indicados en la Recomendación G.821.

Se resume aquí uno de los modelos estudiados en el anexo I. Este modelo concilia los requisitos de los sistemas con propagación limitada y los de los sistemas con interferencia limitada, y puede corresponder a los sistemas de satélite de alta capacidad y tecnología moderna.

Los requisitos en cuanto a la probabilidad de bits erróneos de este modelo son los siguientes:

- PBE = 1×10^{-7} durante el 90% del mes más desfavorable
- PBE = 1×10^{-6} durante el 98% del mes más desfavorable.

Este modelo figura en el anexo I como modelo d).

La calidad de funcionamiento del modelo se resume en el cuadro II, en función de los minutos degradados, los segundos con error y los segundos con muchos errores. La calidad de funcionamiento se enumera en función del tiempo total y del tiempo disponible, para mostrar la relación existente entre los cálculos de diseño del sistema y los objetivos de la Recomendación G.821.

En estos modelos se utilizó un punto crítico a corto plazo* (o sea PBE = 1×10^{-3}) de 0,2% del mes (tiempo total), con un factor de disponibilidad debida a la propagación de 10% (véanse el anexo I y el punto 3.5).

CUADRO II

Objetivo	Calidad	
	Tiempo total (%)	Tiempo disponible (%)
Minutos degradados	2,06	1,88
Segundos con error	1,75	1,57
Segundos con muchos errores	0,207	0,027

3.4 *Consideraciones sobre la transmisión por satélite*

La calidad de funcionamiento de un enlace de transmisión digital por satélite depende de varios factores. Uno muy importante es el efecto de las perturbaciones de la transmisión debidas a la propagación. Utilizando métodos elaborados por la Comisión de Estudio 5 del CCIR, pueden predecirse los efectos de las perturbaciones de la calidad de transmisión digital debida a la propagación.

El anexo II recoge los resultados de cálculos que comparan la calidad de tres sistemas digitales internacionales por satélite distintos. Esos cálculos se incluyen para dar una idea de los efectos de la propagación sobre la PBE a corto plazo en función del tiempo. Examinando las figs. 4 y 5 puede compararse la calidad de los tres sistemas del ejemplo con los modelos de BER sugeridos.

Conviene señalar que la calidad de funcionamiento de un canal de transmisión digital por satélite puede concebirse de manera que satisfaga virtualmente todas las especificaciones de calidad. Sin embargo, el empleo de la corrección de errores sin canal de retorno, el control de potencia y la diversidad de emplazamientos puede mejorar notablemente la calidad del sistema, pero tiene los inconvenientes de la disminución de capacidad y/o el mayor costo. En consecuencia, el empleo de estas técnicas exige una justificación adecuada.

La Comisión de Estudio 4 estima que es preciso realizar nuevos estudios sobre los efectos que tienen las perturbaciones debidas a la propagación en la calidad de los canales digitales por satélite, y acogerá con satisfacción toda nueva información sobre este tema.

3.5 *Disponibilidad y calidad de funcionamiento en términos de segundos con muchos errores*

En el cálculo de los modelos de calidad que se describen en el anexo II, y cuyo fin es satisfacer las disposiciones de la Recomendación G.821 del CCITT, fue necesario considerar el porcentaje de tiempo durante el cual se considera disponible el enlace. La definición generalmente aceptada de tiempo de indisponibilidad es la siguiente:

El tiempo de indisponibilidad comienza cuando la BER en cada segundo es peor que 1×10^{-3} durante un periodo de 10 segundos consecutivos. Se considera que estos 10 s son tiempo de indisponibilidad. El periodo de indisponibilidad termina cuando la BER en cada segundo es mejor que 1×10^{-3} durante un periodo de 10 segundos consecutivos. Se considera que estos 10 s son tiempo de disponibilidad y contribuyen al objetivo de calidad en términos de segundos con muchos errores. Una BER excesiva es sólo uno de los factores que contribuyen al tiempo de indisponibilidad total. La definición correspondiente a la disponibilidad puede verse en la Recomendación G.106 del CCITT.

El concepto de disponibilidad debe tomarse en cuenta en el diseño de los enlaces de transmisión por satélite que experimentan periodos ocasionales de atenuación en el curso de precipitaciones que exceden de los márgenes del sistema. Ello es especialmente cierto en las frecuencias superiores a 10 GHz y los estudios de la propagación del Informe 706 del CCIR ilustran este hecho.

---

* En este Informe, el término «a corto plazo» designa el periodo de tiempo en que la parte de satélite de la conexión experimenta gran degradación de la calidad (calidad de funcionamiento en cuanto a errores $> 1 \times 10^{-3}$). El término «a largo plazo» designa el periodo de tiempo en que la parte de satélite de la conexión no experimenta degradación de calidad (calidad de funcionamiento en cuanto a errores $\leq 1{,}0 \times 10^{-6}$).

La mayor parte de las estadísticas de la atenuación comprenden partes significativas del tiempo de indisponibilidad y, en consecuencia, no son apropiadas para utilizarlas en la determinación de los márgenes que satisfagan la especificación de segundos con muchos errores de la Recomendación G.821. Más estadísticas adecuadas, serían las correspondientes a la atenuación de la propagación que no da lugar a tiempo indisponible.

En el Informe 706 figura un resumen de mediciones de propagación que muestra los casos de atenuación de propagación que no dan como resultado un tiempo de indisponibilidad. La conclusión del Informe muestra que, con referencia al tiempo total, cuando aparecen niveles de atenuación que pueden causar una BER peor que 1×10^{-3}, tan sólo un 10% del tiempo está compuesto de periodos que se definirían como «tiempo de disponibilidad» según los criterios del CCITT. El resto sería tiempo de indisponibilidad.

Un factor de disponibilidad de 10% conduce a un punto crítico a corto plazo, para los modelos de calidad, de aproximadamente 0,2% del mes (tiempo total). En el modelo de que se trata, un valor mucho más bajo de factor de disponibilidad debida a la propagación, o sea 1 a 2%, sólo entrañaría un aumento marginal del punto crítico a corto plazo. Pueden aparecer factores mayores de disponibilidad porcentual (típicamente para una atenuación de 2 a 3 dB). No obstante, en este caso, la cantidad de sucesos (y, en consecuencia, el tiempo de indisponibilidad) es generalmente pequeña.

En la Recomendación 579 del CCIR figuran los objetivos de indisponibilidad de un TDFR por satélite debidos al equipo y a la propagación. Se asigna un valor provisional del 0,2%, de un año al objetivo de indisponibilidad debida al equipo, y se propone un valor de 0,2% del mes más desfavorable para la indisponibilidad debida a la propagación para un TDFR.

El Informe 706 ofrece información sobre las características de disponibilidad que indican que para «factores de disponibilidad» bajos, y diversos emplazamientos y zonas hidrometeorológicas, el porcentaje de tiempo de indisponibilidad puede ser superior a 0,2% del mes, para niveles significativos de atenuación. En cualquier caso, el margen total de tiempo de indisponibilidad debida a la propagación no debe ser inferior al objetivo del modelo a corto plazo necesario para satisfacer la Recomendación G.821 del CCITT, o sea, 0,2% del mes. En consecuencia, se recomienda la adopción de ese valor en la Recomendación 579 para las frecuencias inferiores a 15 GHz.

Por último, en lo que se refiere a la disponibilidad de un sistema de transmisión (empleando, por ejemplo, técnicas AMDT), cabe señalar que la disponibilidad del sistema puede ser diferente de la disponibilidad debida a la propagación, debido a la pérdida de sincronismo que puede producirse cuando el nivel de la portadora cae por debajo del umbral de sincronización del sistema de transmisión (típicamente 1×10^{-2}) durante varios segundos. Dado que, en general, su recuperación requiere varios periodos de propagación de ida y retorno en el sistema AMDT, la sincronización no puede seguir siempre el restablecimiento momentáneo del nivel de la portadora. Por ello, puede haber periodos en que la portadora se eleve a un nivel que corresponda a una BER mejor que 1×10^{-3}, pero debido al retardo de sincronización, el circuito puede tener una BER medida peor que 1×10^{-3}. Estos periodos pueden contribuir al tiempo de indisponibilidad, y no al tiempo de disponibilidad.

Es necesario continuar los estudios sobre la propagación para confirmar un valor porcentual que sea representativo para diferentes bandas de frecuencias, ángulos de elevación y zonas hidrometeorológicas.

4. Otros mecanismos que causan errores

Aunque las principales contribuciones a los errores en los sistemas digitales de satélite se deberán a los efectos de la propagación y la interferencia, existen otros mecanismos de error. Se facilita aquí cierta información sobre la frecuencia y la duración de tales errores, con el objetivo concreto de señalarlos al proyectista de sistemas de satélite. De hecho, en el curso del diseño de un enlace digital puede atribuirse a estos mecanismos un porcentaje de los objetivos globales de calidad. Sin embargo, se supone que estos errores no harán que el enlace de satélite sea considerado indisponible, esto es los que tengan una duración de 10 s o menos. En el Informe 706 se proporciona información adicional sobre los mecanismos que causan indisponibilidad.

Se han determinado los siguientes mecanismos que pueden producir ráfagas de errores:

- conmutación del trayecto de señalización en el equipo FI y RF de una estación terrena;
- conmutación del trayecto de señalización en el equipo de banda de base de una estación terrena;
- estados transitorios de la alimentación de energía en las estaciones terrenas;
- conmutación del trayecto de señalización en el satélite.

En el anexo III se ofrecen estimaciones de la frecuencia y la duración de las ráfagas de errores ocasionadas por estos mecanismos. Los resultados típicos se resumen en el cuadro III.

CUADRO III – *Ejemplos típicos de mecanismos que producen ráfagas de errores*

Efecto	Frecuencia	Duración
Conmutación FI/RF	1,0/mes	150 ms
Conmutación espúria	2,0/mes	150 ms
Conmutación de banda de base	1,2/mes	2-128 bits

El cuadro III permite formular las siguientes deducciones:

- Si se considera el efecto sobre una conexión a 64 kbit/s durante un periodo de integración de 1 min, se puede concluir que todos los efectos del cuadro III hacen que se divida el objetivo de 1×10^{-6} por minuto, lo que significa que debe asignarse a tales efectos una parte del tiempo durante el cual puede excederse el valor de 10^{-6}.
- El número total de eventos en el cuadro III es de 4,2 por mes, o sea que, por término medio, se degradará el 0,0097% de los periodos de 1 min.
- Cada evento del cuadro III dura menos de 1 s, o sea que, por término medio, sólo 4,2 s/mes, es decir, el 0,0002%, contendrá errores a causa de estos efectos.

5. Interferencia y limitaciones relativas a la compartición

En las Recomendaciones 353 y 522 figura el ruido admisible en un CFR para telefonía que utiliza MDF-MF y la proporción de bits erróneos admisible para un trayecto digital ficticio de referencia del servicio fijo por satélite para telefonía MIC, respectivamente, y cada Recomendación tiene una Recomendación asociada que trata los márgenes de interferencia para la compartición con otras redes del servicio fijo por satélite o sistemas de relevadores radioeléctricos terrenales (Recomendaciones 466, 523 y 558 respectivamente).

Al formular una nueva Recomendación sobre objetivos de calidad de funcionamiento que se ajusten a la Recomendación G.821 del CCITT, el proyectista del sistema debe incluir en el balance del enlace un margen para la interferencia. En el examen realizado hasta la fecha del problema de determinar el nivel admisible de interferencia recibido del servicio fijo por satélite y de los servicios terrenales, se ha supuesto que los sistemas interferentes se acomodarán con arreglo a las Recomendaciones 523 y 558.

Dada la mejor calidad de funcionamiento exigida a las conexiones por satélite de la RDSI (con relación a la Recomendación 522), la interferencia a este nivel puede representar un porcentaje superior de ruido total que el previsto para los circuitos de satélite diseñados para que cumplan la Recomendación 522.

Es probable que el valor real varíe según la técnica utilizada para mejorar la calidad de funcionamiento (por ejemplo, mayor p.i.r.e. por portadora, corrección de errores en recepción (FEC)), pero un estudio ha revelado que el nivel de interferencia causado por los sistemas de relevadores radioeléctricos y del servicio fijo por satélite constituirá un 34% del ruido total a la entrada del demodulador, para sistemas que formen parte de la RDSI.

Se prevé otra dificultad más con los efectos de la interferencia, por estimarse que muchos sistemas se verán limitados por la calidad de funcionamiento en términos de segundos con muchos errores, en cuyo caso los requisitos de las Recomendaciones 523 y 558 pueden reducir excesivamente los márgenes para el desvanecimiento.

Se considera que es necesario un estudio urgente y amplio del efecto de la interferencia sobre las conexiones por satélite de la RDSI. Puede ser necesario elaborar en el siguiente periodo de estudios nuevas Recomendaciones relativas a la interferencia causada a circuitos por satélite de la RDSI.

6. Conclusiones

En este Informe se ha tratado de dar alguna idea de los requisitos de la XFR de una RDSI que se especifican en la Recomendación G.821 del CCITT, y se presenta al proyectista de sistemas de satélite la información básica necesaria. Deben realizarse más estudios para confirmar los efectos de la propagación sobre la calidad de funcionamiento a corto plazo y las hipótesis de disponibilidad utilizadas en este Informe, especialmente en las bandas de frecuencias más altas (superiores a 15 GHz) y para diversos ángulos de elevación y distintas zonas hidrometeorológicas.

Además, deben seguir estudiándose los criterios de interferencia y compartición para los sistemas de la RDSI.

ANEXO I

CÁLCULOS Y MODELOS DE LA CALIDAD DE UN ENLACE EN TÉRMINOS DE ERRORES

1. Introducción

En este anexo se describe el método para estimar la calidad de un enlace, expresada en PBE con distribución en porcentajes de tiempo, sobre la base de los parámetros del cuadro I del punto 3.2 del presente Informe. En el punto 2 infra, se describe el procedimiento para determinar la calidad y en el punto 3 se indica cierto número de modelos de PBE en función de porcentajes de tiempo, que se ajustan a la Recomendación G.821 del CCITT basada en las características generales de sistemas «reales».

2. Método de cálculo

Una primera suposición importante es que la calidad del enlace del sistema de satélite está limitada por mecanismos que son fundamentalmente de carácter aleatorio. Ello permite utilizar un método de Poisson o binómico para calcular la probabilidad de que aparezca un determinado número de errores en un intervalo de tiempo dado con una determinada PBE. Las curvas de probabilidad resultantes de aplicar este análisis de Poisson aparecen en las figs. 2 y 3.

Las curvas de las figs. 2 y 3 pueden aplicarse a un enlace por satélite suponiendo una PBE constante. Sin embargo, en la realidad ese tipo de enlace presentará en general una PBE variable con el tiempo, debido sobre todo a las cambiantes condiciones de propagación (véase el anexo II).

Con objeto de evaluar la calidad del enlace, es necesario, en primer lugar, establecer un modelo de éste que exprese la PBE en función de la distribución en porcentajes de tiempo. En la Recomendación G.821, se sugiere un periodo de cualquier mes. El método de cálculo lleva, pues, a determinar, para cada pequeño elemento de porcentaje de tiempo de un mes (suponiendo una PBE constante para el elemento), la probabilidad de obtener el parámetro de calidad considerado. Los estudios efectuados han demostrado que las curvas de las figs. 2 y 3, que definen la probabilidad de obtener el parámetro de calidad considerado son casi idénticas a las curvas de probabilidad expresadas en porcentaje de tiempo en un mes (con un factor de confianza del 99,9%). Por consiguiente, se han utilizado las curvas anteriores en los cálculos subsiguientes.

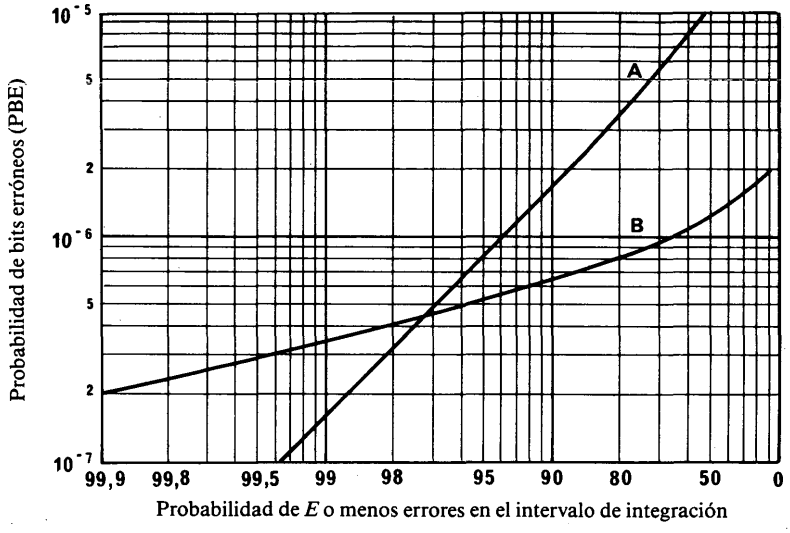


FIGURA 2

Curvas A: Probabilidad de segundos sin errores, es decir (1 – probabilidad de segundos con error)
B: Probabilidad de minutos con 4 o menos errores, es decir (1 – probabilidad de minutos degradados)

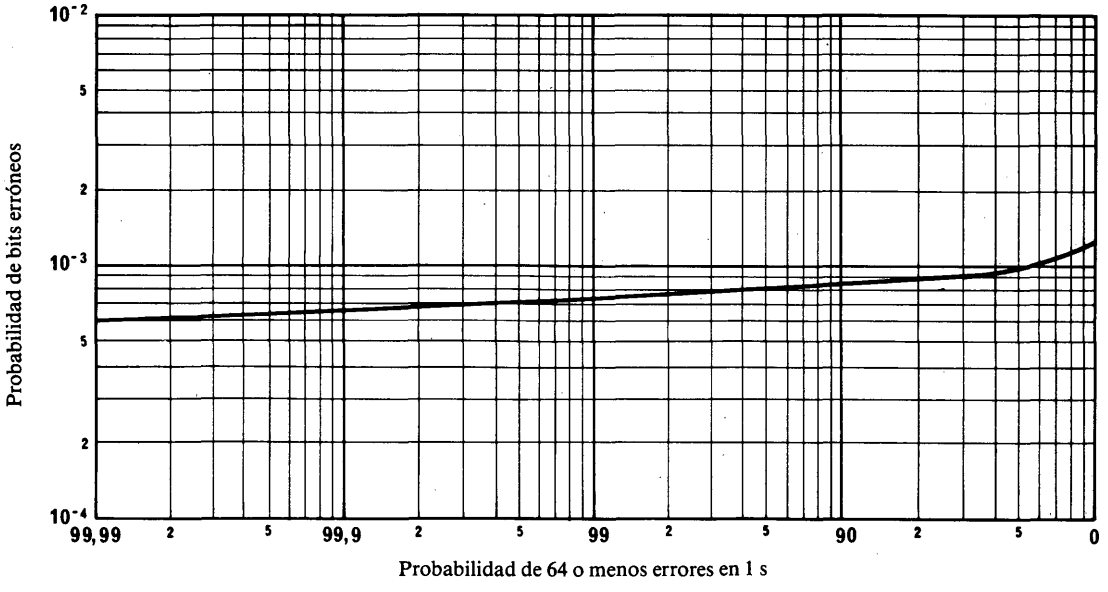


FIGURA 3 – *Probabilidad de que el número de errores sea igual o inferior a 64 en 1 s*

Nota. – La probabilidad de 64 errores o menos por segundo es equivalente a (1 – probabilidad de segundos con muchos errores).

Para ilustrar el método de cálculo, se determinan el porcentaje de segundos con error (SCE) de segundos con muchos errores (SME) y de los minutos degradados (MD) del siguiente modo:

a) Divídase el porcentaje del eje de tiempo del modelo considerado en tantas secciones como sean necesarias para que la curva pueda representarse por una aproximación en escalera. Cada intervalo de la escala posee una BER constante.

b) Para el valor de PBE de cada sección de la escalera, determínese a partir de las figs. 2 y 3 la probabilidad de SCE, SME o MD según corresponda.

c) Esa probabilidad multiplicada por el porcentaje de tiempo dividido en pequeños elementos del intervalo de tiempo da el valor de SCE, SME o MD producido por ese intervalo.

d) La suma de todas las contribuciones da el porcentaje total de SCE, SME o MD

Los pasos a) a d) pueden resumirse matemáticamente como sigue:

$$\text{Total de todas las contribuciones} = \Sigma\,[(1 - P(E, N, PBE)) \cdot \Delta T]$$

donde ΔT es el intervalo de tiempo de la sección de la escalera, y $P(E, N, PBE)$ la probabilidad del objetivo particular en el que E es el umbral de errores, N es el número de bits en el intervalo de tiempo del parámetro de calidad considerado y PBE la probabilidad de bits erróneos.

e) Es necesario agregar al total de los segundos con muchos errores un término adicional para incluir los producidos durante los periodos que presentan una PBE superior a 1×10^{-3}, y que son, también periodos de disponibilidad (véase el punto 3.5).

f) Por último, los resultados pueden expresarse en términos de porcentaje de tiempo disponible. Los resultados adoptan entonces la forma de los objetivos de calidad de funcionamiento de la Recomendación G.821, y pueden compararse con ellos.

3. Calidad de los modelos

La aplicación del proceso de conversión antes indicado permitirá identificar cierto número de modelos distintos de calidad de sistema de satélite que satisfagan o excedan los objetivos de la Recomendación G.821. En la fig. 4, se representan cuatro de esos modelos.

Los puntos críticos a largo plazo de esos modelos (expresados en tiempo total del mes más desfavorable) son los siguientes:

- Modelo a): PBE = 1×10^{-7} para el 95% del mes más desfavorable
- Modelo b): PBE = 2×10^{-7} para el 90% del mes más desfavorable
  PBE = 1×10^{-6} para el 99,4% del mes más desfavorable
- Modelo c): PBE = 1×10^{-8} para el 89% del mes más desfavorable
- Modelo d): PBE = 1×10^{-7} para el 90% del mes más desfavorable
  PBE = 1×10^{-6} para el 98% del mes más desfavorable

Al derivar el modelo c) de la fig. 4 se trató de producir un modelo en el cual mantuviera la calidad a una PBE baja (1×10^{-8}) durante el periodo de tiempo más corto posible (89% del mes más desfavorable). Este modelo sería apropiado cuando la calidad de funcionamiento está casi totalmente limitada por la atenuación debida a la lluvia (es decir, por encima de 10 GHz). El amplio margen de desvanecimiento requerido en esta situación garantiza una PBE adecuada durante gran parte del tiempo. En la curva A (modelo a)) se intentó evaluar el efecto de la adopción de una PBE de 1×10^{-7} en el punto crítico de la PBE a largo plazo. En este caso, se adoptó también una máscara con dos puntos críticos.

El objetivo del modelo b) es posibilitar la PBE más alta posible a largo plazo. En este caso, se ha incluido un punto crítico adicional para una PBE de 10^{-6} durante el 99,5% de un mes, para obtener un modelo más ajustado de la calidad del sistema en estos porcentajes de tiempo aproximadamente. Este modelo será probablemente apropiado para situaciones en las que es escasa la atenuación debida a la lluvia o cuando el sistema tiene limitada la interferencia intersistemas e intrasistemas.

El modelo d) concilia los requisitos de los sistemas con propagación limitada y los de los sistemas con interferencia limitada. Se estima que pueden satisfacer este modelo los sistemas de satélite de alta capacidad y tecnología moderna, sin mayores inconvenientes en materia de costo o de capacidad.

Una característica común de los cuatro modelos es el punto (0,2%, 1×10^{-3}) y es importante determinar cómo ese punto permite que los modelos cumplan el objetivo (b) de segundos con muchos errores de la Recomendación G.821. Ese objetivo es de PBE = 1×10^{-3} para el 99,97% del tiempo disponible en el mes más desfavorable. De conformidad con la definición de la Recomendación G.821, un periodo de 10 o más segundos consecutivos con muchos errores (los que presentan una PBE superior a 1×10^{-3}), se considera como tiempo de indisponibilidad. Los periodos de 9 o menos segundos consecutivos se incluyen en el tiempo disponible. Del Informe 706 puede obtenerse una indicación de la proporción del tiempo de indisponibilidad.

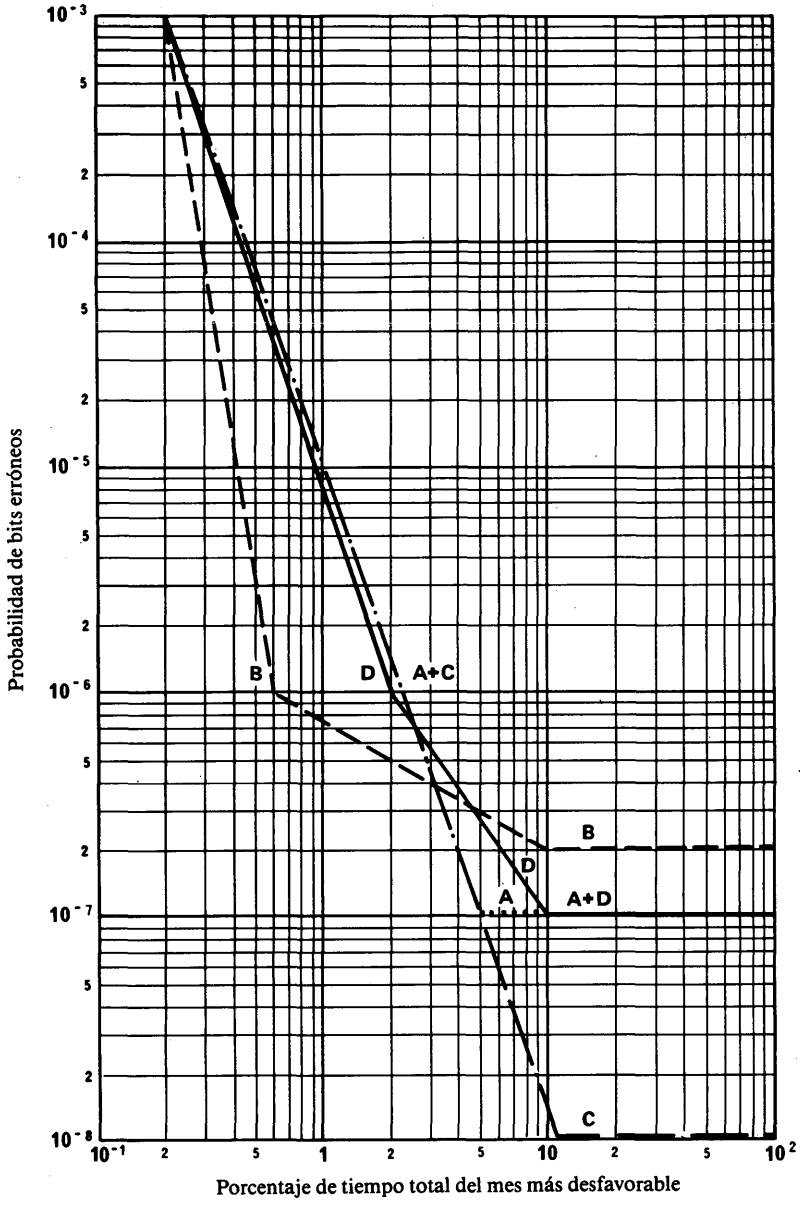


FIGURA 4 – *Modelos de BER que se ajustan a la Recomendación G.821 del CCITT*

A: Modelo a)
B: Modelo b)
C: Modelo c)
D: Modelo d)

En el cuadro IV aparecen las características de calidad de esos 4 modelos con parámetros de la Recomendación G.821. Ese cuadro da, para cada parámetro, porcentajes de intervalos de tiempo en el tiempo disponible del mes. El tiempo indisponible se ha sustraido del tiempo total para obtener los resultados señalados en el cuadro. Como la Recomendación G.821 se refiere a los porcentajes de tiempo disponible, la forma de ese cuadro es adecuada para comparar la calidad con los requisitos de la Recomendación G.821.

Los valores que figuran en el cuadro IV se han calculado sobre la base de un punto crítico a corto plazo (o sea: BER = 1×10^{-3}) de 0,2% del «tiempo total» y un factor de disponibilidad debida a la propagación de 10%.

CUADRO IV

Objetivo	Calidad (% del tiempo disponible)				
	Rec. G.821	Modelo a)	Modelo b)	Modelo c)	Modelo d)
Minutos degradados	2,0	1,94	0,77	2,0	1,88
Segundos con error	1,6	1,54	1,6	1,07	1,57
Segundos con muchos errores	0,03	0,023(1)	0,022(1)	0,025(1)	0,027(1)

(1) Se han dado tres cifras decimales para estos valores a fin de indicar la contribución a los segundos con muchos errores de la integral del tiempo con BER $\leqslant 1 \times 10^{-3}$.

Nota 1. – Los valores del cuadro se dan para demostrar la compatibilidad del modelo estudiado con la Recomendación G.821. Se obtendrán distintos valores utilizando diferentes modelos.

Nota 2. – Conviene señalar que si el diseñador de un sistema de satélite tiene que basar los cálculos del sistema directamente en uno de los modelos del tipo indicado, la calidad del sistema superará a la obtenida con los cálculos señalados. Ello se debe al hecho de que la característica PBE/% del tiempo en un sistema práctico excederá inevitablemente al modelo en la mayoría de los emplazamientos.

En el cuadro IV puede verse que hay una considerable diferencia entre el modelo b) y los demás modelos, ya que en los modelos a), c) y d) casi todos los parámetros satisfacen por igual los objetivos de la Recomendación G.821, mientras que la aplicación del modelo b) viene dictada muy claramente por la característica de segundos con error.

Se desprende claramente que en cualquier diseño de un sistema futuro de satélite, los objetivos pueden establecerse en función del tiempo total (como se ha hecho en el pasado) o del tiempo disponible. La adopción del último método ofrece una ventaja principal: resulta patente de forma más inmediata que los objetivos son coherentes con la Recomendación G.821, puesto que no han de hacerse suposiciones acerca del porcentaje de tiempo indisponible. En el caso de que un diseñador requiera los porcentajes de tiempo total, puede emplear un factor de conversión apropiado a la banda de frecuencias y a la región climatológica que se considera. Ello puede llevar perfectamente en muchos casos a objetivos que no son tan estrictos como los que figuran en el objetivo de «tiempo total», puesto que tienen incorporada una suposición de «porcentaje de tiempo indisponible».

Las curvas de las figs. 2 y 3 se han calculado utilizando la fórmula de distribución de Poisson siguiente:

$$P(E \text{ o menos errores}) = \sum_{K=0}^{E} \frac{(N \cdot PBE)^K \cdot (e^{-N \cdot PBE})}{K!}$$

donde:

N: número de bits en un intervalo de integración deseado, es decir 64 000 × 60 para un intervalo de 1 min;

E: umbral de errores, y

PBE: probabilidad de bits erróneos.

ANEXO II

EJEMPLOS DE CALIDAD DE UN ENLACE TÍPICO DE SATÉLITE

En este anexo se presentan los resultados de los cálculos de la calidad de tres sistemas distintos de transmisión digital por satélite:

- 6/4 GHz, INTELSAT-V, 120 Mbit/s, AMDT
- 14/11 GHz, EUTELSAT, 120 Mbit/s, AMDT
- 14/11 GHz, INTELSAT-V, 120 Mbit/s, AMDT (con control de potencia en el enlace ascedente y diversidad de emplazamientos).

La elección de estos sistemas deriva de que se trata de sistemas existentes o que entrarán pronto en funcionamiento en las bandas de 6/4 y 14/11 GHz. Estos sistemas pueden utilizarse como orientaciones para el diseño de secciones de satélite de las futuras conexiones de la RDSI. Pueden producirse diferentes características de calidad según factores tales como el ángulo de elevación, la zona hidrometeorológica y las situaciones de interferencia. El diseñador del sistema deberá prestar gran atención a los factores de este tipo cuando lleve a cabo el diseño de un TDFR por satélite de la RDSI.

Los resultados de los cálculos del balance del enlace son curvas de probabilidad de bits erróneos en función del porcentaje de tiempo total en el mes más desfavorable. Gracias al empleo de esas curvas pueden conocerse las repercusiones de los objetivos de calidad de la RDSI sobre el diseñador de los sistemas de satélite.

1. Modelo de atenuación

El modelo de atenuación utilizado en el presente texto para los cálculos del sistema de satélites INTELSAT-V es una aplicación del método facilitado por la Comisión de Estudio 5 del CCIR en su Informe 564 [CCIR, 1982-86]. Permite calcular el porcentaje anual de la atenuación debida a la lluvia en trayecto oblicuo en los emplazamientos de las estaciones terrenas. Las estadísticas se obtienen utilizando varios parámetros, a saber:

- lluvia: concretamente, la intensidad de la lluvia en un punto para el 0,01% de un año medio;
- altura de la estación terrena por encima del nivel medio del mar;
- ángulo de elevación de la estación terrena hacia el satélite;
- latitud de la estación terrena.

Con esos parámetros se calcula la atenuación debida a la lluvia que se rebasará durante el 0,01% de un año. Los valores de atenuación para otros porcentajes de un año se determinan utilizando la siguiente fórmula:

$$A_P = b\, A_{0,01}\, P^{-a}$$

donde:

A_P: atenuación para el porcentaje deseado del año,

$A_{0,01}$: atenuación para el 0,01% del año,

P: porcentaje deseado del año,

a y b: constantes.

Esas cifras de la atenuación anual pueden ponerse en relación con la atenuación en el «mes más desfavorable» utilizando la siguiente relación:

$$P_y = 0{,}29\, P_w^{1{,}15}$$

en donde:

P_y: porcentaje anual,

P_w: porcentaje del mes más desfavorable.

Con este método se obtuvieron las curvas para INTELSAT-V que se muestran en la fig. 5. La calidad de INTELSAT-V, 6/4 GHz, corresponde a una transmisión de Estados Unidos de América a Italia, estando ambas estaciones situadas en la zona hidrometeorológica «K»; la estación terrena de Estados Unidos de América tiene un ángulo de elevación de 25° y, la estación italiana, de 21°. En el caso de INTELSAT a 14/11 GHz, la estación terrena transmisora está situada en el Reino Unido, con un ángulo de elevación de 29° y, la estación terrena receptora, en Estados Unidos de América con el mismo ángulo de elevación. La estación terrena del Reino Unido está situada en la zona hidrometeorológica G y, la de Estados Unidos de América en la zona hidrometeorológica K.

Los balances del enlace de INTELSAT-V, 6/4 GHz, tuvieron en cuenta las contribuciones a la interferencia debidas a sistemas terrenales, otros sistemas y fuentes de interferencia cocanal y en canales adyacentes. Se supuso una reutilización cuádruple de la frecuencia con discriminación por polarización y aislamiento espacial. Se incluyeron variaciones de la potencia de salida del transpondedor debidas a cambios del punto de funcionamiento causados por el desvanecimiento del enlace ascendente, utilizando las características de transferencia de un transpondedor no lineal.

Para el sistema INTELSAT a 14/11 GHz, se supuso a los efectos de este estudio un control de potencia del enlace ascendente de 10 dB aplicado de manera continua. Se supuso también que se utilizaba en las estaciones receptoras la diversidad de emplazamientos con una separación de 20 km. Se incluyeron también variaciones de la potencia de salida del transpondedor debidas a cambios del punto de funcionamiento causados por desvanecimiento del enlace ascendente. Ninguna de las curvas del sistema INTELSAT supone la codificación con corrección de errores. Hay que observar que todos los terminales AMDT de INTELSAT están equipados para emplear un sistema facultativo de corrección de errores en recepción (FEC – «forward error correction»), que utiliza un código de bloques BCH (128 : 112) con el que se obtiene una ganancia de al menos 3 dB para una BER de relación 7/8 de entrada de 1×10^{-4}.

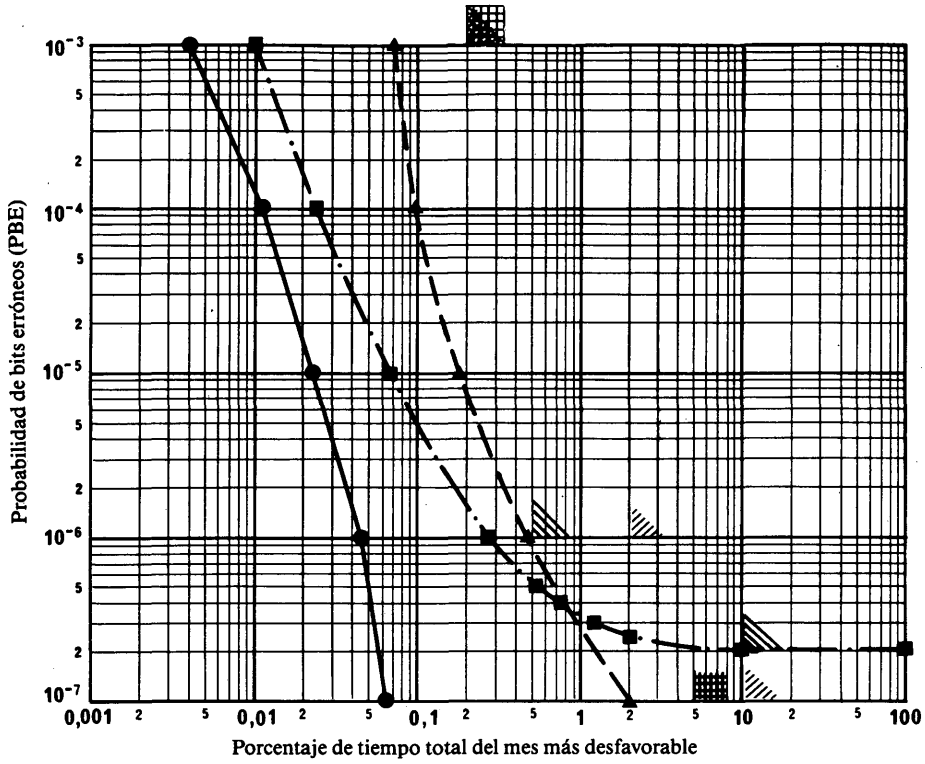


FIGURA 5 – *Probabilidad de bits erróneos en función del porcentaje de tiempo total del mes más desfavorable*

La calidad del sistema EUTELSAT se obtuvo con un método semejante. Las estadísticas de atenuación utilizadas corresponden a un clima continental europeo típico y están basadas en mediciones realizadas con el satélite OTS. Esas estadísticas son análogas a las denominadas «Clima H», del Informe 723, pero son ligeramente más optimistas.

2. Consideraciones sobre la relación entre la propagación y los objetivos a corto plazo

En las Recomendaciones del CCIR sobre la calidad de funcionamiento, algunos objetivos a corto plazo se dan en porcentajes del año. Por el contrario, los objetivos a largo plazo aparecen dados en porcentajes del mes más desfavorable. Los objetivos fijados en la Recomendación G.821 del CCITT figuran también como porcentajes de un periodo de tiempo del orden de un mes. Esos hechos llevan a la conclusión de que en cualquier Recomendación futura sobre la calidad de sistemas de satélite en la RDSI, tal vez sea necesario utilizar estadísticas de la atenuación mensual.

En el Informe 723 del CCIR se halla la información precisa para efectuar esa conversión; de ese Informe puede deducirse que el factor de conversión varía con el clima y el porcentaje de tiempo. En lo que respecta al 0,01% del año se da un factor de 4,5 a 6,5, en función del clima.

En lo que respecta al efecto en la transmisión de la atenuación prevista en las distintas frecuencias, pueden formularse algunas observaciones generales.

Estas observaciones son las siguientes:

- Para las frecuencias inferiores a 10 GHz, la PBE a largo plazo resulta el elemento de control en un caso de reutilización de frecuencia a 6/4 GHz que fue examinado.
- En las frecuencias comprendidas entre 10 y 15 GHz, la PBE a corto plazo (1×10^{-3}) es el elemento de control si no se utiliza la diversidad. Se analizaron los casos de diversidad, y los de no diversidad.
- En el caso de las frecuencias superiores a 15 GHz, en especial a 30/20 GHz, es probable que también la PBE a corto plazo (1×10^{-3}) sea el elemento de control. Sin embargo, no se realizó ningún análisis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos del CCIR

[1982-86]: 5/209 (Conclusiones de la Reunión Intermedia de la Comisión de Estudio 5).

ANEXO III

OTROS MECANISMOS CAUSANTES DE ERRORES

En este anexo se analizan brevemente otros mecanismos aparte del ruido y la interferencia, que causan errores. Dichos errores tendrán, probablemente, un carácter de ráfaga.

1. Conmutación en frecuencia intermedia y en radiofrecuencia

Los errores se producen como resultado de la conmutación en FI y RF para utilizar el equipo de reserva cuando se han producido fallos o cuando así lo requieren las rutinas de mantenimiento.

Para determinar la frecuencia de los sucesos de conmutación, es preciso considerar el tiempo medio entre fallos (MTBF – «mean time between failures») de los distintos componentes. A partir de este dato puede deducirse el número de conmutaciones por mes. En el cuadro V se dan algunos valores típicos de MTBF, junto con la frecuencia media de conmutaciones resultantes.

CUADRO V – *Tasas típicas de fallos de equipos de estación terrena*

Dispositivo	MTBF (h)	Frecuencia de conmutación media (por mes)
Amplificador de gran potencia	2 000	0,36
Convertidor elevador de frecuencia	4 000	0,18
Modem	> 4 000	< 0,18
Amplificador de bajo nivel de ruido (ABR)	8 000	0,09
Dispositivo post-ABR	50 000	0,01
Convertidor reductor de frecuencia	4 000	0,18
Total		1,0

Las cifras del «total» del cuadro V corresponden a un enlace unidireccional que incorpora una estación terrena transmisora y una estación terrena receptora. Evidentemente no toman en cuenta el hecho de que estadísticamente algunos meses serán peores que ese promedio. Requiere estudio ulterior la posible necesidad de incorporar ese elemento.

La duración de cada conmutación será típicamente de 150 ms, incluido el tiempo de reacción del circuito de control.

2. Conmutación en la banda de base

Dada la limitada aplicación que tiene hasta la fecha el equipo de banda de base digital, se dispone de muy poca experiencia para reducir tasas de fallos. La única información disponible corresponde al equipo AMDT, que se espera que de MTBF globales de 3000 h para el equipo terminal central y de 2000 h para los módulos de interfaz. Si se agrupan esos valores, darán 0,6 fallos por mes o 1,2 de total mensual en un enlace completo. Este es un valor que puede controlarse minuciosamente mediante la aplicación de prácticas de diseño adecuadas.

Cuando se producen los fallos, el tiempo de conmutación es muy breve, pero es posible que el efecto sobre el tráfico dure bastante más tiempo. El resultado puede ser desde 2 ó 3 bits erróneos hasta la pérdida de una multitrama, esto es, 128 bits en cualquiera de los canales a 64 kbit/s.

3. Estados transitorios de la alimentación de energía

Este efecto es muy difícil de cuantificar. La mejor prueba es que, dentro del equipo FI/RF, el doble de conmutaciones son, como término medio, el resultado de estos efectos espurios, puesto que son causadas por fallos reales del equipo. Por consiguiente, basándose en la información de FI/RF antes dada, debe atribuirse a este efecto un valor de dos conmutaciones por mes.

4. Conmutación del trayecto de señalización en el satélite

Aunque en la actualidad no se dispone de datos sobre este efecto, se considera improbable que sea tan frecuente como la conmutación del trayecto en la estación terrena. Sin embargo, ello puede cambiar a medida que se pongan en servicio satélites más complejos, en particular si se emplea la conmutación o el tratamiento a bordo; por consiguiente, el tema requiere un estudio más detallado.

RECOMENDACIÓN 446-2

DISPERSIÓN DE LA ENERGÍA DE LA PORTADORA PARA LOS SISTEMAS QUE EMPLEAN MODULACIÓN ANGULAR POR SEÑALES ANALÓGICAS O MODULACIÓN DIGITAL EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Programa de Estudios 2D/4)

(1966-1974-1978)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que la utilización de técnicas de dispersión de la energía de la portadora en los sistemas del servicio fijo por satélite puede reducir notablemente las interferencias causadas a las estaciones de un servicio de radiocomunicación terrenal que funcione en las mismas bandas de frecuencias;

b) que en muchos casos la utilización de tales técnicas puede reducir en una medida moderada o sustancial las interferencias entre sistemas del servicio fijo por satélite que funcionen en las mismas bandas de frecuencias, aunque es posible que en otros casos la utilización de tales técnicas no reduzca las interferencias entre esos sistemas;

c) que estas técnicas se utilizan corrientemente con éxito en los sistemas del servicio fijo por satélite sin degradación notable en la calidad de su funcionamiento;

d) que la Conferencia Administrativa Mundial de Telecomunicaciones Espaciales, Ginebra, 1971, adoptó la Recomendación N.º Spa2 – 11 relativa a la dispersión de la energía de la portadora en los sistemas del servicio fijo por satélite,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que los sistemas del servicio fijo por satélite utilicen técnicas de dispersión de energía de la portadora en la mayor medida posible y de una manera compatible con el funcionamiento satisfactorio de estos sistemas (véanse los puntos 2 y 3 del Informe 384), con el objeto de distribuir la energía de manera tal que la interferencia producida a las estaciones de un servicio terrenal explotado en las mismas bandas de frecuencias se mantenga, en todo momento, dentro de límites admisibles especificados.

2. Que en el diseño de los sistemas por satélite se prevea con capacidad para utilizar la técnica de dispersión de la energía de la portadora en el mayor grado posible (véase el Informe 384), a fin de que la misma pueda aplicarse en el momento oportuno para mantener un nivel reducido de interferencia entre los sistemas del servicio fijo por satélite que funcionen en las mismas bandas de frecuencias.

INFORME 384-5

DISPERSIÓN DE ENERGÍA EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Programa de Estudios 27A/4)

(1966-1970-1974-1978-1982-1986)

1. Introducción

De los estudios de compartición de bandas de frecuencias entre el servicio fijo por satélite y sistemas de relevadores radioeléctricos, y entre diferentes redes del servicio fijo por satélite se desprende claramente que, para mantener en un nivel admisible las interferencias mutuas entre estos sistemas, será indispensable, en la mayoría de los casos, utilizar técnicas de dispersión de energía con el fin de reducir la densidad espectral de energía de las transmisiones del servicio fijo por satélite durante los periodos de poca carga. La reducción de la densidad máxima de energía también facilitará:

- la utilización eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios mediante la reducción al mínimo de la separación orbital necesaria entre satélites que utilizan la misma banda de frecuencias, y
- el funcionamiento de varias portadoras en los transpónderes de banda ancha.

Es indiscutible que la importancia de la dispersión de energía requerida depende de las características del sistema en cada caso particular, cuestión ésta adecuada para los estudios de compartición de frecuencias realizados en virtud de los Programas de Estudios 27A/4 y 2J/4. No obstante, también es evidente que la densidad máxima de energía, en condiciones de poca carga, debe mantenerse lo más próxima posible al valor correspondiente a la hora cargada.

En el presente Informe se exponen los resultados de algunos estudios teóricos y experimentales sobre las técnicas de dispersión de energía aplicables a sistemas de radiocomunicación por satélite que utilizan, respectivamente, modulación de frecuencia del tipo analógico y modulación digital.

Se ha llegado a la conclusión de que puede obtenerse una dispersión de energía substancial en la mayoría de los casos. Sin embargo, existen algunas limitaciones posibles a la eficacia de las técnicas de dispersión, que se exponen en este Informe.

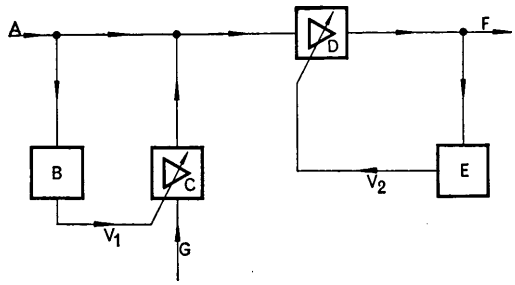
2. Dispersión de la energía para sistemas analógicos con modulación de frecuencia

2.1 *Sistemas de telefonía multicanal*

En el anexo I se examinan varios métodos para mantener un elevado grado de dispersión de energía de la portadora en los sistemas telefónicos, con especial referencia a la relación que existe entre la dispersión obtenida y la complejidad de los métodos de dispersión así como al aumento de la anchura de banda en función de la distorsión. Estos métodos se dividen en dos clases generales: uno que consiste en agregar a la señal de entrada una onda de dispersión que no es necesariamente de magnitud constante, y otro que controla efectivamente, además, la sensibilidad de la excursión de frecuencia del modulador de frecuencia. En el anexo I se examinan distintas combinaciones de estos dos métodos, que se ilustran en la fig. 1.

El método 1a) es el más sencillo, y consiste en agregar una onda de dispersión de amplitud fija. La eficacia relativa de este método (es decir, la relación entre la potencia máxima dispersada por 4 kHz y la potencia máxima por 4 kHz en condiciones de carga máxima), que utiliza cada una de las ondas de un conjunto de cuatro ondas de dispersión en baja frecuencia, se ilustra en la fig. 2, en la que se admite un aumento del 10 por 100 de la anchura de banda de radiofrecuencia ocupada. Las cuatro ondas se consideran más detalladamente en el anexo I.

En la fig. 2 puede verse que la más eficaz es la onda triangular de baja frecuencia (curva D), pero tiene la desventaja de producir un nivel más elevado de interferencia en algunos sistemas de un solo canal por portadora, debido al largo tiempo de permanencia de la señal interferente dispersada dentro de la anchura de banda de la señal deseada. En el punto 4 se mencionan otros métodos de dispersión que producen menos interferencia en transmisiones de un solo canal por portadora. Aparte de ella, la única que parece ofrecer posibilidades de aplicación general es la de ruido de baja frecuencia (curva C). La ventaja que ofrece la dispersión por ruido de baja frecuencia consiste en que puede modificarse fácilmente la banda de frecuencias para adaptarla a cualquier gama de frecuencias que esté disponible por debajo de la banda de base y que su eficacia no depende de una forma de onda bien especificada. Sin embargo, se ha comprobado en la práctica que este uido puede revelarse difícil de generar y de utilizar.



A: Señal de banda de base de entrada
B: Detector de valores medios cuadráticos
C: Amplificador 1
D: Amplificador 2
E: Detector de valores medios cuadráticos
F: Salida hacia el modulador de frecuencia
G: Señal de dispersión

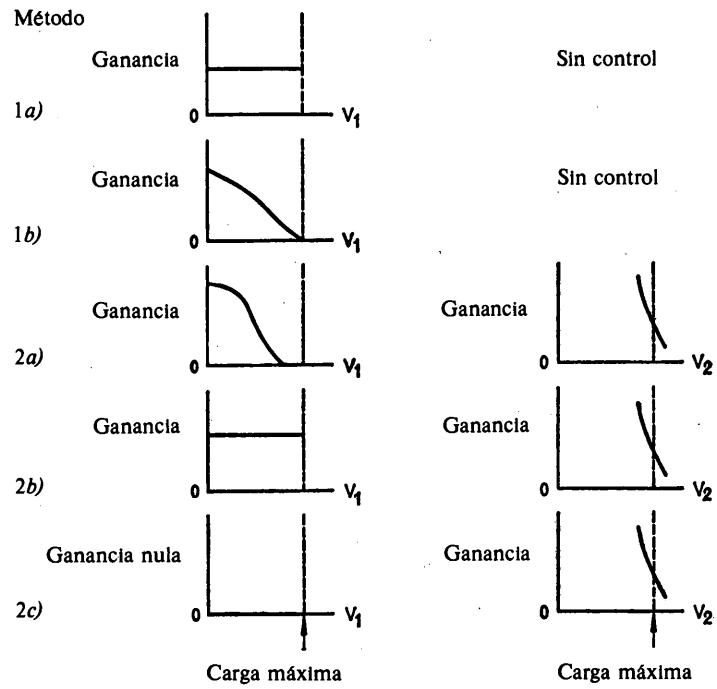


FIGURA 1 — *Esquema simplificado*
(Se han omitido los filtros, los amplificadores separadores y los pilotos de regulación de ganancia)

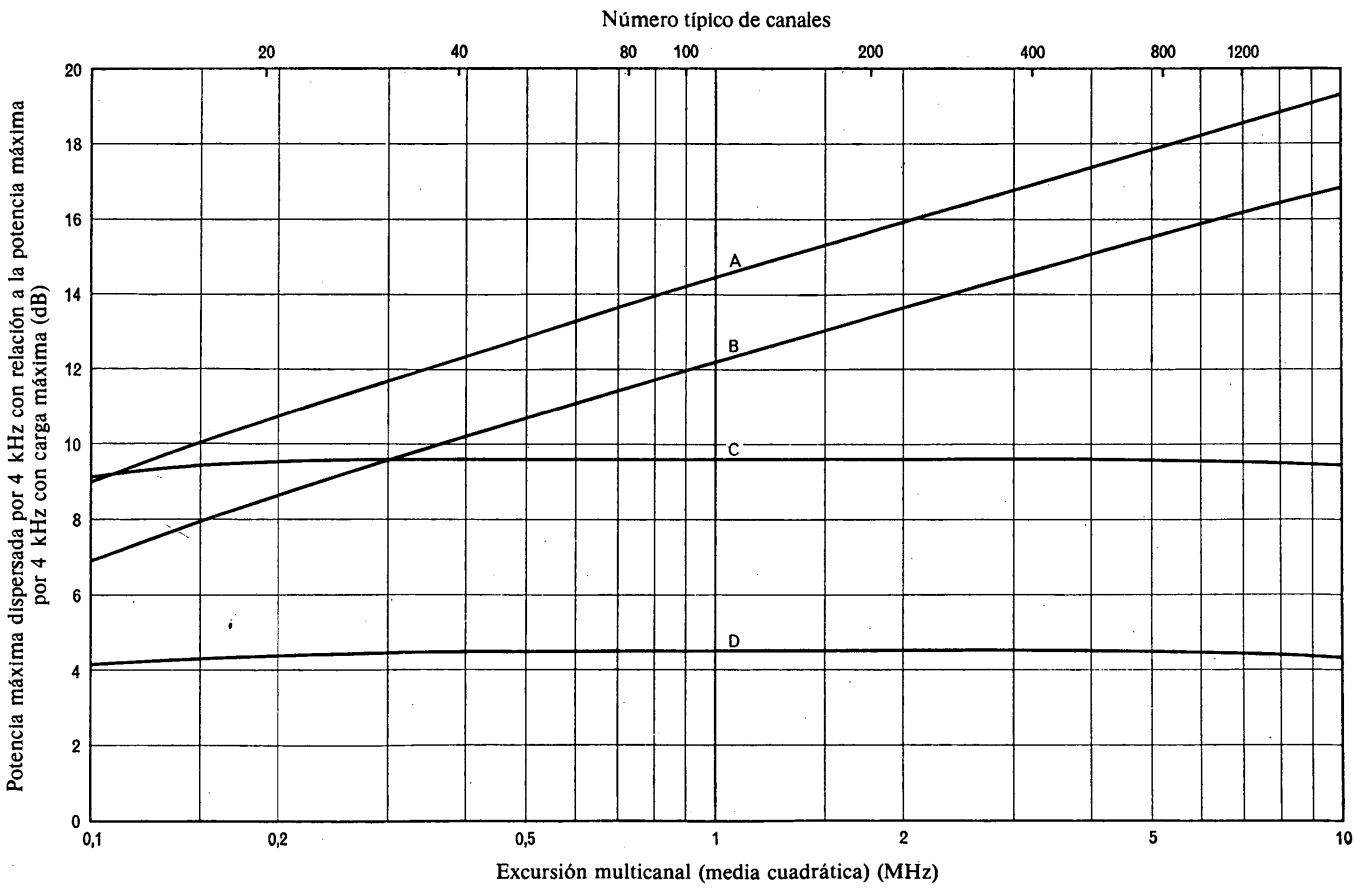


FIGURA 2

Por otra parte, cuando se emplee la onda triangular, debe prestarse una atención especial a la linealidad de la onda, puesto que toda diferencia de linealidad originará variaciones en la densidad espectral y como consecuencia disminuirá la eficacia de la dispersión. La eliminación de los armónicos de orden elevado de la onda triangular mediante un filtro, originará una falta de linealidad perceptible por el redondeo de las crestas, lo cual reducirá también la eficacia de la dispersión. Esta reducción tendrá menos importancia cuando existan algunas señales piloto en condiciones de poca carga. En cada caso particular, deberá tomarse la decisión de emplear o no un filtro, habida cuenta de las exigencias contradictorias de hacer mínima la interferencia en los canales de baja frecuencia de la banda de base por una parte y las pérdidas en la eficacia de dispersión, por otra.

Sería útil estudiar la posibilidad de emplear, en lugar de un ruido, una señal seudoaleatoria conocida de espectro uniforme en la banda de las bajas frecuencias; ello permitiría suprimir esta señal en la recepción y evitar así ciertos inconvenientes de este método.

Si se consideran los métodos de aplicación de la señal de dispersión, se comprueba que el empleo del método 1a) causaría un aumento excesivo de la anchura de banda ocupada, en el caso de querer aproximarse a las condiciones de carga de las horas cargadas. De ahí que el método 1b), que comprende medios para ajustar automáticamente el grado de dispersión según la carga del sistema, sea el que ofrece posibilidades más interesantes.

El método 2 es más complicado que el método 1, pero convierte en ventaja la necesidad de realizar una dispersión de energía al mejorar las características de ruido del sistema cuando, en condiciones de poca carga, aumenta la sensibilidad de la excursión de frecuencia. El inconveniente manifiesto de este método es que requiere la regulación global de la ganancia, mientras que la mejora que se obtendría en condiciones de poca carga depende del tráfico fuera de las horas cargadas. De las variaciones del método 2 examinadas en el anexo I, parece que el método 2a) es el más adecuado para una aplicación generalizada.

Cuando se empleen métodos que impliquen una rápida variación en la cuantía de la dispersión introducida cuando varía la carga, se ha de prestar una atención cuidadosa a la elección del intervalo de tiempo entre la variación de la carga y el instante de proceder a la conmutación de la dispersión.

Al considerar la magnitud de la dispersión que puede obtenerse en la práctica ha de tenerse en cuenta que las condiciones de carga máxima no proporcionan necesariamente el grado de dispersión postulado por la distribución gaussiana, como se dice en el punto 1 del anexo I (véase el Informe 792). No sería prudente suponer que se logra esta condición ideal en la práctica hasta tener pruebas en que apoyarse. Mediciones efectuadas con una carga de ruido blanco han demostrado que los sistemas que emplean una señal de dispersión triangular pueden mantener la dispersión de energía de la portadora dentro de los límites de 2 dB, cuando se simulan las condiciones de carga de la hora cargada. No se conoce aún el grado de aproximación a estas condiciones que se conseguirá en la práctica, pero sería poco prudente suponer que se conseguirá dispersar la energía a menos de 3 dB del valor correspondiente a las condiciones de carga de la hora cargada sin aumentar la anchura de banda en radiofrecuencia.

2.2 *Sistemas de televisión*

En el anexo II se considera el problema general de las técnicas de dispersión de la energía para los sistemas de televisión y se dan los resultados de un estudio experimental realizado para determinar los efectos subjetivos de la adición de diversas ondas de baja frecuencia a las señales de televisión de 625 líneas y frecuencia de trama de 50 Hz. Los resultados muestran que una «onda triangular simétrica» es preferible a las demás ondas estudiadas, y que el efecto subjetivo, resultante de la aplicación de esta onda (amplitud cresta a cresta igual al 50%, como máximo, de la amplitud cresta a cresta de la señal de video antes de la preacentuación), es despreciable siempre que:

- la onda de dispersión esté enganchada en fase y en frecuencia, a la frecuencia de trama;
- se utilicen métodos sencillos y adecuados para suprimir en la estación terrenal receptora la onda agregada;
- el sistema de transmisión no introduzca intermodulación entre la onda de dispersión y la señal de video.

Por «onda triangular simétrica» se entiende una onda en forma de triángulo isósceles (es decir, con iguales tiempos de establecimiento y caída). También se han estudiado ondas en diente de sierra con tiempos de establecimento o de caída tendientes a cero (véase el anexo II).

Algunos estudios han demostrado que cuando una señal de televisión modulada por una forma de onda de dispersión interfiere con sistemas telefónicos multicanales MDF terrenales y por satélite, la densidad espectral de potencia a la salida del detector de frecuencia adquiere un carácter predominantemente discreto. Las componentes espectrales de la interferencia están separadas entre sí por un valor igual a la frecuencia de repetición de la forma de onda de dispersión. Para una frecuencia de repetición de la forma de onda de dispersión inferior a 4 kHz, los componentes de la interferencia se distribuyen sobre todos los canales telefónicos, que en el espectro del grupo están también separados por 4 kHz. Cuando la frecuencia de la forma de onda de dispersión aumenta hasta la frecuencia de media línea o de línea, los componentes de interferencia se hallan dentro de cada segundo o cuarto canal y el nivel de interferencia de estos canales aumenta hasta 3 ó 6 dB, respectivamente. El efecto de esta degradación adicional dependerá de los parámetros de los sistemas afectados.

Si sólo se consideran los aspectos del problema relativos a la televisión, poca opción puede haber entre las señales en diente de sierra «simétricas» de 12,5 y de 25 Hz. Estas últimas presentan ciertas ventajas en cuestión de equipo. Se considera, pues, que para la dispersión de energía de señales de televisión de 625 líneas y una frecuencia de trama de 50 Hz, debe utilizarse una onda triangular «simétrica» sincronizada de 25 Hz, y no son de esperar resultados muy distintos empleando la señal triangular «simétrica» sincronizada de 30 Hz para los sistemas de televisión de frecuencia de trama de 60 Hz.

Para determinar el efecto de dispersión que produce este método, a título de ejemplo, se supondrá que la calidad global de funcionamiento del sistema limita la amplitud cresta a cresta de la señal de dispersión al 30% de la amplitud cresta a cresta de la señal de video. Considerando un sistema de 625 líneas que emplee la red normal de preacentuación (Recomendación 405), la excursión de frecuencia cresta a cresta de la onda de dispersión será igual al 9,4% de la excursión cresta a cresta de la señal de video sin preacentuación. Utilizando el símbolo ΔF(MHz) para esta excursión de frecuencia de la señal de video, la dispersión que se obtiene es aproximadamente:

$$10 \log \left(\frac{\text{energía máxima por 4 kHz}}{\text{energía total}} \right) = 10 \log \frac{0{,}004}{0{,}094\ \Delta F} = -(14 + 10 \log \Delta F) \quad \text{dB}$$

A título de comparación, la dispersión teórica obtenida en telefonía, suponiendo una distribución espectral gaussiana y una relación valor de cresta/valor eficaz de 12 dB (véase el anexo I), será:

$$-\left(28 + 10 \log \frac{\Delta F}{8}\right) = -(19 + 10 \log \Delta F) \quad \text{dB}$$

lo cual significa que, en el caso de la televisión, el valor de la dispersión será unos 5 dB inferior al óptimo con un 10%, aproximadamente, de aumento de la anchura de banda en radiofrecuencia.

Para economizar anchura de banda convendría controlar la excursión de frecuencia según el método 1b) del anexo I. Esto no puede hacerse con cualquier método sencillo pues seguramente habría que controlar la concentración de la energía en el espectro de radiofrecuencia.

Además de los métodos de dispersión de energía examinados anteriormente, se incluye la descripción de otros dos sistemas en los puntos 5 y 6 del anexo II. En el primero de estos puntos se describe la dispersión por transformación de la señal video, mientras que en el segundo se describen las técnicas de dispersión utilizadas para proteger las transmisiones telefónicas de un solo canal por portadora en las que la frecuencia de la señal dispersada es la frecuencia de línea de televisión.

Finalmente, se hace observar que para utilizar cualquiera de los métodos antes mencionados de dispersión de energía en la transmisión de televisión en color será necesario un mayor grado de linealidad de los sistemas que en la transmisión de televisión en blanco y negro.

3. Dispersión de energía en los sistemas de modulación digital

En el anexo III se examina la necesidad de técnicas de dispersión de energía en los sistemas de modulación digital, y se exponen dos métodos de conversión de código en la banda de base, que mantienen el espectro radioeléctrico transmitido en una condición que se aproxima a la condición ideal que se obtendría si el flujo de bits de información fuese totalmente aleatorio.

Es probable que, en muchos casos, sea necesaria la dispersión de los espectros de las transmisiones en el servicio fijo por satélite que utilizan la modulación digital. El empleo de una secuencia seudoaleatoria para distribuir en forma aleatoria la información digital en el transmisor y su supresión en el receptor, constituye un procedimiento sencillo para obtener un grado elevado de dispersión.

Normalmente no será necesario aplicar la señal de dispersión al preámbulo de un sistema AMDT, pues la densidad espectral debida a esta parte de la transmisión será, por lo general, comparable a la que se obtiene con dispersión ideal, al menos para velocidades de bits de unas decenas de megabits por segundo o superiores.

La longitud de la secuencia seudoaleatoria elegida dependerá del grado de dispersión requerido. Sin embargo, en la mayoría de los casos no será necesario emplear una secuencia de longitud superior a la duración de una trama en sistemas de acceso único, ni mayor que la duración de un paquete en sistemas AMDT, y a menudo bastará con secuencias de menor longitud.

4. Conclusiones

Se infiere que los métodos de dispersión de energía que ofrecen mayores posibilidades son los siguientes:

- para los sistemas telefónicos con modulación de frecuencia: la adición de una señal de ruido ajustada en función de la carga, por debajo de la banda de base, como en el método 1b) de la fig. 1. La señal ajustada puede ser un ruido o bien una onda triangular «simétrica», aunque en la práctica esta última es de empleo más fácil;
- para los sistemas de televisión con modulación de frecuencia: la adición de una onda triangular «simétrica» sincronizada con la frecuencia de imagen, como en el método 1a) de la fig. 1;
- para los sistemas con modulación digital: conversión de código mediante la cual el flujo de bits de información se multiplica por un tren de impulsos seudoaleatorio por métodos similares a los señalados en el anexo III.

Las ondas de dispersión triangulares se aplican actualmente a portadoras moduladas en frecuencia en la mayoría de las redes del servicio fijo por satélite. Las ventajas que en teoría ofrecen las señales de dispersión triangulares se hacen efectivas en la práctica sólo en la medida en que la señal utilizada es lineal. El uso de estos métodos podría proporcionar una dispersión de energía tan grande como la que se obtiene en condiciones de carga máxima. Sin embargo, el exceso de la potencia de dispersión por banda de 4 kHz, con relación a la de carga máxima (suponiendo un espectro de distribución gaussiana), no será realmente inferior, en la práctica, a 3 dB en el caso de la telefonía y a 5 dB en el de la televisión. Con este nivel de dispersión de energía, la adición a la anchura de banda en radiofrecuencia ocupada no ha planteado dificultades.

La dispersión de energía que se obtiene actualmente empleando ondas triangulares ha demostrado ser satisfactoria en la práctica, salvo cuando la señal deseada es la de un sistema de un solo canal por portadora. Con la utilización de técnicas de dispersión mediante ondas triangulares de baja frecuencia ($\leqslant$ 1 kHz) en sistemas multicanales, un sistema deseado de un solo canal por portadora puede estar expuesto a la casi totalidad de la potencia de una portadora interferente durante períodos cortos. Este problema podría resolverse en los sistemas de televisión con modulación de frecuencia, recurriendo a la transformación de la señal de video para la dispersión o utilizando una señal de dispersión triangular en la frecuencia de línea de televisión.

ANEXO I

MÉTODOS DE DISPERSIÓN DE LA ENERGÍA APLICABLES A SEÑALES TELEFÓNICAS ANALÓGICAS CON MODULACIÓN DE FRECUENCIA

1. Consideraciones generales

Cuando se estudian los métodos que permiten obtener grados elevados de dispersión de energía de la portadora, conviene conocer cuál es el efecto de dispersión de la banda de base con carga máxima, y contar así con un valor de referencia para la comparación de los resultados que pueden obtenerse artificialmente. Para la clase general de sistemas de modulación de frecuencia de gran excursión considerados, es decir, los sistemas cuya excursión eficaz multicanal (δF) rebasa la frecuencia más alta de la banda de base, que a su vez es muy alta con respecto a la frecuencia inferior de la banda de base, es lícito suponer que el espectro de la potencia media, en las condiciones convencionales de carga a la hora cargada tiene forma gaussiana. De ahí que el efecto de dispersión obtenido sea el siguiente:

$$10 \log \left(\frac{\text{energía máxima por 4 kHz}}{\text{energía total}} \right) = 10 \log \frac{0{,}004}{\sqrt{2\pi}\ \delta F} = -\ (28 + 10 \log \delta F) \quad \text{dB}$$

(donde δF está expresada en MHz).

Cuando δF es inferior a la frecuencia de banda de base más elevada, el efecto de dispersión puede calcularse utilizando la información que figura en el Informe 792.

La fig. 1 muestra, en forma de diagrama, las disposiciones que es posible adoptar para que, con los métodos expuestos en el presente anexo, se pueda mantener un elevado grado de dispersión de la energía en condiciones de poca carga.

2. Dispersión por adición de señales

2.1 *Método 1a)*

El método más sencillo para introducir cierto grado de dispersión de energía de la portadora es añadir a la señal de banda de base una onda adecuada de dispersión de baja frecuencia de amplitud fija, como indica el método 1a) de la fig. 1. De las distintas señales de dispersión propuestas en el presente anexo se examinan las siguientes:

- una señal sinusoidal (curva A de la fig. 2);
- una señal sinusoidal, a la que se agrega el 30% del tercer armónico, en fase adecuada (curva B de la fig. 2);
- una banda de ruido de baja frecuencia (curva C de la fig. 2);
- una onda triangular de baja frecuencia (curva D de la fig. 2).

Con el fin de obtener una base de comparación entre los rendimientos de estas diversas ondas, se ha calculado la densidad espectral de energía máxima que producen cuando se aplican a una portadora no modulada, admitiendo un aumento del 10% de la anchura de banda ocupada en radiofrecuencia. Los resultados se han llevado a la fig. 2, la cual muestra lo que ocurriría en condiciones de carga de la hora cargada; las curvas de la fig. 2 se han designado de A a D, como ya se ha indicado. En este caso, se registra cierta aproximación como consecuencia de la difícil cuestión que plantea la relación entre la distorsión de la señal y la limitación de la anchura de banda en radiofrecuencia; la cuestión se ha evitado admitiendo:

- que la ocupación total de la anchura de banda sigue la ley de Carson (con una relación valor de cresta/valor eficaz (r.m.s.) igual a 12 dB);
- que esta fórmula relativa a la anchura de banda puede también aplicarse a la suma del valor de la señal y del valor eficaz de la excursión de frecuencia debido a la dispersión, cuando ésta se hace mediante una banda de ruido;
- que, en los demás casos, a la anchura de banda ocupada en radiofrecuencia viene a agregarse la excursión cresta a cresta de la onda de dispersión.

No se cree que los errores así introducidos sean importantes; en todo caso, deben producirse en el mismo sentido para los distintos tipos de onda. Para mayor aproximación cada tipo de onda de dispersión está representado en la fig. 2 por una sola curva. La relación entre las capacidades tipo (en número de canales) y las excursiones de frecuencia que figuran en las dos escalas de abscisas está basada en la información contenida en el anexo al Informe 708.

2.1.1 *Dispersión sinusoidal*

Según la curva A de la fig. 2, es indiscutible que la dispersión de energía de la portadora producida por una señal sinusoidal es bastante ineficaz, mientras que la curva B indica que la mejora que se obtiene con una señal sinusoidal a la que se agregue un 30% del tercer armónico sólo es de 2 dB. Para la transmisión clásica de 20 canales, la densidad máxima de potencia, en ambos casos, es unos 10 dB superior al valor registrado en condiciones de carga máxima. Es éste un rasgo característico de estos tipos de dispersión: la cantidad cuya densidad de potencia dispersada excede de la densidad con carga máxima, aumenta con el valor eficaz medio de la excursión de frecuencia en funcionamiento multicanal y, por consiguiente, con la capacidad en canales. Por ejemplo, para 1200 canales, el exceso es de unos 18 dB.

2.1.2 *Dispersión triangular*

Para un aumento dado de la anchura de banda ocupada, el método que asegura con mayor eficacia la dispersión de la energía de una sola raya espectral es, por lo menos teóricamente, la señal triangular. La densidad de potencia dispersada es inversamente proporcional al porcentaje de aumento admisible para la anchura de banda de radiofrecuencia. La curva D de la fig. 2 muestra que, si se permite un aumento de un 10% de la anchura de banda ocupada, la potencia dispersada por banda de 4 kHz es unos 4,5 dB superior a la potencia correspondiente a las condiciones de carga máxima, para la mayor parte de los números de canales.

Con la utilización de técnicas de dispersión mediante ondas triangulares de baja frecuencia ($\leqslant$ 1 kHz) en sistemas multicanales, un sistema deseado de un solo canal por portadora puede estar expuesto a la casi totalidad de la potencia de una portadora interferente durante periodos de tiempo considerables.

La señal triangular ofrece evidentemente un medio sencillo y eficaz de dispersar la energía presente en las rayas espectrales aisladas de las transmisiones telefónicas. Sin embargo, no hay que olvidar que su eficacia depende de que la forma de la onda se mantenga fielmente hasta que aparezca como una modulación de frecuencia, sobre todo cuando se requiere un grado elevado de dispersión. Por ejemplo, si para la transmisión de 1200 canales se necesitan 32 dB de dispersión, un aplanamiento de sólo 0,25% de los extremos de la onda duplicaría localmente la densidad espectral de energía.

Antes de aplicar la señal triangular hay que filtrarla, para evitar que los armónicos de la frecuencia fundamental perturben los canales bajos del múltiplex telefónico. Con frecuencias de la onda triangular inferiores o iguales a 150 Hz, y con una frecuencia baja de la banda de base multicanal igual a 4 kHz, el filtrado entraña una deformación de los ángulos de la señal y, por consiguiente, de las crestas de densidad de energía en los extremos del espectro de modulación en caso de carga débil.

En el cuadro I siguiente se recogen los valores medidos del aumento de la densidad de energía en los extremos del espectro con relación a la densidad en la frecuencia central del espectro en un múltiplex de 132 canales, en función de la frecuencia de la onda triangular. En este sistema se utilizaba una regulación discontinua de un solo escalón.

CUADRO I

Frecuencia de la onda triangular (Hz)	Aumento de la densidad de energía (dB)
20	3
80	5
150	7

El filtro de paso bajo utilizado era del tipo Chebitchev de 7 polos con una frecuencia de corte de 2,7 kHz y cuya atenuación en 4 kHz era igual a 34 dB.

En cambio, se puede tener en cuenta la presencia de la onda piloto de continuidad en la entrada del modulador, a condición de que sea generada independientemente del múltiplex telefónico. En las mismas condiciones de medida que las indicadas anteriormente, la aplicación de una onda piloto a un nivel de -20 dBm0 permite disminuir de 7 a 3 dB el aumento de las crestas de densidad de energía en los extremos de la banda.

2.1.3 *Dispersión mediante una banda de ruido de baja frecuencia*

Añadiendo una banda de ruido de baja frecuencia a la banda de base multicanal, se obtiene una forma de dispersión de energía de la portadora, cuya introducción no es crítica y, al igual que la dispersión triangular, tiene la propiedad de producir una densidad espectral de energía máxima inversamente proporcional a la amplitud de la señal. La curva C de la fig. 2 muestra que, para un aumento del 10% de la anchura de banda ocupada, la potencia máxima dispersada por banda de 4 kHz es unos 9,5 dB mayor que el valor en condiciones de carga máxima, con independencia del número de canales.

Nota. – Cuando no se fija el nivel de la señal de distorsión, el grado requerido de dispersión puede obtenerse por los métodos descritos en [CCIR, 1970-74].

2.2 *Método 1b)*

Una variante del método 1a) comprendería, claro es, medios para ajustar automáticamente el grado de dispersión artificial de energía en función de la carga del sistema (véase el método 1b) de la fig. 1). En efecto, utilizando, por ejemplo, la dispersión por banda de ruido, la densidad espectral de energía máxima podría mantenerse muy cerca del valor de las condiciones de carga máxima sin aumentar la anchura de banda ocupada en radiofrecuencia. El resultado que en la práctica pueda obtenerse dependerá de la distorsión que produzca la interacción (por limitación de la anchura de banda en radiofrecuencia y por otras características de transmisión) entre la señal de dispersión, los tonos aislados y los canales telefónicos activos en condiciones de carga reducida. Es probable que el problema sólo pueda resolverse experimentalmente, pues todavía no existe ningún método generalmente aceptado para calcular la distorsión de las señales moduladas en frecuencia durante la transmisión, incluso para el simple caso de carga de ruido blanco.

Un método propuesto para aplicar los distintos grados de dispersión, objeto del presente punto, consiste en introducir conversación simulada (es decir, ruido de anchura de banda limitada) en una proporción adecuada de los canales telefónicos inactivos. Aunque de esa forma podría mantenerse la dispersión total sin aumentar la anchura de banda, la complejidad del equipo que probablemente se necesitaría, constituye una gran desventaja, pues habría que aplicarlo a los cuadros de conmutación en audiofrecuencia en que tiene su origen la banda de base.

3. Dispersión por control automático de la excursión de frecuencia

3.1 *Consideraciones generales*

No hay duda de que el nivel de la señal que llega al modulador de frecuencia podría ajustarse para mantener en un nivel constante el valor eficaz (o la cresta) de la excursión de frecuencia. El nivel deseado podría obtenerse sometiendo simplemente la banda de base, sea cual fuere su contenido, a una amplificación adecuada, o amplificándola después de introducir cierto valor fijo o variable de dispersión artificial. La atenuación global de transmisión de la banda de base del sistema se mantendrá suficientemente constante compensando la ganancia después de la demodulación mediante una frecuencia pura proveniente de una señal piloto. A continuación se analizan las distintas posibilidades.

3.2 *Método 2a)*

De los métodos de dispersión de energía portadora considerados, el más general es el método 2a) de la fig. 1, del cual se derivan, hasta cierto punto, los demás. Consiste en superponer en la banda de base, antes de aplicar el control automático de excursión de frecuencia, una fuente de dispersión artificial de energía cuya amplitud es función de las condiciones de carga. El uso de este método modifica, o aumenta muy poco, la anchura de banda ocupada en radiofrecuencia. Además, retrasando la aplicación de la dispersión artificial hasta casi obtener las condiciones de carga reducida, es posible que se lograra disminuir notablemente la sensibilidad del sistema al ruido térmico, a la distorsión y a la interferencia. La importancia de esta disminución dependerá de la fracción de potencia de la banda de base con carga máxima que se atribuyese a las señales telefónicas. En cuanto al método 1b), convendría también determinar la distorsión de la banda de base con él asociada, aun cuando, en igualdad de condiciones, tal distorsión sería menor que con el primer método porque la mayor excursión de frecuencia por canal, en condiciones de carga reducida, haría menos sensible el sistema a los componentes de distorsión producidas en radiofrecuencia.

En lo que respecta a la elección del medio de introducir una dispersión artificial en la banda de base, podrá utilizarse cualquiera de las ondas de dispersión de baja frecuencia consideradas en el punto 2. La banda de ruido semejante a uno o varios canales telefónicos constantemente activos merece quizá la preferencia por ser razonablemente eficaz, porque produce la misma dispersión para una excursión de cresta determinada que la banda de base, permite un control preciso de la excursión mediante un sencillo detector de valores de cresta y no ofrece dificultades de aplicación con grandes amplitudes.

3.3 *Método 2b)*

No es más que una simplificación del método anterior; permite mantener en un valor fijo la amplitud de la señal de dispersión introducida. Aumentaría algo la anchura de banda ocupada en radiofrecuencia, pero no tanto como con el método 1a) para el mismo grado de dispersión.

3.4 *Método 2c)*

La ausencia completa de una señal de dispersión artificial en la señal de modulación reduciría la dispersión por control automático de la excursión de frecuencia a su forma más simple. Al parecer, la eficacia del método depende del grado moderado de complejidad que comporta el espectro de la banda de base, incluso con carga reducida. Desgraciadamente, no es posible contar con ello: en ausencia completa de toda actividad del canal telefónico, la carga del sistema degeneraría en cierto número de frecuencias piloto, residuos de portadora y otros elementos de esta índole. Pueden existir suficientes señales como éstas en un sistema de gran capacidad para producir en la banda de base algo semejante a una potencia uniformemente distribuida, pero no es probable que ocurra lo mismo en los sistemas de poca capacidad, cuyos niveles de carga más bajos podrían deberse a un número muy pequeño de señales piloto predominantes, especialmente si en un nivel excepcionalmente bajo hay muchos residuos de portadora.

Si la carga de un sistema sólo está constituida por una o dos señales predominantes en la banda de base, es posible demostrar que las densidades espectrales en radiofrecuencia pueden ser muchos decibelios superiores a las que se obtienen en condiciones de carga máxima. Por consiguiente, no sería razonable confiar en la presencia de algunas frecuencias para obtener, mediante el control automático de excursión de frecuencia exclusivamente, un grado de dispersión de energía similar al que se obtiene con carga máxima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos del CCIR

[1970-74]: 4/273 (URSS).

ANEXO II

MÉTODOS DE DISPERSIÓN DE LA ENERGÍA APLICABLES A LAS SEÑALES DE TELEVISIÓN ANALÓGICAS CON MODULACIÓN DE FRECUENCIA

1. Introducción

En un sistema de transmisión de televisión con modulación de frecuencia, gran parte de la potencia radiada se puede concentrar en la frecuencia portadora, o cerca de ella, en determinadas condiciones de modulación, por ejemplo, cuando se transmite una imagen de televisión con grandes zonas de igual brillo. La dispersión de la energía puede obtenerse añadiendo a la señal de video, antes de la modulación, una señal adecuada de baja frecuencia.

Con el fin de obtener información sobre la degradación que puede producir la utilización de esta técnica de dispersión de la energía, se ha realizado un estudio experimental para determinar los efectos subjetivos que en las señales de televisión en blanco y negro de 625 líneas causan la adición y supresión, por diversos métodos, de distintas señales de baja frecuencia adecuadas para la dispersión de la energía.

2. Señal de dispersión

La amplitud y la forma de la señal de dispersión que se añade a la señal de video antes de la modulación, deben producir el grado requerido de dispersión de energía de la portadora sin introducir una degradación apreciable en las características de transmisión del sistema. Esta última condición depende también de la eficacia del método que se utilice para suprimir la señal agregada, y de la linealidad global del sistema de transmisión. Para determinar la señal preferida, se han considerado con bastante detalle dos formas de onda triangular (la triangular «simétrica» y la de «diente de sierra») con frecuencias de repetición centradas en aproximadamente 50, 25 y 12,5 Hz.

Se consideró que el resultado más favorable se obtendría sincronizando la señal de dispersión con la frecuencia de trama de la señal de televisión, y que la puesta en fase relativa de las señales sincronizadas podría, en ciertos casos, introducir variaciones en la degradación de la imagen. Se estudiaron estos efectos utilizando ambas señales de dispersión sincronizadas y no sincronizadas; en lo que respecta a la deterioración de la imagen recibida, los experimentos demostraron que es mucho más ventajoso utilizar señales sincronizadas que señales no sincronizadas. Como la generación de señales sincronizadas con la frecuencia de trama de televisión no presenta en la práctica ningún problema, los demás experimentos se circunscribieron a señales sincronizadas.

El procedimiento de sincronización debe normalmente asegurar la puesta en fase correcta de estas señales con la señal de trama de televisión. Con las señales en diente de sierra de 50, 25 y 12,5 Hz y con las simétricas de 25 y 12,5 Hz, todos los puntos de inflexión se producen durante el intervalo de supresión de trama, y las discontinuidades en la pendiente de la señal no se traducen en deterioraciones de la imagen. Con la señal simétrica de 50 Hz, únicamente los puntos alternos de inflexión pueden coincidir con el intervalo de supresión de trama, y los demás puntos se producen en el centro de cada trama (es decir, a través del centro de la imagen).

Se creyó que, para la dispersión de la energía, sería probablemente necesario un nivel cresta a cresta de la señal de dispersión del 10% al 50% de la amplitud cresta a cresta de la señal de video antes de la preacentuación y las pruebas se limitaron a esta gama de niveles.

Kumysh [1970] y Shavdiya e Ignatkin [1974] han descrito un método para aumentar el nivel de la dispersión sin aumentar, al propio tiempo, la excursión de frecuencia de cresta. En este método se propone someter los picos que se forman en los bordes del impulso de la señal de video, como resultado del paso por el circuito normal de preacentuación, a un proceso no lineal previo a la modulación. Este proceso reduce la amplitud cresta a cresta de la señal de video, proporcionando por consiguiente la posibilidad de aumentar la dispersión en la anchura de banda original del sistema.

Otro factor que hay que tener en cuenta al diseñar los sistemas de dispersión de energía es la presencia probable de dispersión «natural» provocada por imperfecciones de los componentes del sistema. Por ejemplo, los sistemas que contienen convertidores elevadores de frecuencia pueden introducir un nivel significativo de dispersión como resultado de «temblores» («jitter») en los osciladores de estos equipos. Se requieren nuevos estudios para determinar la posible contribución de la dispersión «natural» a los problemas de coordinación, sin introducir al propio tiempo una reducción inadmisible de la calidad de funcionamiento del sistema con dispersión.

3. Linealidad del canal de transmisión

Cuando el canal de transmisión presenta características no lineales, pueden producirse fenómenos de intermodulación entre la señal de dispersión y la señal de video. En tal caso, pueden aparecer defectos molestos en la imagen de televisión, particularmente en la imagen en color. Por ejemplo, pruebas hechas con el sistema PAL y una señal de dispersión triangular simétrica a 50 Hz (sincronizada con la exploración de trama) y

unos 0,5 V cresta a cresta medida antes de la preacentuación en un punto en el que la señal de video tiene el nivel nominal de referencia (véase la Recomendación 270), han demostrado que la imagen poseía un índice de calidad subjetiva igual a 3 en la escala de degradación de seis notas (nota 2 del Informe 405) en las siguientes condiciones:

- fase diferencial . . . . . 8°
- ganancia diferencial 10%
- no linealidad a corto plazo . . . . . 10%.

Parece conveniente proseguir los estudios al respecto, a fin de determinar el límite admisible de la no linealidad para los distintos sistemas de televisión en un enlace de televisión por satélite que emplee la dispersión de energía.

4. Supresión de la señal de dispersión

En la estación terrena receptora hay que eliminar de la señal de la banda de base la señal de dispersión; a tal fin se han propuesto los dos métodos siguientes:

4.1 *Anulación de la señal de dispersión*

La señal de dispersión puede eliminarse de la señal de la banda de base por «anulación» mediante otra señal de dispersión, generada localmente e introducida en contrafase con la primera. Puede resultar útil transmitir la señal de dispersión por un canal secundario y disponer así de otro medio para reproducir localmente la señal.

Existen dos métodos posibles de anulación: en el primero la señal de dispersión puede inyectarse con fase opuesta después de la demodulación, mientras que, en el segundo, el oscilador local del receptor de la estación terrena se modula en frecuencia mediante la señal de dispersión de fase opuesta. Este método tiene la ventaja de que, al anularse la energía de dispersión antes de la demodulación de la señal de modulación de frecuencia, no hay que aumentar la anchura de banda en frecuencia intermedia del discriminador. Recientemente se han hecho experimentos que han demostrado que la anulación de la señal seguida de una «fijación» (como se describe en el punto 4.2) constituye un método eficaz que suprime de la manera más completa la señal de dispersión que cuando se recurre únicamente a una o dos «fijaciones».

4.2 *Fijación del nivel del negro*

Los efectos de la señal de dispersión pueden suprimirse de la señal de la banda de base mediante la conocida técnica aplicada en televisión, denominada «fijación del nivel del negro». Se trata de un dispositivo que se utiliza normalmente para suprimir la distorsión de baja frecuencia en una señal de televisión, mediante muestreo y corrección de errores [Savage, 1962; Doba y Rieke, 1950].

La medida en que puede reducirse una señal de error en baja frecuencia mediante la fijación, depende de la frecuencia de la señal de error y del nivel del ruido aleatorio presente en la señal de video. Como los primeros sistemas de satélites pueden tener que transmitir señales de video con una relación señal/ruido mediocre, en los experimentos se ajustaron las características de los dispositivos de fijación de modo que coincidieran con las características óptimas que puedan obtenerse con sistemas de 625 líneas que funcionan con una relación señal/ruido mediocre. En el cuadro II se indican características típicas para las señales sinusoidales de error.

CUADRO II

Frecuencia de la señal de error (Hz) (onda sinusoidal)	50	25	12,5
$\frac{\text{Nivel cresta a cresta de la señal de error a la salida}}{\text{Nivel cresta a cresta de la señal de error a la entrada}}$ (dB)	−15	−21	−27

(Conviene hacer observar que, al disminuir la frecuencia de la señal de error, aumenta la eficacia de la fijación y la visibilidad del parpadeo de la imagen. Por consiguiente, desde el punto de vista subjetivo de la deterioración de la imagen, estos dos efectos tienden a anularse.)

El efecto que produce la fijación del nivel del negro a una señal de error de forma triangular es similar al que se obtendría si la señal de error fuese diferencial. Con los niveles que en un sistema real de dispersión de energía pueden necesitarse, un solo dispositivo de fijación del tipo descrito no reduce a un nivel aceptable la deterioración de imagen introducida por cualquiera de las distintas señales consideradas.

Conviene mencionar la principal diferencia entre la señal en «diente de sierra» y las señales «simétricas». Como la pendiente de la primera es constante durante la parte «activa» de cada trama, la única deterioración de imagen que puede observarse en monitores de imagen, después de fijar el nivel del negro de la señal de video, es un ligero y quizá insignificante sombreado a través de la imagen. No obstante, la gran pendiente de la señal de dispersión, durante el intervalo de supresión de trama, produce en la señal una fuerte distorsión cuya magnitud depende del valor que tenga la señal de dispersión utilizada. Esta distorsión es muy perjudicial en la práctica, porque puede interferir con las señales de sincronización y con las de prueba de intervalo vertical durante el intervalo de supresión de trama, y este tipo de distorsión es extremadamente difícil de suprimir una vez introducido en la señal de video.

Con la señal «simétrica», el defecto residual de una sola operación de «fijación del nivel del negro» se manifiesta por una deterioración de la imagen. En el caso de una señal de 50 Hz, el defecto aparece como una perturbación a través del centro de la imagen, y en el de las señales de 25 y 12,5 Hz se observa parpadeo. Este efecto depende también del nivel de la señal de dispersión utilizada, pero aplicando una nueva fijación se reduce el parpadeo a un nivel imperceptible, incluso con una señal de dispersión cuya amplitud sea igual al 50% de la amplitud cresta a cresta de la señal de video.

Aunque las características de la distorsión de la señal son algo distintas después de dos «fijaciones del nivel del negro», la magnitud de la dispersión residual es unos 10 a 20 dB menor con una señal de dispersión simétrica que con una señal en «diente de sierra».

4.3 *Realimentación de frecuencia*

La señal de dispersión se puede eliminar utilizando técnicas de realimentación de frecuencia de banda estrecha, que se aplican al paso de frecuencia intermedia del receptor. La ventaja de este método es que permite reducir la anchura de banda efectiva del receptor, con la consiguiente mejora del umbral de ruido del mismo.

En una aplicación particular del principio arriba mencionado, se ha elegido una señal de dispersión de 2,5 Hz. En el receptor, se elimina esta señal por medio de un circuito de realimentación negativa provisto de un filtro de baja frecuencia con una frecuencia de corte inferior a la frecuencia más baja de la señal de video. La excursión de frecuencia producida por la señal de dispersión se reduce así en una magnitud que depende del grado de realimentación empleado, pudiéndose alcanzar fácilmente una reducción de 15 dB, sin afectar la amplitud de la señal de video.

5. Dispersión por transformación de la señal de video

Aplicando una modulación angular a la señal de televisión, puede asegurarse la dispersión de la energía de la portadora invirtiendo la polaridad de la señal de video, línea por línea, y sustituyendo los impulsos de sincronismo de línea y de trama por ráfagas de oscilaciones sinusoidales. El periodo de cada ráfaga es igual al del impulso de sincronismo correspondiente, y la amplitud cresta a cresta de la oscilación sinusoidal es idéntica a la de una señal de video.

En [Mustafidi y Finogeev, 1976] se indican los resultados experimentales obtenidos con este método de dispersión de la portadora.

6. Forma de onda de la señal de dispersión de energía a la frecuencia de línea

La forma de onda de la señal de dispersión de energía usualmente adoptada para sistemas de televisión, una onda triangular con una frecuencia equivalente a la mitad de la frecuencia de trama, es ineficaz para proteger las transmisiones de un solo canal por portadora (SCPC). Ello se debe a que, con la velocidad de barrido de frecuencia resultante, de alrededor de 1 MHz por 1/50 s, el tiempo que permanece la portadora dentro de la banda de paso del receptor SCPC es mucho mayor que el tiempo de respuesta del filtro de FI del receptor. De ello resulta que, periódicamente, el demodulador del receptor SCPC queda plenamente expuesto a la portadora de televisión.

Unos estudios efectuados en los Estados Unidos de América [Yam, 1980], en la URSS [Borodich, 1982; Dorofeev, 1984] y en Francia [CCIR, 1982-86] indican que hay posibilidades de utilizar la dispersión de energía a la frecuencia de línea de televisión para reducir entre 9 y 10 dB el margen de protección necesario para proteger las emisiones MIC-MDP-SCPC contra las portadoras de televisión MF, en comparación con la dispersión de energía a la mitad de la frecuencia de trama. La fig. 3a indica la relación de protección calculada en función de la frecuencia de la señal de dispersión (f_d) para una anchura de banda por cada canal SCPC de 32 kHz y una excursión de la señal de dispersión (Δf) de 1 MHz cresta a cresta. (La interferencia se considera admisible cuando aumenta la probabilidad de error (BER) de 10^{-7} a 10^{-6}.) La fig. 3b muestra, a modo de ejemplo, la proporción de bits erróneos en función de la frecuencia de la señal de dispersión medida en un canal SCPC centrado en la frecuencia central de la fuente de interferencia. La fig. 4 muestra las variaciones de BER en un enlace SCPC simulado, en función de la frecuencia de la señal de dispersión y para diferentes excursiones de frecuencia de una portadora modulada únicamente con una forma de onda de dispersión triangular. La mejora del margen de protección que se logra utilizando la dispersión de energía a la mitad de la frecuencia de línea, por comparación con la dispersión de energía a la mitad de la frecuencia de trama, varía en función del contenido de la imagen y del sistema de televisión. Esta mejora puede ser de tan sólo 4 dB, como muestran las figs. 5a, 5b y 5c.

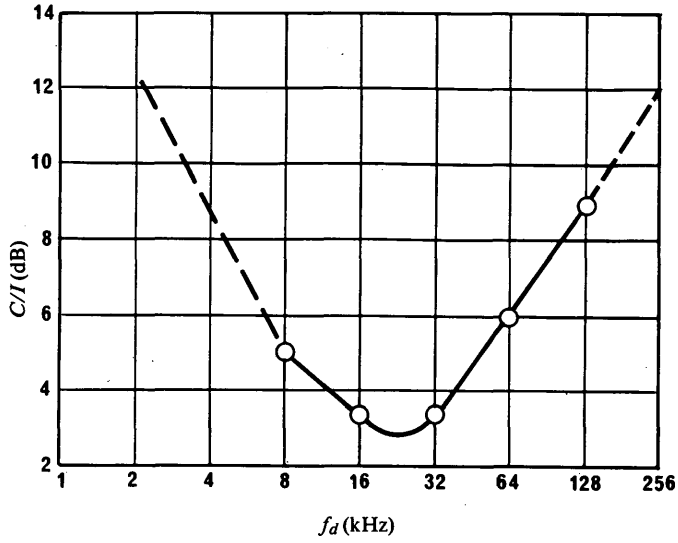


FIGURA 3a – *Relación de protección (C/I) en función de la frecuencia de la señal de dispersión (f_d)*

B = 32 kHz
Δf = 1 MHz
C/I sin dispersión = 18,4 dB
○ puntos calculados

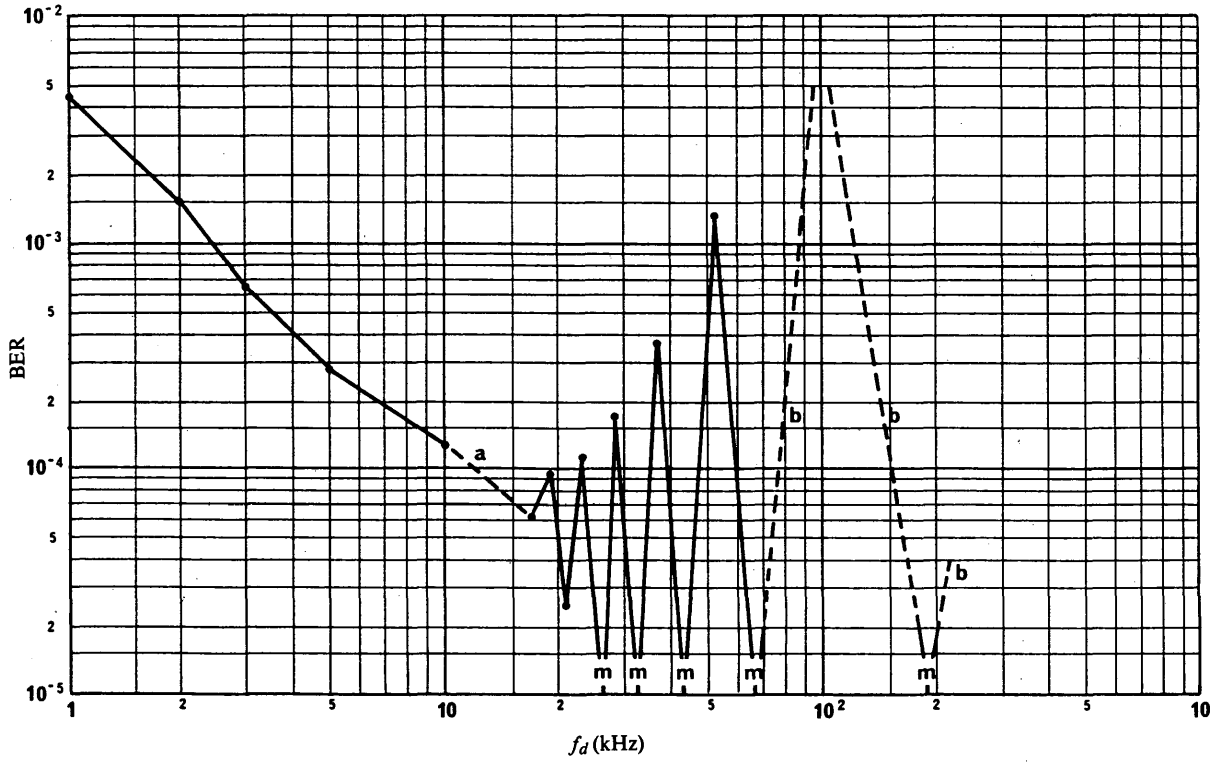


FIGURA 3b – *Proporción de bits erróneos (BER) en función de la frecuencia de la señal de dispersión (f_d)*

B = 32 kHz
Δf = 1 MHz
C/N = 15 dB
C/I = 0 dB

a: Variación de la BER
b: Paquetes de errores y desconexión del modem SCPC
m: Cancelación de la señal interferente precisamente en el canal SCPC elegido

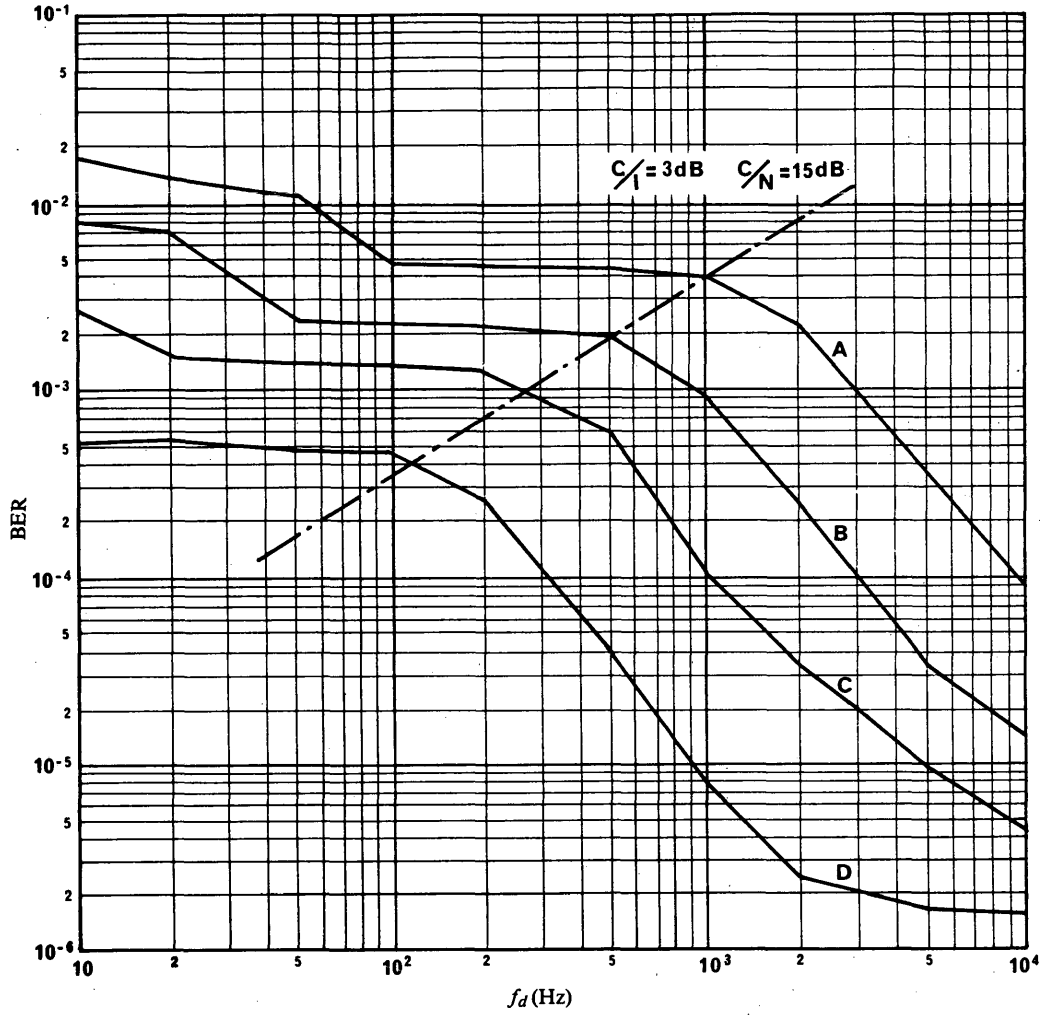


FIGURA 4 – *Proporción de bits erróneos (BER) en función de la frecuencia de la señal de dispersión (f_d), teniendo como parámetro la excursión cresta a cresta (Δf)*

Curvas A: Δf = 0,5 MHz
B: Δf = 1 MHz
C: Δf = 2 MHz
D: Δf = 5 MHz

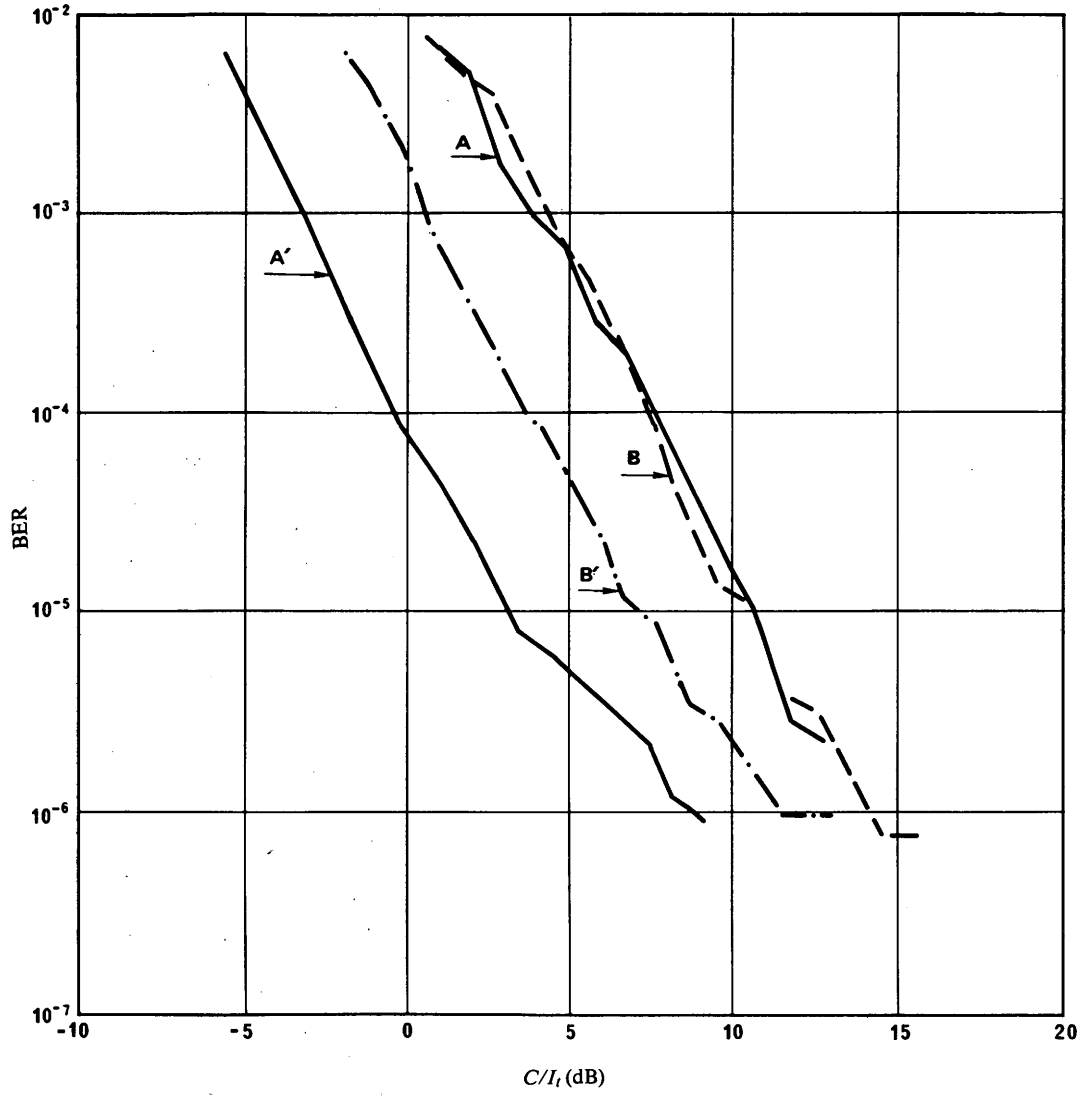


FIGURA 5a – *Proporción de bits erróneos (BER) en función del nivel de interferencia de una portadora de televisión modulada por una imagen en negro (I_t) para dos señales de dispersión de frecuencia distintas*

BER = f (C/I_t), C/N = 15 dB

Curvas A : Canal SCPC en el centro del espectro de la señal de televisión y dispersión a 1/2 frecuencia de trama
A': Canal SCPC en el centro del espectro de la señal de televisión y dispersión a 1/2 frecuencia de línea
B : Canal SCPC en el extremo del espectro de la señal de televisión y dispersión a 1/2 frecuencia de trama
B': Canal SCPC en el extremo del espectro de la señal de televisión y dispersión a 1/2 frecuencia de línea

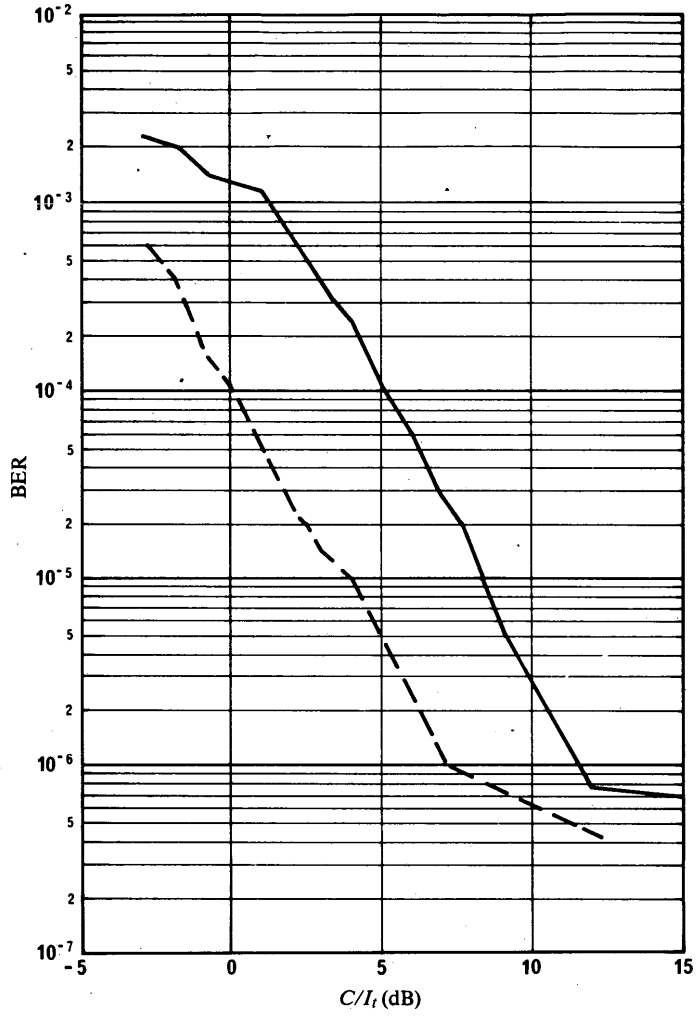


FIGURA 5b – *Proporción de bits erróneos (BER) en función del nivel de interferencia de una portadora de televisión modulada por una imagen de barras de color del sistema SECAM (I_t), para dos señales de dispersión de frecuencias distintas*

BER = f (C/I_t), C/N = 15 dB

Señales de dispersión de energía:

——— 1/2 frecuencia de trama

— — — — 1/2 frecuencia de línea

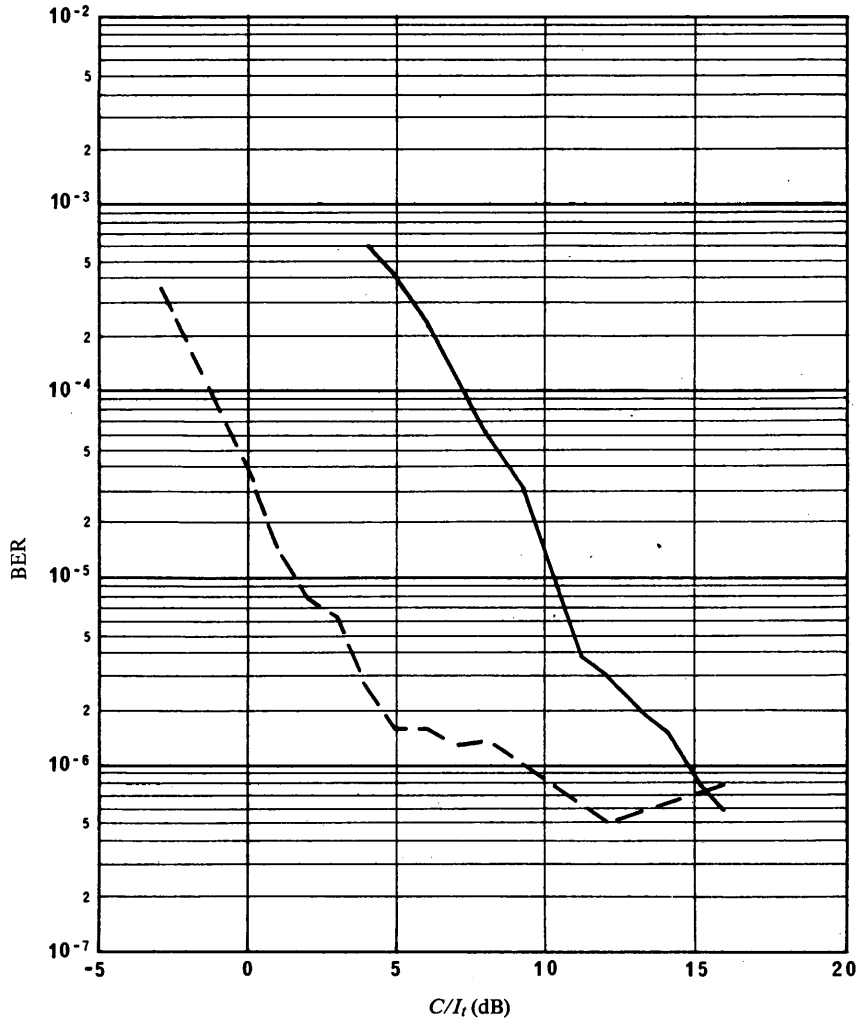


FIGURA 5c – *Proporción de bits erróneos (BER) en función del nivel de interferencia de una portadora de televisión (I_t) modulada por una imagen de barras de color del sistema PAL y para dos señales de dispersión de frecuencias distintas*

BER = f (C/I_t), C/N = 15 dB

Señales de dispersión de energía:

——— 1/2 frecuencia de trama

— — — — 1/2 frecuencia de línea

La utilización de una forma de onda de dispersión a la frecuencia de línea, producirá un nivel de interferencia en los circuitos telefónicos multicanales por satélite y en los circuitos de relevadores radioeléctricos terrenales, de hasta 6 dB superior a la que produciría una señal de dispersión de baja frecuencia (frecuencia de trama o inferior) [Kantor y otros, 1980; Borodich, 1976]. El efecto de esta degradación adicional dependerá de los parámetros de los sistemas de que se trate.

En vista de la posible interferencia causada por las señales de televisión MF en los sistemas SCPC y en sistemas terrenales de relevadores radioeléctricos, podría ser ventajoso utilizar una señal compuesta de dispersión con señales componentes lentas (por ejemplo, a la frecuencia de trama) y rápidas (por ejemplo, a la frecuencia de línea). La fig. 6 indica la relación de protección de los sistemas SCPC en función de la relación entre la excursión de la señal compuesta de dispersión a la frecuencia de línea Δ_{fl} y la excursión total de la señal de dispersión Δ_f. Esta relación indica que el nivel admisible de la interferencia de televisión MF en los sistemas SCPC se puede incrementar considerablemente añadiendo una componente a la frecuencia de línea a la forma de onda de dispersión lenta.

No obstante, han de proseguirse los estudios antes de que pueda pensarse en aplicar esas técnicas, dada la complejidad que ello introduciría en los receptores. Es necesario determinar, en particular, los límites aceptables de inclinación de la línea en la señal de televisión para evaluar la viabilidad de aplicar, bien la dispersión de energía a la frecuencia de línea, bien la dispersión de energía compuesta.

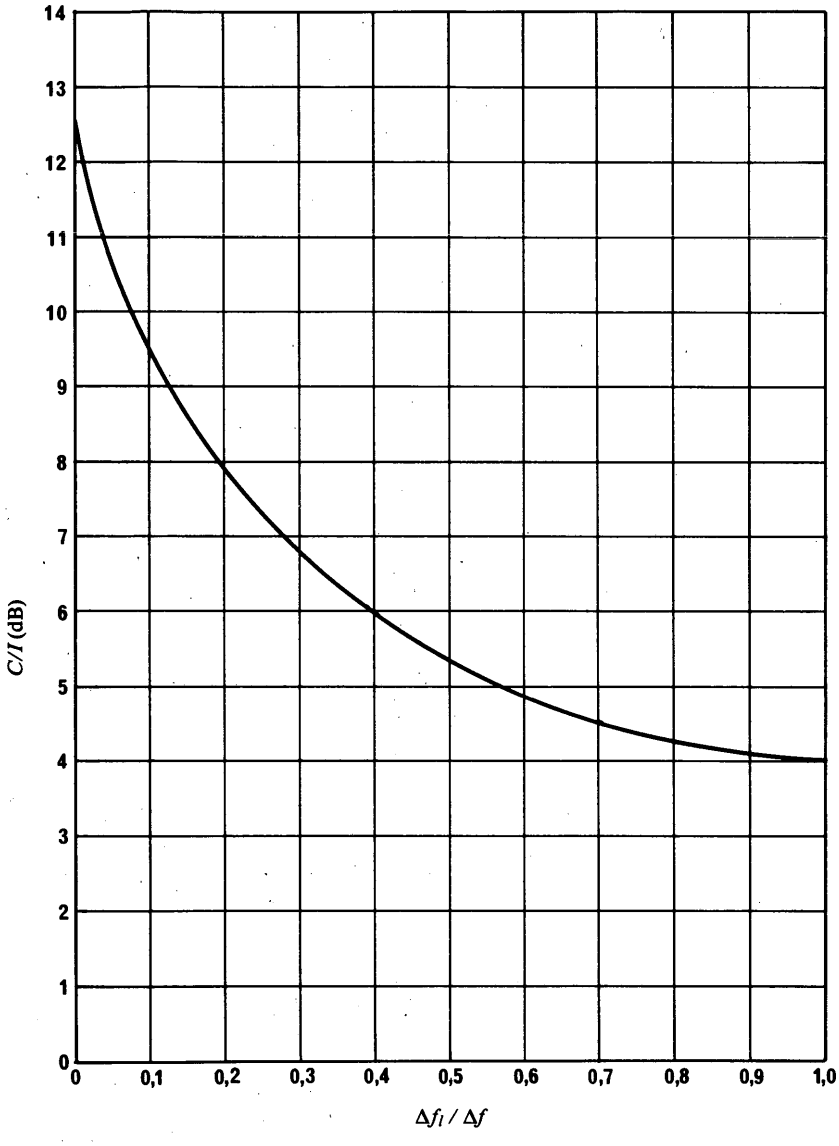


FIGURA 6 – *Relación de protección (C/I) en función de la relación $\Delta f_l / \Delta f$ en el caso de utilizar una señal de dispersión compuesta*

B = 32 kHz, Δf = 1 MHz, f_l = 15 kHz

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORODICH, S. V. [1976] Iskazheniya i pomekhi v mnogokanalnykh sistemakh radiosvyazi s chastotnoi modulyatsiei (Distorsiones e interferencia en sistemas MF para telefonía multicanal). *Sviaz*, Moscú, URSS.

BORODICH, S. V. [1982] Rashchet pomekh vyzvannykh meshayushchimi signalami v sistemakh peredachi «odin kanal na kazhdoy nesushchei» (Cálculo de la interferencia causada por señales no deseadas en sistemas de transmisión SCPC). *Trudy NIIR*, **4**.

DOBA, S. y RIEKE, J. W. [1950] Clampers in video transmission. *Trans. AIEE*, **69**, 477.

DOROFEEV, V. M. [1984] O vybore chastoty signala dispersii v sistemakh sputnikovoi svyazi (Elección de la frecuencia de una señal de dispersión en los sistemas de telecomunicaciones por satélite). *Elektrosviaz*, **9**, 8-10.

KANTOR, L. Y., MINASHIN, V. P., POVOLOTSKY, I. S., SOKOLOV, A. V. y TALYZIN, N. V. [1980] Sistema sputnikovogo televizionnogo veshchaniya «Moskva» (El sistema de televisión por satélite «Moskva»). *Elektrosviaz*, **1**, 6-10.

KUMYSH, E. I. [1970] Obrabotka televizionnogo signala v liniyakh svyazi s chastotni modulyatsiei (Proceso de señales de televisión en enlaces MF). *Trudy NIIR*, **1**.

MUSTAFIDI, K. P. y FINOGEEV, G. M. [1976] Rasseyanie energii nesushchei pri peredache televideniya (Dispersión de la energía de la portadora en una emisión de televisión). *Elektrosviaz*, **1**, 11-16.

SAVAGE, D. C. [1962] Three types of television signal stabilising amplifier. Report of International Television Conference. IEE, 251, Londres, Reino Unido.

SHAVDIYA, Y. D. e IGNATKIN, V. S. [1974] Predyskazhenie signalov tsvetnogo televideniya na liniyakh svyazi s CLM (Preacentuación de señales de televisión en color en enlaces MF). *Trudy NIIR*, **4**.

YAM, S.E. [primavera de 1980] New TV energy dispersal techniques for interference reduction. *COMSAT Tech. Rev.*, Vol. 10, **1**, 103-148.

Documentos del CCIR

[1982-86]: 4/93 (Francia).

ANEXO III

TÉCNICAS DE DISPERSIÓN DE ENERGÍA APLICABLES A SEÑALES DIGITALES

1. Consideraciones generales

Cuando el tren de impulsos de información presenta una estructura aleatoria, la energía de la portadora en radiofrecuencia estará lo suficientemente dispersa y las emisiones de una estación espacial no producirán crestas de densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra. Pero, si el tren de impulsos de información incluye una secuencia fija con un régimen periódico de repetición, algunos componentes en forma de rayas aparecen en el espectro de la portadora RF y, en consecuencia, algunas de las crestas de la densidad de flujo de potencia en la superficie de la Tierra pueden rebasar el límite recomendado por el CCIR.

Las técnicas de dispersión de energía que aquí se describen tienen por finalidad reducir las crestas de potencia del espectro; ello se logra produciendo un tren de impulsos de transmisión de forma similar a la de una secuencia aleatoria, cualquiera que sea la secuencia del tren de impulsos de información. En el punto 3 se describen dos técnicas de dispersión de energía.

2. Espectro de las señales digitales con modulación por desplazamiento de fase (MDP)

El espectro de potencia de una portadora modulada por inversiones de fase ideales consiste en «rayas» que, en una secuencia seudoaleatoria de N símbolos de t segundos por símbolo, están separadas por $1/Nt$ Hz. El espectro de potencia de esas rayas lo da aproximadamente la siguiente ecuación:

$$W(f) \approx \frac{1}{N}\left\{\frac{\text{sen}\,\pi(f-f_c)t}{\pi(f-f_c)t}\right\}^2 \delta\left(f-f_c-\frac{n}{Nt}\right) \qquad (1)$$

donde

N: longitud de la secuencia seudoaleatoria (símbolos),

t: duración de los símbolos (segundos),

n: número entero,

f_c: frecuencia de la portadora en RF (Hz),

δ: función delta.

La raya más ancha corresponde a $n = 1$.

A medida que la longitud de la secuencia se acerca al infinito, es decir, $N \to \infty$, también $Nt \to \infty$ y la separación entre las rayas $\to 0$. En este caso, el espectro de potencia será continuo y, por lo tanto:

$$W(f) = t\left\{\frac{\text{sen}\,\pi(f-f_c)t}{\pi(f-f_c)t}\right\}^2 \text{ por Hz} \qquad (2)$$

En este caso se observa que la densidad espectral máxima se produce en la frecuencia portadora.

La ecuación (2) da el valor medio del espectro de potencia en el caso ideal de un tren de impulsos aleatorio. En la práctica, la señal de modulación puede estar muy lejos de ser aleatoria. Por ejemplo, en el caso de la telefonía MIC empleando 8 bits por muestra, es probable una considerable periodicidad a un octavo de la velocidad de bits y, durante los periodos de poco tráfico, puede suceder que la señal transmitida esté constituida casi enteramente de ceros. En estas condiciones, gran parte de la potencia del espectro MDP se concentrará en una o más rayas espectrales y el factor de dispersión podría aproximarse a 0 dB.

Además del carácter no aleatorio de la parte de información de la señal, se observarán también secuencias recurrentes en los preámbulos de las transmisiones con acceso múltiple por distribución en el tiempo (AMDT).

Por otra parte, en un sistema real, el espectro se modificará mediante conformación de impulsos y/o filtrado después de la modulación; sin embargo, los mayores efectos se obtendrán hacia los bordes del espectro y la densidad espectral máxima no variará mucho.

Para asegurar el grado deseado de dispersión, puede efectuarse una suma módulo 2 de una secuencia seudoaleatoria de duración Nt con el tren de bits o de símbolos de información, como se indica, por ejemplo, en la fig. 7.

En una anchura de banda de referencia de 4 kHz, el factor de dispersión de energía (D) puede definirse como:

$$D = 10 \log \frac{\text{potencia total}}{\text{potencia maxima por 4 kHz}} \qquad (3)$$

Cuando se utilice una secuencia seudoaleatoria para dispersar la energía, el grado de dispersión puede calcularse mediante las ecuaciones (1) y (3) si $1/Nt \geqslant 4$ kHz, y mediante las ecuaciones (2) y (3) si $1/Nt < 4$ kHz.

Como indican las precedentes ecuaciones, el grado de dispersión es proporcional a N mientras la duración de la secuencia sea menor que la inversa de la anchura de banda de referencia. Apenas habrá dispersión suplementaria una vez que la duración de la secuencia sea de 250 µs (referencia, anchura de banda, 4 kHz).

3. Técnicas de dispersión de energía

3.1 *Método 1: Seudoaleatorizador*

Este método consiste en mantener la secuencia del tren de impulsos de transmisión en una forma similar a la de una secuencia aleatoria, independientemente de la carga de los canales. Para ello, se sintetiza una secuencia seudoaleatoria, a partir del tren de impulsos de información, producido por un generador de códigos seudoaleatorios utilizando un circuito lógico «O exclusivo» (circuito sumador módulo 2). En la fig. 7a) se muestra el esquema de principio de un equipo de dispersión de energía de la unidad transmisora. En la unidad receptora, un generador de códigos seudoaleatorios, que genera la misma secuencia de códigos que la unidad transmisora, recupera la información original mediante la síntesis, en un circuito «O exclusivo», de la secuencia de códigos seudoaleatorios producidos en el generador de códigos seudoaleatorios con el tren de impulsos de transmisión. La fig. 7b) muestra un esquema de principio de la unidad receptora.

Una de las ventajas de esta técnica es que la dispersión de energía puede realizarse sin degradación de calidad del tren de impulsos de información. Por otra parte, tiene la desventaja de que exige la sincronización del generador de códigos seudoaleatorios de la unidad receptora con el de la unidad transmisora. Sin embargo, en el caso de sistemas AMDT, la sincronización entre ambos generadores de códigos seudoaleatorios puede efectuarse mediante la señal de sincronismo de ráfagas, ya prevista en la unidad receptora, y por lo tanto no requiere dispositivo suplementario adicional alguno.

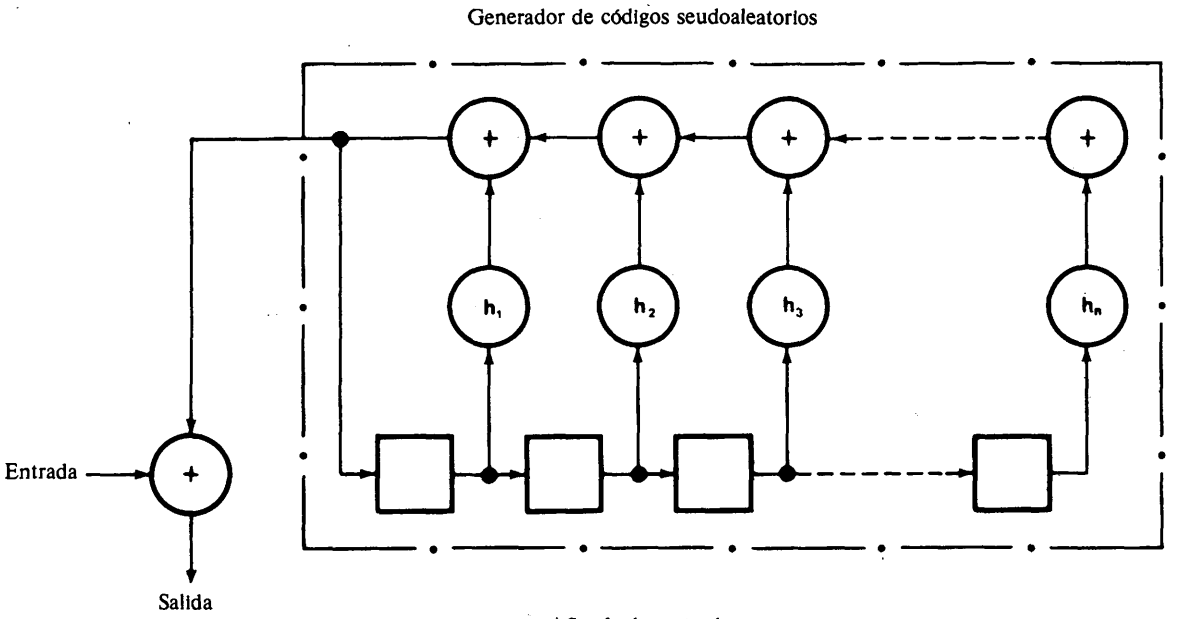
Se señala que la velocidad de transmisión de símbolos (o segmentos) de la secuencia de código seudoaleatorio no tiene que ser necesariamente igual al del tren de impulsos de información.

Se han realizado transmisiones experimentales de televisión digital por satélite [Hopkins y otros, 1981] y se ha medido el factor de dispersión de energía. Con una señal MDP cuadrifásica de 60 Mbit/s y una secuencia de pseudoaleatorización de 11 etapas, el factor de dispersión de energía medido fue de 37 dB. La dispersión teóricamente óptima con este tipo de señal sería 38,7 dB.

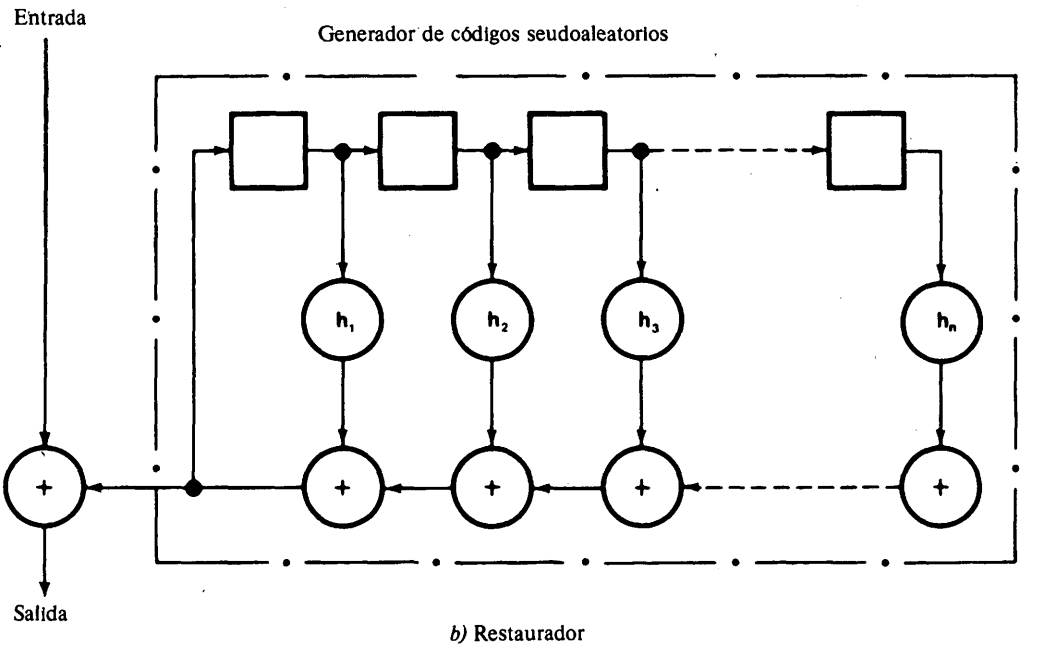
3.2 *Método 2: Autoseudoaleatorizador*

En esta técnica de dispersión de energía se utilizan registros de desplazamiento con un bucle de realimentación de la salida a la entrada, y de la entrada a la salida, respectivamente, instalados en las unidades receptora y transmisora. En la unidad transmisora, se realiza una conversión de código para cada bit del tren de impulsos de información. En el receptor se reconvierte cada bit del tren de impulsos de transmisión, recuperándose así el tren de impulsos de información original. Las figs. 8a) y 8b) muestran circuitos típicos de dicho seudoaleatorizador y deseudoaleatorizador, respectivamente.

Una de las ventajas de este método de dispersión de energía es que no requiere la sincronización entre el seudoaleatorizador y el restaurador; pero tiene la desventaja de que, si r es el número de pasos del registro de desplazamiento, el estado inicial de este registro afecta a los primeros r bits del tren de impulsos de transmisión y, en consecuencia, un solo bit erróneo en la cadena de transmisión de radiofrecuencia afecta a los r bits que siguen inmediatamente al bit erróneo. Este método de dispersión de energía, sin embargo, asociado a la detección y corrección de errores, podría aplicarse convenientemente a sistemas MIC de transmisión de datos, especialmente a los que funcionan en modo continuo, en contraposición a los que lo hacen en modo AMDT.



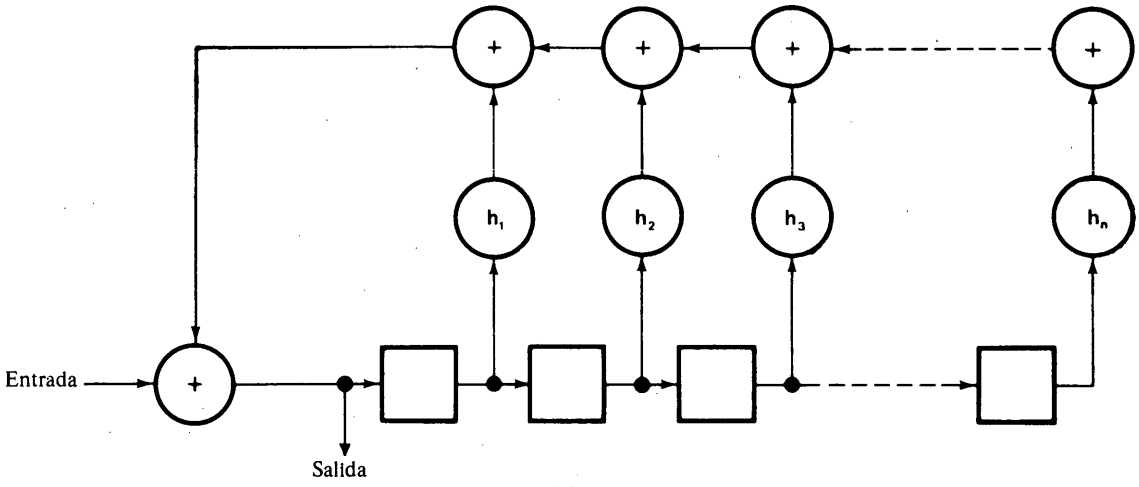
a) Seudoaleatorizador



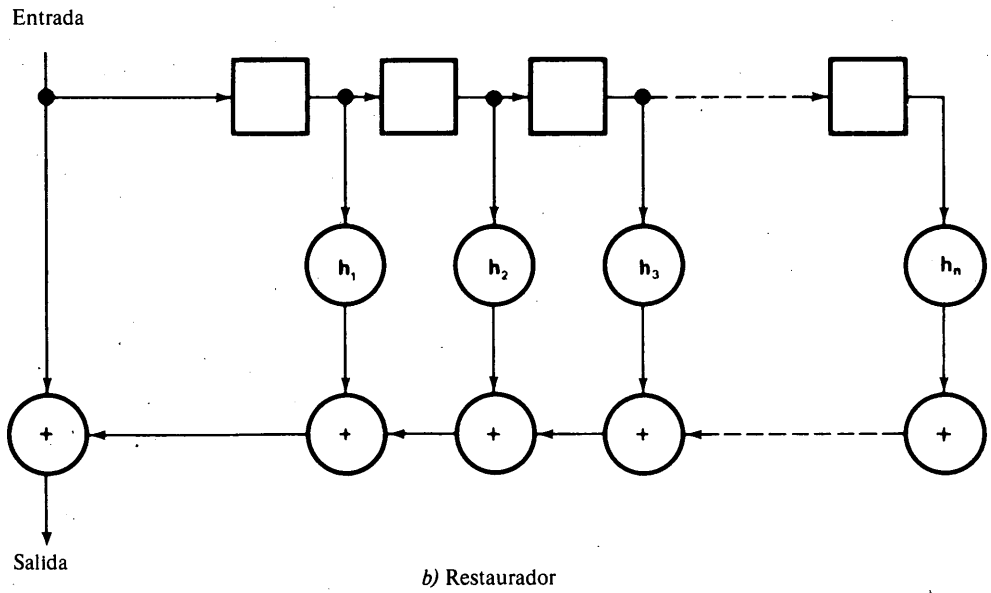
b) Restaurador

FIGURA 7 – *Ejemplo de dispersión de energía de acuerdo con el método 1*

Nota. — h_1, $h_2 \ldots h_n$ representan las conexiones internas del registro de desplazamiento, que determinan la secuencia de códigos.



a) Seudoaleatorizador



b) Restaurador

FIGURA 8 – *Ejemplo de dispersión de energía de acuerdo con el método 2*

Nota. — $h_1, h_2 \ldots h_n$ representan las conexiones internas del registro de desplazamiento, que determinan la secuencia de códigos.

4. Factor de dispersión de la energía para sistemas AMDT

El grado de dispersión obtenido mediante el método 1 es directamente proporcional a la longitud de la secuencia seudoaleatoria. Ahora bien, es inútil emplear una secuencia de duración superior a 250 μs, ya que las rayas del espectro de dispersión tendrían entonces una separación de menos de 4 kHz. En un sistema AMDT, la señal seudoaleatoria generada en el receptor puede sincronizarse con suma facilidad con la generada por el transmisor si se inicia cada vez la secuencia con cada ráfaga AMDT. Esto significa que la longitud de las secuencias será generalmente inferior a 250 μs y que no se obtendrá una dispersión ideal.

Los efectos de dispersión de energía para una señal AMDT dependen de la longitud de la secuencia seudoaleatoria, la longitud de la trama, el número de ráfagas, la longitud de cada ráfaga, los métodos de realizar la seudoaleatorización, etc. Suponiendo, para simplificar, que la longitud de cada ráfaga es igual o inferior a 250 μs y que la secuencia de dispersión es la misma para cada ráfaga en cada trama, el factor de dispersión de energía (D) puede determinarse aproximadamente por las siguientes ecuaciones:

$$D = 10 \log N + 10 \log B - K, \text{ cuando } N < M \quad (4)$$

$$D = 10 \log M + 10 \log B - K, \text{ cuando } N > M \quad (5)$$

donde:

N: longitud de la secuencia seudoaleatoria (símbolos),

M: longitud de la secuencia de información (símbolos),

B: número de ráfagas en una trama,

K: margen para el efecto de dispersión de energía.

En las ecuaciones precedentes, K es el término de variación estadística, que indica el grado decreciente de los efectos de dispersión de energía debido:

- al efecto de la coincidencia parcial entre una secuencia de información y una secuencia seudoaleatoria;
- al efecto de la diferencia entre la longitud de la secuencia de información y la de la secuencia seudoaleatoria;
- al efecto de la coherencia de fase de la portadora entre las ráfagas.

De estos efectos, el primero puede evaluarse como sigue: cuando la secuencia de información tiene una escasa correlación de trama, el margen debido a la coincidencia parcial depende del periodo de observación del espectro de potencia. En cambio, cuando la secuencia de información presenta una gran correlación de trama, se generará un esquema de secuencia casi igual en cada trama, de modo que su margen puede estimarse considerando el periodo de trama como el periodo de observación antes mencionado.

El segundo efecto podría ser despreciablemente pequeño eligiendo adecuadamente el grado y el valor inicial de la secuencia seudoaleatoria, si la longitud de esa secuencia es inferior en varias veces la de la secuencia de información.

El tercer efecto es también despreciable, ya que las frecuencias portadoras de las ráfagas suelen diferir entre sí más de varios cientos de Hz.

Es evidente que la complejidad del sistema se reducirá considerablemente si la secuencia seudoaleatoria se aplica únicamente a la parte de información de la señal y no al preámbulo de una ráfaga AMDT. En general, el preámbulo consistirá, al menos en parte, en una simple secuencia recurrente, e incluso podrá contener, en algunos casos, un periodo de portadora no modulada. Los resultados expuestos en el cuadro III demuestran que, para una secuencia recurrente de preámbulo 0011 en un sistema MDP de 4 niveles, el preámbulo no contribuirá en mucho a la densidad espectral máxima, salvo quizá en sistemas de velocidad de transmisión de bits reducida. Otras secuencias de preámbulo de duración igual a la supuesta en el cuadro III podrán ser 3 dB menos favorables, como máximo.

Para dar una idea de los factores de dispersión que pueden lograrse en la práctica, en el cuadro III se indican los valores correspondientes a un sistema AMDT en que el preámbulo no está sujeto a dispersión. Se partió de las hipótesis siguientes:

- longitud de trama: 125 μs;
- modulación: MDP de 4 niveles;
- señal de preámbulo: 40 bits de estructura 0011, en alternancia;
- las frecuencias portadoras de todas las estaciones están a 4 kHz una de otra pero el ritmo de los símbolos de las distintas estaciones no está necesariamente en fase;
- los generadores de secuencias seudoaleatorias se ponen a cero después de cada ráfaga.

La variación estadística del espectro de potencia es tal que el 1% de las rayas espectrales rebasarán en 6,5 dB el valor eficaz (r.m.s.) de la envolvente.

CUADRO III — *Ejemplos de factores de dispersión de energía para una serie de longitudes de secuencias seudoaleatorias*

	Factores de dispersión en sistemas de acceso único (dB)			Acceso por 10 estaciones iguales						Factores de dispersión resultantes (dB)		
				Potencia máxima en una banda de 4 kHz (dB con relación a la potencia total en régimen permanente)								
				a) debida a los preámbulos			*b)* debida a la información					
Velocidad de transmisión de bits (Mbit/s)	10	50	250	10	50	250	10	50	250	10	50	250
Señal moduladora aleatoria	31	38	45							31	38	45
Secuencia seudoaleatoria de 127 bits	12	12	12	-23	-37	-51	-20	-22	-22	20	22	22
Secuencia seudoaleatoria de 511 bits	18	18	18	-23	-37	-51	-20	-28	-28	20	28	28
Secuencia seudoaleatoria de 2047 bits	24	24	24	-23	-37	-51	—	-29	-34	—	29	34
Secuencia seudoaleatoria de 32 767 bits	25	32	36	-23	-37	-51	—	—	-36	—	—	36
Sistema típico de modulación de frecuencia plenamente cargado con la misma anchura de banda que el sistema digital (basado en el espectro gaussiano y en una relación anchura de banda RF/anchura de banda base igual a 15)	27	34	41									

5. Ejemplo de aplicación de la dispersión de energía a un sistema AMDT experimental

Se ha utilizado el método 1 de dispersión de energía en el sistema TTT, que es un sistema AMDT experimental (50 Mbit/s) desarrollado en Japón para sistemas de radiocomunicaciones por satélite. En este sistema se seudoaleatorizan únicamente los bits de información; sin embargo, el valor de cresta del espectro de potencia se reduce unos 20 dB.

Conviene tener en cuenta que, cuando se aplica a un sistema AMDT una técnica de dispersión de energía con una secuencia seudoaleatoria, la probabilidad de que se produzca una falsa detección de una «palabra única» determinada puede aumentar en una medida que es función del modo de sincronización de ráfaga.

Puede evitarse la falsa detección de la «palabra única» alterando el estado inicial de la secuencia de códigos aleatorios para cada trama.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HOPKINS, D. K. W., OSBORNE, D. W., WELLS, N. D. y WILSON, E. J. [1981] Experimental digital television transmissions through the OTS. Report of International Conference: Results of tests and experience with the European Test Satellite. IEE, Londres. Conf. Publ. No. 199.

BIBLIOGRAFÍA

JEFFERIS, A. K. [mayo de 1973] Spectral-energy dispersal in digital communication-satellite systems. *Proc. IEE*, Vol. 120, **5**, 529-532.

INFORME 867-1

INTERFERENCIA MÁXIMA ADMISIBLE SOBRE LAS TRANSMISIONES SCPC DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Programa de Estudios 27A/4)

(1982-1986)

1. Introducción

Las transmisiones SCPC (un solo canal por portadora) se han convertido en un servicio ampliamente utilizado en los sistemas del servicio fijo por satélite. No obstante, por su naturaleza, son muy sensibles a la interferencia causada por otras transmisiones que tienen componentes de alta densidad espectral. Una de las que causa mayor interferencia es la de portadora TV-MF ya que durante periodos apreciables de tiempo puede haber una dispersión inherente despreciable de la energía de dicha portadora y, por consiguiente, se requiere que las transmisiones SCPC tengan un aislamiento sustancial cuando operan en la misma frecuencia.

La dispersión artificial de energía, utilizada con éxito para reducir la interferencia causada por las transmisiones TV-MF en otras transmisiones TV-MF y en transmisiones de telefonía MDF-MF de baja capacidad, se ha considerado como un medio para mejorar también la situación en el caso de las transmisiones SCPC.

A continuación se resumen los efectos conocidos actualmente de la interferencia de un tipo de portadora TV-MF dispersada artificialmente sobre las transmisiones SCPC utilizadas en el sistema INTELSAT. Los trabajos realizados han conducido al desarrollo de una forma de criterios de interferencia aplicables al caso, pero es preciso proseguir los esfuerzos teniendo en cuenta parámetros de otros sistemas.

2. Interferencia sobre transmisiones SCPC de señales MIC de 8 bits con modulación por desplazamiento de fase (MDP) de 4 niveles

Una de las técnicas de dispersión que se acostumbra a aplicar a la TV-MF analógica, consiste en modular la portadora con una onda de forma triangular de determinada desviación de cresta a cresta en una frecuencia cercana a la frecuencia de repetición de imagen («dispersión triangular lenta») y eliminar dicha onda después de la recepción. Cuando la desviación cresta a cresta es mayor que el ancho de banda ocupado de la señal interferida, la potencia total de la portadora interferente permanecerá en ese ancho de banda durante la fracción de tiempo correspondiente a la relación entre el ancho de banda ocupado, B, y la desviación cresta a cresta de la dispersión de energía Δf. La relación $\delta = B/\Delta f$, por analogía con las señales de tipo impulsivas, se denomina ciclo de trabajo.

La Recomendación 523 estipula que la potencia total de interferencia de predemodulación en una portadora de telefonía MIC de 8 bits, producida por otras redes del servicio fijo por satélite no debería exceder de i% de la potencia total del ruido de predemodulación (en el caso de banda ocupado por la portadora interferida) cuando la proporción neta de bits erróneos es de 10^{-6}. El porcentaje i es igual a 10 para los sistemas actuales, a 20 para los futuros sistemas que empleen la reutilización de frecuencias intrarred (sistemas de una misma red) y a 25 para los futuros sistemas que no empleen la reutilización de frecuencias intrarred.

Aplicando el criterio de $i = 10\%$ a una transmisión SCPC/MDP de 4 niveles/MIC-7 bits a 64 kbit/s, conforme se utiliza en el sistema INTELSAT, la relación neta de portadora/ruido térmico (C/N) equivalente para lograr una proporción de errores de 10^{-6} es aproximadamente de 14,0 dB [CCIR, 1978-82a] que, con el criterio de $i = 10\%$, exige una relación C/N interna neta de unos 14,5 dB y una relación C/I neta total de unos 24,5 dB.

Se espera que la MIC de 8 bits por muestra tenga un comportamiento similar a la de 7 bits, para la cual se dispone de datos medidos.

En la fig. 1 se ilustra la relación C/I necesaria para lograr una proporción de bits erróneos de 10^{-6} como función de δ cuando la C/N neta es de 14,5 dB, según los datos medidos para el caso más general de n señales interferentes de onda continua, todas con dispersión de energía triangular lenta idéntica pero sin correlación. Cabe señalar que en este gráfico la I de la relación C/I es la suma de todas las potencias de las portadoras interferentes. Si para cada señal interferente se utilizara la potencia de la interferencia promediada en tiempo en vez de la potencia total de la portadora interferente, habría que aumentar en $10 \log 1/\delta$ los valores de C/I necesarios.

En la práctica, un número máximo equivalente de 4 entradas de interferencia para valores pequeños de δ parece asegurar una protección suficiente, e INTELSAT, para su uso en el proceso de coordinación entre sistemas [CCIR, 1978-82b], consideró que, para la interferencia causada por una portadora de onda continua con dispersión de energía triangular lenta a una portadora SCPC, es apropiado utilizar el siguiente criterio en el caso de una sola entrada de interferencia:

$$C/I \geqslant 27{,}5 + 6 \log \delta \quad \text{dB} \qquad (1)$$

donde C/I es la relación portadora SCPC/potencia total de la señal de onda continua interferente no dispersada. Este criterio máximo de una entrada se aplica al 20% del tiempo y únicamente a la interferencia entre redes del servicio fijo por satélite.

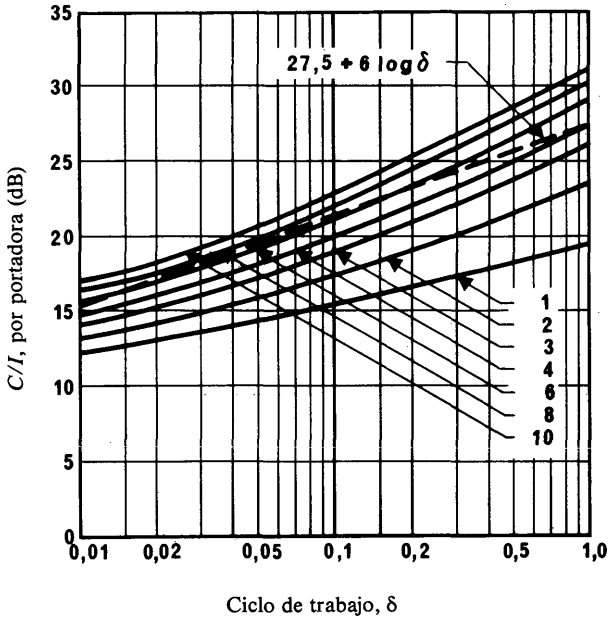


FIGURA 1 – *Ejemplo de relación «portadora deseada/ portadoras no deseadas» (C/I), por fuente de interferencia, en función del ciclo de trabajo y del número de fuentes de interferencia idénticas y equivalentes*

3. Efecto de la dispersión a la frecuencia de línea

Tal como se indica en [Weinberger, 1977] un aumento de la frecuencia de dispersión del mismo orden que la frecuencia de línea (unos 16 kHz) producirá mejoras notables en la eficacia de la dispersión de energía como sistema de reducción de las interferencias en las transmisiones SCPC.

Mediciones efectuadas [Yam, 1980] han confirmado lo anterior. Tales mediciones se efectuaron con una señal de dispersión en diente de sierra a la frecuencia de línea y con una señal de dispersión triangular a una frecuencia mitad de la línea. La excursión cresta a cresta Δf de la onda de dispersión se varió de 0,25 MHz (δ = 0,15) a 2 MHz (δ = 0,02). El aumento permisible de la potencia RF interferente en relación con la correspondiente a la dispersión a la frecuencia de trama, sólo dependía ligeramente del valor de ruido térmico presente, pero experimentaba un aumento bastante rápido al reducirse el ciclo de trabajo. La mejora alcanzaba los valores aproximados de 2 dB, 5 dB y 11 dB para valores de Δf = 0,25 MHz, 0,5 MHz y 2 MHz respectivamente.

El efecto conjunto de fuentes múltiples de interferencia en el caso de dispersión a la frecuencia de línea, se calcula de modo similar que para la dispersión a la frecuencia de trama. Por consiguiente, utilizando el criterio de dispersión a la frecuencia de trama indicado, como punto de partida, y el criterio diferente en aproximadamente 5 dB con Δf de 0,5 MHz (δ = 0,076), se puede obtener el siguiente criterio conservador en el caso de una sola fuente interferente para dispersión a la frecuencia de línea:

$$C/I = 27{,}5 + \log \delta \qquad \text{dB} \tag{2}$$

en donde C/I se define igual que para la ecuación (1) y se aplica al 20% del tiempo entre redes del servicio fijo por satélite. Es deseable una confirmación ulterior, experimental o empírica, de la validez de este criterio para la dispersión en la frecuencia de línea.

En el punto 6 y en las figs. 4, 5 y 6 del Informe 384 se ofrecen los resultados de mediciones más recientes sobre el efecto de la dispersión a la frecuencia de línea en la interferencia causada por las señales TV-MF a las transmisiones MIC-MDP-SCPC.

La utilización de una forma de onda de dispersión a la frecuencia de línea se traducirá en un nivel de interferencia en los circuitos telefónicos multicanales por satélite y en los circuitos de relevadores radioeléctricos terrenales de hasta 6 dB más elevado que el que causaría una señal de dispersión de frecuencia baja, por ejemplo de la frecuencia de trama o menor. El efecto de esta degradación adicional dependería de los parámetros de los sistemas considerados. Véase el Informe 384.

4. Interferencia en las transmisiones SCPC-MF utilizando compresión-expansión silábica

Se han efectuado mediciones preliminares y pruebas de escucha subjetivas, para evaluar la interferencia provocada en una transmisión telefónica SCPC-MF utilizando compresión-expansión silábica. La estimación de la interferencia desde el punto de vista del funcionamiento global era subjetiva con respecto al establecimiento de las condiciones de diferencia auditiva imperceptible entre el caso en que existe interferencia y el caso en que no existe.

Se hizo funcionar el módem de prueba con una relación portadora/ruido de 12 dB y con una excursión que producía una relación tono de prueba/ruido sin compresión-expansión de 32 dB. La anchura de banda de la señal de premodulación era de 27 kHz. Se agregó a continuación un compresor-expansor silábico, con una mejora por compresión-expansión de 18 dB, para obtener una relación «tono de prueba/ruido equivalente» de 50 dB. La señal interferente fue una portadora continua modulada por una onda triangular a 20 Hz y excursión cresta a cresta variable.

En las pruebas subjetivas se encontró que, con una relación C/I de 22 dB en ausencia de dispersión de energía, y con una relación de C/I de 9 dB en presencia de una dispersión de energía de 1 MHz cresta a cresta, no podían detectarse cambios en el nivel de ruido de fondo durante las pausas de la conversación. Las mediciones efectuadas con un voltímetro de valores cuadráticos medios, coincidían con los resultados subjetivos. Con la dispersión aplicada y a valores de C/I iguales o superiores a 9 dB, la transmisión vocal no se veía afectada, pero empezaba a enronquecerse de un modo creciente a medida que la relación C/I se reducía por debajo de 8 dB.

Los dos valores críticos de $C/I = 22$ dB a $\delta = 1{,}00$, y $C/I = 9$ dB a $\delta = 0{,}027$ hacen pensar que un criterio, para el caso de una sola fuente, interferente, de la forma

$$C/I = 26 + 8 \log \delta \qquad \text{dB} \tag{3}$$

que incluye una previsión comprensiva de 4 dB para acumulación de múltiples entradas, podría ser útil, provisionalmente, en cálculos relativos a la coordinación que impliquen el tipo de transmisión SCPC-MF con compresión-expansión que se describe más arriba. También aquí sería de desear la confirmación experimental o empírica de la validez de la ecuación (3).

Más recientemente se han efectuado pruebas sobre una base cuantitativa utilizando cómputos de impulsos de ruido como medida de la degradación. En el anexo I figuran los resultados de estas pruebas en las que se aplicó a la señal TV-MF interferente la dispersión tanto a la frecuencia de línea como a la frecuencia de trama. Hay que observar que no se ha efectuado una elección formal entre los dos métodos para evaluar la interferencia admisible, es decir, el basado en la degradación subjetiva de la calidad telefónica y el del cómputo de impulsos, y que es necesario efectuar urgentemente nuevos estudios sobre esta materia.

5. Modulación delta

Ciertos sistemas pueden utilizar transmisiones SCPC con modulación delta. La modulación delta es en sí menos sensible a la interferencia que las transmisiones SCPC-MDP-MIC. Ello se debe a que los errores de bits causados por la interferencia a la salida del demodulador MDP no causan variaciones importantes de nivel en las señales con modulación delta, al contrario de lo que sucede con una señal MDP-MIC.

Debe subrayarse que tanto la transmisión con modulación delta, como la transmisión SCPC-MF con compresión-expansión precisan señales de menor potencia que las transmisiones SCPC-MDP-MIC. Este hecho tenderá a anular la ventaja que puede derivarse de una sensibilidad a la interferencia reducida en comparación con la de SCPC-MDP-MIC.

Antes de que puedan adoptarse criterios definitivos, es preciso hacer nuevos estudios y mediciones en el campo general de la interferencia a las transmisiones SCPC procedente de transmisiones de TV con dispersión artificial.

6. Resumen y conclusiones

INTELSAT ha utilizado el criterio de una sola fuente de interferencia, bajo la forma indicada en la ecuación (1), en la coordinación entre redes del servicio fijo por satélite que utilizan transmisiones analógicas de señales TV-MF con dispersión de energía a la frecuencia de trama y transmisiones SCPC-MDP-MIC-7 bits.

Los resultados y las mediciones que implican dispersión a la frecuencia de línea y los mismos dos tipos de señales hacen pensar que un criterio de interferencia procedente de una sola fuente en la forma que se indica en la ecuación (2) puede ser adecuado.

Los resultados de otros estudios experimentales que han tratado de evaluar la interferencia en el modo SCPC-MF con compresión-expansión procedente de TV-MF analógica con dispersión a la frecuencia de trama, sugieren que el criterio de interferencia de una sola fuente del tipo que se indica en la ecuación (3) puede ser adecuado.

Es preciso seguir estudiando el tema de los criterios de interferencia de una sola fuente, para la interferencia en las transmisiones SCPC. Este trabajo debe incluir los efectos producidos en los sistemas SCPC que utilizan todas las técnicas de modulación SCPC, así como los efectos de otros tipos de técnicas de dispersión de energía.

Se necesitan también nuevos estudios y pruebas prácticas:

- para identificar los medios de utilizar la técnica de la dispersión de energía a la frecuencia de línea de modo que no aumente la interferencia producida a las transmisiones MDF-MF de baja excursión, sean terrenales o por satélite;
- estudiar la utilización de técnicas de dispersión combinada a la frecuencia de línea y a la frecuencia de trama como medio posible para reducir los efectos de la interferencia en las transmisiones SCPC y en las transmisiones MDF-MF de baja excursión, sean terrenales o por satélite;
- para experimentar técnicas idóneas para las diversas posibles aplicaciones de la dispersión de energía a la frecuencia de línea, de la dispersión de energía a la frecuencia de trama y de la dispersión compuesta a las frecuencias de línea y de trama, que eliminen la forma de onda de dispersión de la señal de video sin degradar la calidad de la señal.

Asimismo ha de observarse que pueden surgir dificultades prácticas en la introducción de la dispersión de energía a la frecuencia de línea en los enlaces de conexión con los satélites de radiodifusión, ya que ello entrañaría la utilización de un equipo relativamente complejo para suprimir las señales de dispersión en los terminales receptores domésticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

WEINBERGER, H. K. [1977] TV energy dispersal waveform. IEE National Telecommunications Conference (NTC'77) Conf. Rec., 41:1-1-41:1-3.

YAM, S. E. [primavera de 1980] New energy dispersal techniques for interference reduction. *COMSAT Tech. Rev.*, Vol. 10, **1**, 103-150.

Documentos del CCIR

[1978-82]: **a.** 4/156 (INTELSAT); **b.** 4/157 (INTELSAT).

ANEXO I

PRUEBAS DE RUIDO IMPULSIVO ENCAMINADAS A DETERMINAR CRITERIOS ACEPTABLES PARA LA INTERFERENCIA PRODUCIDA POR SEÑALES TV-MF EN TRANSMISIONES ANALÓGICAS SCPC

1. Resultados basados en las pruebas de ruido impulsivo

Los resultados de las mediciones de la relación portadora/interferencia (C/I) necesaria para producir seis impulsos por encima de un umbral de -21 dBm0 en un periodo de 15 min en función de los ciclos de servicio se representan en las figs. 2 y 3 para señales interferentes de televisión con dispersión de energía de la portadora a la frecuencia de trama y a la frecuencia de línea.

La elección del número de impulsos se deriva de la Recomendación M.1020 del CCITT, según la cual en un periodo de 15 min no podrán producirse más de 18 impulsos de ruido en un circuito de extremo a extremo. Se supone en este caso que seis impulsos pueden atribuirse al enlace del satélite y los 12 restantes se dividen entre las dos porciones terrenales de un enlace de extremo a extremo.

Se determinó la degradación de la calidad de funcionamiento de un modem MF compandida-SCPC para 1, 2, 3 y 4 portadoras de onda continua, moduladas a su vez con frecuencias de dispersión de energía a la frecuencia de línea y a la frecuencia de trama. La forma de onda triangular utilizada para la dispersión de energía se ajustó en cada caso para una excursión cresta a cresta de 0,6, 1, 2 y 4 MHz. Se hizo funcionar el modem de prueba con una relación portadora/ruido de 12 dB, que corresponde a una relación «tono de prueba/ruido no ponderado» de unos 50 dB (valor subjetivo) suponiendo una mejora por compresión-expansión de 18 dB. Las mediciones de calidad de funcionamiento se hicieron en la salida del filtro del canal con una anchura de banda de ruido de 25,4 kHz.

La fig. 2 muestra los resultados obtenidos para la televisión con dispersión de energía a la frecuencia de trama. Un criterio apropiado en este caso viene dado por la siguiente ecuación representada en la figura:

$$C/I = 24 + 9 \log \delta \qquad \text{dB} \tag{4}$$

También se representa a título comparativo la línea correspondiente al criterio dado por la ecuación (3).

Los resultados medidos representados en la fig. 3 para televisión con dispersión a la frecuencia de línea sugieren que para un valor de δ situado entre 0,10 y 0,005 una ecuación de la forma:

$$C/I = 19 + 10 \log \delta \qquad \text{dB} \tag{5}$$

podría ser adecuada para cálculos de interferencia en los que intervienen señales de televisión con dispersión de energía a la frecuencia de línea.

Los resultados medidos presentados en las figs. 2 y 3 indican que las portadoras SCPC con modulación MF compandida pueden tolerar una relación C/I inferior cuando la interferencia procede de portadoras de TV con MF y dispersión de energía a la frecuencia de línea que de las mismas portadoras con dispersión de energía a la frecuencia de trama. A título comparativo, la mejora de la relación C/I correspondiente a algunos valores prácticos de la excursión de frecuencia cresta a cresta, entre la dispersión a la frecuencia de trama y a la frecuencia línea, oscila entre 6,6 dB para 1 MHz y 7,2 dB para 4 MHz.

2. Necesidad de proseguir los trabajos

Se requieren mediciones adicionales para verificar la ecuación (4) y establecer una base de comparación entre las pruebas de audición subjetiva y las pruebas basadas en el cómputo de impulsos. Se encarece a las administraciones que realicen en este sector estudios que conduzcan a la selección de criterios adecuados para su aplicación a los cálculos de coordinación entre sistemas.

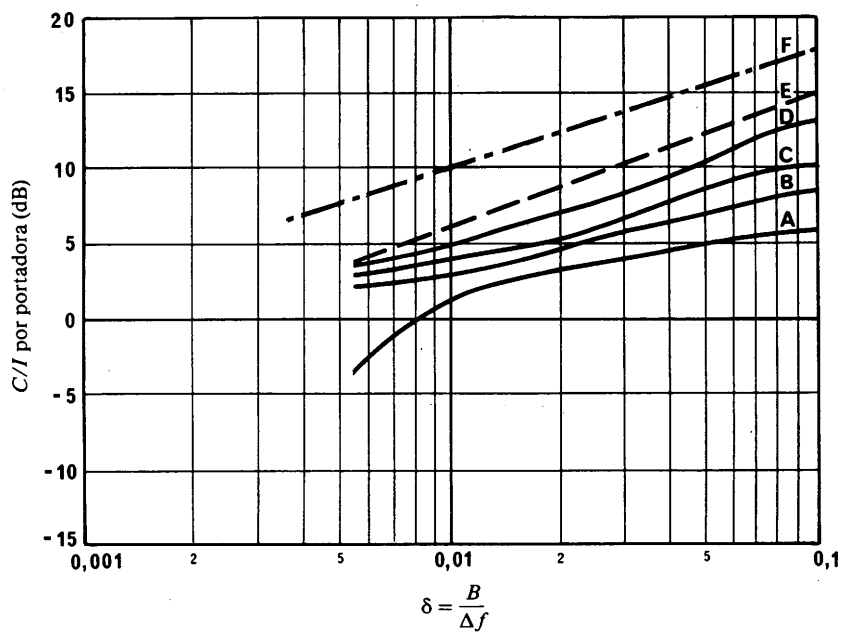


FIGURA 2 – *C/I por portadora requerida para 6 impulsos en 15 min en función de* δ

Umbral: – 21 dBm0

Dispersión de energía a la frecuencia de trama

$$\delta = \frac{\text{Anchura de banda de ruido del filtro del canal SCPC}}{\text{Excursión cresta a cresta de la fuente interferente}}$$

Curvas A: 1 fuente interferente
B: 2 fuentes interferentes
C: 3 fuentes interferentes
D: 4 fuentes interferentes
E: $24 + 9 \log \delta$
F: Caso de una sola fuente (CCIR)
$C/I = 26 + 8 \log \delta$

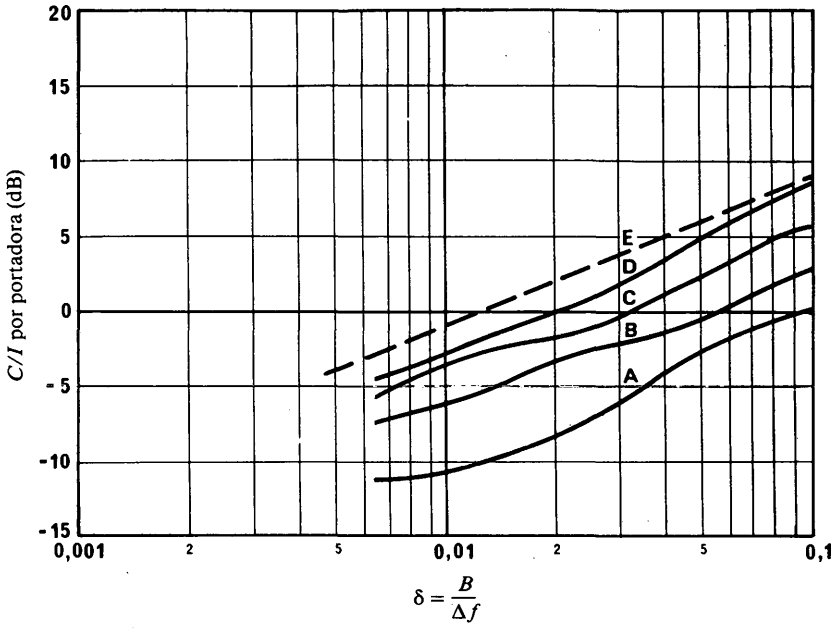


FIGURA 3 – *C/I por portadora requerida para 6 impulsos en 15 min en función de* δ

Umbral: – 21 dBm0
Dispersión de energía a la frecuencia de línea

$$\delta = \frac{\text{Anchura de banda de ruido del filtro del canal SCPC}}{\text{Excursión cresta a cresta de la fuente interferente}}$$

Curvas A: 1 fuente interferente
B: 2 fuentes interferentes
C: 3 fuentes interferentes
D: 4 fuentes interferentes
E: 19 + 10 log δ

RECOMENDACIÓN 464-1

CARACTERÍSTICAS DE PREACENTUACIÓN PARA LOS SISTEMAS DE MODULACIÓN DE FRECUENCIA PARA TELEFONÍA CON MULTIPLAJE POR DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Programa de Estudios 2D/4)

(1970-1982)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que, con preferencia, la característica de preacentuación debe ser tal que el valor medio cuadrático de la desviación de frecuencia debida a la señal de telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia sea la misma con preacentuación que sin ella;

b) que, en un sistema de modulación de frecuencia para telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia que funcione muy por encima del umbral, el ruido térmico es máximo en el canal superior y disminuye al decrecer la frecuencia de la banda de base;

c) que, en un sistema de modulación de fase o en uno de modulación de frecuencia con preacentuación de 20 dB por década que funcione muy por encima del umbral, el ruido térmico es constante en toda la banda de base;

d) que el ruido térmico en el canal más elevado de un sistema de modulación de fase es unos 4,8 dB más bajo con relación al del canal correspondiente de un sistema de modulación de frecuencia, en el supuesto de que los dos sistemas funcionen muy por encima del umbral y estén ajustados de modo que tengan la misma excursión eficaz de frecuencia multicanal;

e) que la reducción de la excursión de frecuencia al disminuir las frecuencias de la banda de base en un sistema de modulación de fase hace que el sistema sea más sensible al ruido en bajas frecuencias y especialmente al que se origina en los demoduladores de umbral rebajado que trabajan a proximidad del umbral;

f) que, para las estaciones terrenas que funcionan normalmente por encima del umbral, la eficacia de la utilización de la potencia de emisión del satélite no varía prácticamente cuando la gama de preacentuación pasa de un valor inferior a 6 dB a otro de unos 8 dB, pero que la eficacia de la utilización de la anchura de banda radioeléctrica aumenta ligeramente con esta gama;

g) que no se dispone de información suficiente para poder determinar la característica óptima de preacentuación de los sistemas de portadoras radioeléctricas con capacidad inferior a 12 canales telefónicos,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que, en los sistemas del servicio fijo por satélite que utilizan la modulación de frecuencia, las portadoras radioeléctricas con capacidad superior o igual a 12 canales telefónicos se empleen con preacentuación y con la misma característica reducida de preacentuación normalizada.

2. Que se siga estudiando la característica de preacentuación de los sistemas con capacidad inferior a 12 canales telefónicos.

3. Que la característica de preacentuación preferida sea la dada por la expresión:

$$\text{Excursión relativa de frecuencia del tono de prueba en la frecuencia } f = 5 - 10 \log \left[1 + \frac{6{,}90}{1 + \frac{5{,}25}{\left(\frac{f_r}{f} - \frac{f}{f_r} \right)^2}} \right] \quad \text{dB}$$

donde $f_r = 1{,}25 f_{máx}$ es la frecuencia de resonancia de la red, $f_{máx}$ la frecuencia más elevada de la banda de base de los canales telefónicos y f la frecuencia de la banda de base. En la fig. 1 se indica la variación de la excursión en función de la frecuencia.

4. Que la tolerancia en la respuesta en frecuencia de la característica de preacentuación y en la característica de desacentuación sea tal que entre las frecuencias límites nominales superior e inferior de la banda de base la diferencia entre la característica de una red prácticamente utilizada y la característica teórica esté comprendida entre los límites de $\pm$ (0,1 + 0,05$f/f_{máx}$) dB, siendo f la frecuencia comprendida en la banda de base y $f_{máx}$ la frecuencia nominal más elevada de la banda de base. Esto corresponde a tolerancias en los elementos de la red de $\pm$ 1% aproximadamente para las resistencias, y de $\pm$ 0,5% aproximadamente para las capacidades y las inductancias. Además, esta diferencia no debería presentar variaciones rápidas en el interior de esta banda de frecuencias.

Nota 1. – Se ha reconocido que puede ser ventajoso realizar la característica de preacentuación insertando una red en diversos emplazamientos, según el tipo de equipo. Las figs. 2a) y 2b) representan, respectivamente, ejemplos de redes de preacentuación y de desacentuación para inserción entre una fuente de tensión constante y una carga de circuito abierto; las figs. 3a) y 3b) representan, respectivamente, ejemplos de redes de preacentuación y de desacentuación para inserción entre impedancias de entrada y de salida resistivas y adaptadas.

Nota 2. – Conviene hacer observar, en cuanto a la fórmula del punto 3 de la presente Recomendación, que la frecuencia para la cual la excursión con preacentuación corresponde a la excursión sin preacentuación es igual a 0,61320$f_{máx}$. Puede ser ventajoso adoptar esta frecuencia para realizar mediciones de atenuación entre estaciones terminales en que aparece la banda de base, cuando no están en servicio los equipos de multiplaje.

Nota 3. – Se reconoce que, en ciertos casos, puede ser conveniente utilizar otros valores para la característica de preacentuación, previo acuerdo entre las administraciones interesadas.

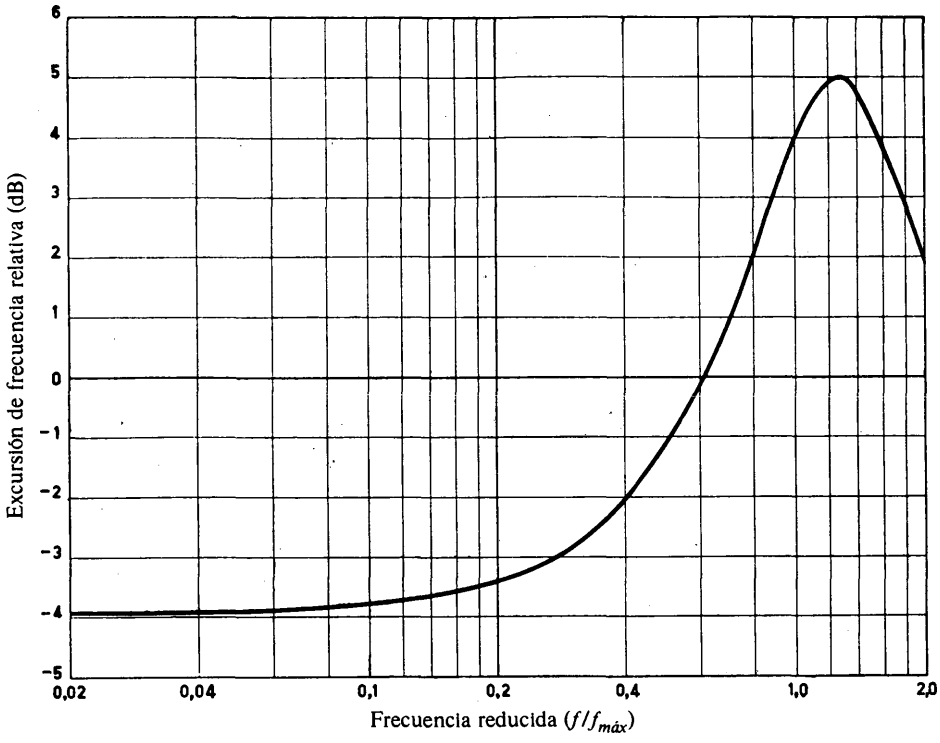
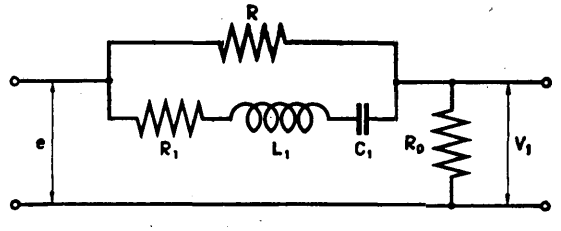


FIGURA 1 — *Característica de preacentuación para la telefonía*



$R = 1{,}81\ R_0$

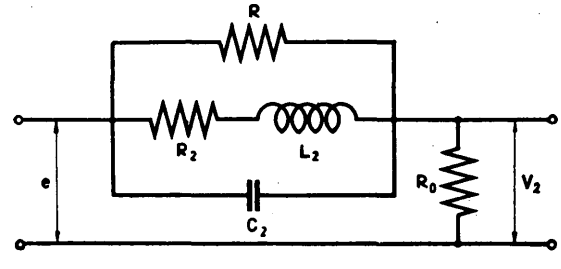
$R_1 < 0{,}01\ R_0$ en f_r

$\sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = 0{,}79\ R_0$

$f_r = 1{,}25\ f_{máx} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{L_1 C_1}}$

$f_{máx}$ es la frecuencia más elevada de la banda de base

a) Red de preacentuación



$R = 1{,}81\ R_0$

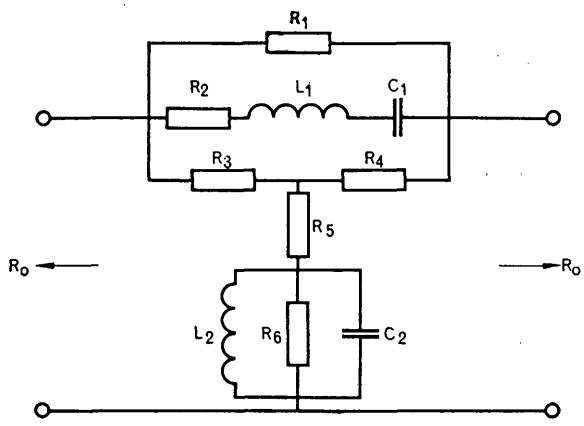
$R_2 < 0{,}02\ R_0$ en f_r

$\sqrt{\frac{L_2}{C_2}} = 1{,}47\ R_0$

$f_r = 1{,}25\ f_{máx} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{L_2 C_2}}$

b) Red de desacentuación

FIGURA 2 — *Redes de preacentuación y de desacentuación para insertar entre una fuente de tensión constante y una carga de circuito abierto*



$R_1 = 1{,}81\ R_0$

$R_2 < 0{,}01\ R_0$

$R_3 = R_4 = R_0$

$R_5 = \dfrac{R_0}{1{,}81}$

$R_6 > 100\ R_0$

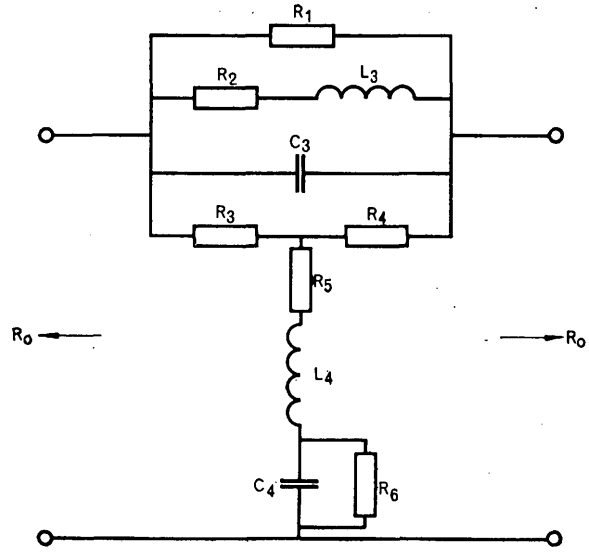
$f_r = 1{,}25\ f_{máx} = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{1}{L_1 C_1}}$

$= \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{1}{L_2 C_2}}$

$\sqrt{\dfrac{L_1}{C_1}} = 0{,}79\ R_0$

$\sqrt{\dfrac{L_2}{C_2}} = \dfrac{R_0}{0{,}79}$

a) Red de preacentuación



$R_1 = 1{,}81\ R_0$

$R_2 < 0{,}01\ R_0$

$R_3 = R_4 = R_0$

$R_5 = \dfrac{R_0}{1{,}81}$

$R_6 > 100\ R_0$

$f_r = 1{,}25\ f_{máx} = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{1}{L_3 C_3}}$

$= \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{1}{L_4 C_4}}$

$\sqrt{\dfrac{L_3}{C_3}} = 1{,}47\ R_0$

$\sqrt{\dfrac{L_4}{C_4}} = \dfrac{R_0}{1{,}47}$

b) Red de desacentuación

FIGURA 3 — *Redes de preacentuación y de desacentuación para insertar entre impedancias resistivas y adaptadas de entrada y de salida*

INFORME 212-3

EMPLEO DE LA PREACENTUACIÓN EN LOS SISTEMAS CON MODULACIÓN DE FRECUENCIA PARA TELEFONÍA CON MULTIPLAJE POR DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA Y PARA TELEVISIÓN, EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 2/4)

(1963-1966-1970-1974)

1. Introducción

El empleo de la preacentuación en los sistemas del servicio fijo por satélite para telefonía que utilizan modulación de frecuencia y multiplaje por distribución de frecuencia, se traduce en una mejora de la relación señal/ruido en los canales de frecuencia más elevadas, que permite imponer exigencias menos estrictas a la potencia y a la anchura de banda del transmisor del satélite.

El empleo de la preacentuación en televisión modifica la distribución de la energía de la emisión en radiofrecuencia en los sistemas del servicio fijo por satélite, de modo que se obtiene una reducción, apreciable en algunos casos, de las posibilidades de interferencia en los sistemas del servicio fijo por satélite, entre estos sistemas y entre sistemas del servicio fijo por satélite y sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa que utilizan las mismas bandas de frecuencias.

El empleo de la preacentuación en televisión puede también permitir aumentar la excursión eficaz de frecuencia del sistema del servicio fijo por satélite, mejorando así la relación señal/ruido, sin embargo, un aumento excesivo de la excursión puede comprometer la reducción de las posibilidades de interferencia.

La excursión y la preacentuación que hay que utilizar para obtener la mejor transmisión posible de ciertas normas de señales de televisión pueden diferir mucho de las recomendadas para la telefonía.

La utilización por distintas administraciones de las posibilidades que ofrecen los sistemas del servicio fijo por satélite activo, comprendida la utilización compartida de los repetidores de los satélites, se vería facilitada por un acuerdo sobre las características de preacentuación para dichos sistemas que emplean la modulación de frecuencia.

No se han podido recomendar aún características preferidas de preacentuación para los sistemas del servicio fijo por satélite utilizados para televisión. Convendrá estudiar más a fondo esta cuestión. En el punto 3 del presente Informe se facilitan datos que pueden ser de utilidad para estos estudios.

2. Telefonía

La preacentuación tendrá el efecto de mejorar la relación señal/ruido en los canales de alta frecuencia y de deteriorarla en los canales de baja frecuencia. El resultado puede ser una modificación de la relación portadora/ruido en virtud de la cual el ruido en el canal más desfavorable alcance 50 000 pWp en un punto de nivel relativo cero. Cada uno de estos efectos repercutirá en la potencia del satélite y en la anchura de banda necesaria para satisfacer las condiciones fijadas para el ruido en la Recomendación 353. Además, la característica óptima para un sistema que funciona al nivel del umbral, o por debajo de éste, durante un porcentaje considerable del tiempo de servicio, puede no ser la misma que para los sistemas que funcionan generalmente por encima del umbral.

El margen de umbral de los actuales sistemas de satélites es generalmente suficiente para evitar que funcionen por debajo del umbral, salvo durante muy pequeños porcentajes de tiempo, y convendría que fuera también así en los sistemas futuros. Por consiguiente, para una utilización corriente, la característica óptima de preacentuación será aquella que presente una gama de atenuaciones relativamente extensa.

La medición de las relaciones señal/ruido en un sistema en explotación ha confirmado que la red descrita en la Recomendación 464, que tiene una gama de atenuaciones de 8 dB, da en la práctica resultados satisfactorios.

No obstante, en el caso de los sistemas que funcionan más próximos al umbral, es posible que se compruebe que la gama óptima de atenuaciones es más estrecha.

3. Televisión

En la transmisión de señales de televisión en color hay que prestar particular atención a:

- el ruido en la banda de video;
- la distorsión, especialmente la que puede afectar a las frecuencias de la señal video en el canal de crominancia (en las cercanías de 4,4 MHz para sistemas de 625 líneas);
- el umbral subjetivo del receptor.

La inserción de una red de preacentuación tiene por finalidad:

- la mejora de la relación señal/ruido ponderado;
- la reducción de la distorsión.

Es preciso alcanzar estos objetivos con una deterioración mínima del umbral subjetivo del receptor.

Para una anchura de banda dada del sistema, la «relación señal/ruido ponderado» puede mejorarse modificando la forma del espectro del ruido en las frecuencias video, es decir, modificando la excursión que los diversos componentes de la señal video producen en la portadora en RF.

Los criterios que influyen en el establecimiento de una característica óptima de preacentuación pueden ser diferentes en los diversos sistemas de televisión en color. Los resultados de los estudios realizados por algunas administraciones sobre los sistemas PAL y SECAM se exponen a continuación.

La optimización de las características de preacentuación para la televisión en color está estrechamente relacionada con la forma de la curva de ponderación adoptada para mediciones de ruido. Aunque esta curva se ha especificado para el sistema I de 625 líneas en la Recomendación 567, no ha sido universalmente adoptada, por lo que será difícil llegar a un acuerdo en cuanto a una nueva y única característica de preacentuación. Los trabajo que se reseñan en este Informe pudieran sugerir una forma de resolver el problema.

3.1 *Sistema PAL de 625 líneas (sistemas B, G y H)*

Los cálculos teóricos [CCIR, 1966-69a] muestran que para una determinada «relación señal/ruido no ponderado», el valor máximo de la «relación señal/ruido ponderado» se obtiene cuando la característica de desacentuación produce un espectro de ruido que es uniforme en función de la frecuencia, a todo lo largo de la banda video (0-5 MHz). Aplicando este principio a una curva particular de ponderación del ruido [CCIR, 1966-69b] se ha derivado una nueva curva de preacentuación representada en la fig. 1 que, como puede demostrarse, mejora la relación señal/ruido en unos 2 dB (suponiendo una distribución triangular del ruido). Este resultado representa una mejora de aproximadamente 1 dB respecto al que se obtiene cuando se utiliza la curva de preacentuación de la Recomendación 405, con la misma curva de ponderación de ruido.

Ciertos experimentos efectuados para determinar la influencia de una limitación en la banda de las radiofrecuencias han demostrado que utilizando la nueva curva de preacentuación las distorsiones se reducen entre 5 y 15 veces, según la forma de la señal moduladora, en comparación con las distorsiones medidas sin preacentuación. Por otra parte, la relación luminancia/crominancia aumentó ligeramente. La calidad global de la imagen medida subjetivamente permaneció esencialmente inalterada. Otros experimentos realizados con un receptor funcionando cerca del umbral mostraron que, en general, la utilización de la preacentuación elevaba el nivel del umbral, evaluado subjetivamente; por ejemplo, de 1,5 a 2 dB para la preacentuación de la fig. 1 de este Informe o de la curva B de la fig. 1 de la Recomendación 405, o para otras curvas de preacentuación utilizadas hasta el presente.

Otros estudios [Lari y Tomati, 1972] muestran también que, mediante la elección adecuada de una curva de preacentuación, es posible obtener cierta economía, ya sea en la potencia de transmisión del satélite, o en la anchura de banda necesaria, para los mismos valores de la relación señal/ruido y del margen por encima del umbral subjetivo.

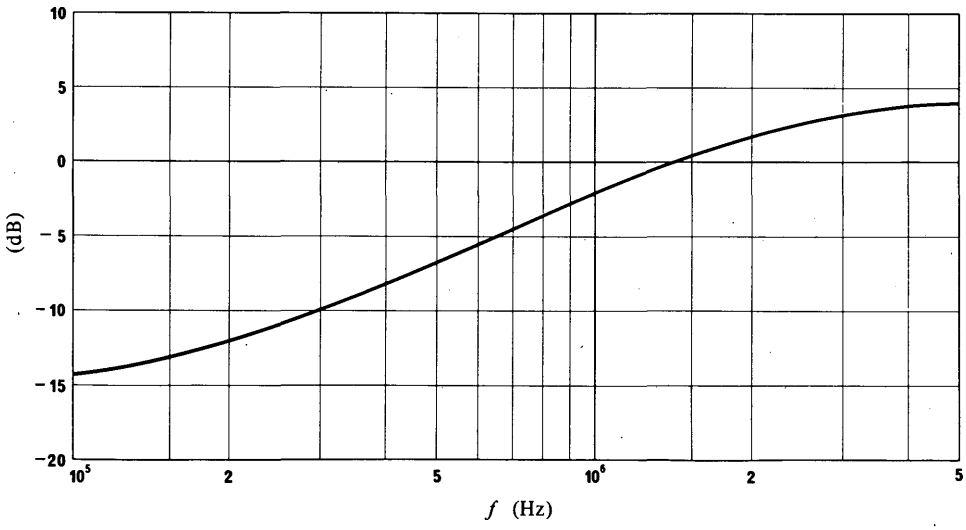


FIGURA 1 — *Características experimentales de preacentuación para el sistema PAL*

3.2 *Sistema SECAM de 625 líneas*

En el sistema de televisión en color SECAM, en el que la información cromática se transmite por modulación de frecuencia de una subportadora en 4,43 MHz, la demodulación de la portadora está sujeta al comportamiento bien conocido del umbral de los demoduladores de frecuencia. En consecuencia, cuando el ruido en el canal de crominancia llega a ser significativo, la imagen se deteriora rápidamente. Por eso es necesario determinar los límites del ruido, tanto en el canal de luminancia como en el de crominancia.

Estos límites se han derivado partiendo de pruebas subjetivas de imágenes deterioradas por ruido térmico [CCIR, 1970-74a]. Para que la degradación N_2 de la señal de crominancia sea igual a la degradación N_1 de la señal de luminancia, N_1 debe satisfacer la siguiente relación:

$$8{,}5\ \text{dB} < 10 \log \frac{N_2}{N_1} < 9{,}5\ \text{dB} \tag{1}$$

donde N_1 es la potencia del ruido ponderado en la señal de luminancia, medida a la salida de la red descrita en la Recomendación 567, y N_2 es la potencia del ruido filtrado en la señal de luminancia, medida a la salida del filtro de paso de banda descrito en la Recomendación 567.

La red de preacentuación diseñada para los sistemas de televisión en blanco y negro de 625 líneas, descrita en la Recomendación 405, se utiliza ahora en sistemas de televisión en color. En este caso, la red produce un valor no óptimo de 12 dB, como se muestra en la ecuación (2):

$$10 \log \frac{N_2}{N_1} \approx 12\ \text{dB} \tag{2}$$

Por esta razón, parece conveniente especificar una nueva red de preacentuación para televisión en color. La red y su función de transferencia son similares a las descritas en la Recomendación 405.

$$-\frac{1}{y} \cdot \frac{1 + j\omega\tau_p}{1 + j\omega \dfrac{\tau_p}{y}} \tag{3}$$

donde 20 log y es la atenuación máxima de la red en dB, y τ_p es la constante de tiempo de la red en ns.

Para esta función de transferencia se proponen los valores siguientes:

y = 8 (en lugar de y = 5 como en la Recomendación 405);

τ_p = 227 ns (en lugar de τ_p = 508 ns como en la Recomendación 405).

Estos valores están de acuerdo con los límites dados en la relación (1).

La fig. 2 muestra esta característica con relación a la que anteriormente figuraba en la Recomendación 405 para sistemas de televisión de 625 líneas, para igual deterioración de la calidad global de la imagen. Se ve claramente que la nueva curva está por debajo de la antigua en la mayor parte de la banda video. Por consiguiente, la congestión del espectro de frecuencias radioeléctricas será menor con la nueva red de este tipo que con la red actualmente recomendada, y se reducirán las distorsiones no lineales de la señal video debidas a la limitación de la anchura de banda.

Se requieren mayores estudios para asegurar que los enlaces por satélite que utilicen la nueva característica se ajusten plenamente a las especificaciones de la Recomendación 567 relativas al circuito ficticio de referencia.

3.3 *Sistema PAL de 625 líneas (sistema I)*

Se ha llevado a cabo un estudio [CCIR, 1970-74b] para verificar la validez de las características de preacentuación representadas en las figs. 1 y 2 para el caso del sistema PAL de 625 líneas (sistema I). Se ha evaluado el efecto subjetivo de la degradación de la relación señal/ruido por el método de «unidades de degradación» (imps-«impairment units») [Lewis y Allnatt, 1968] y utilizando las redes de ponderación de ruido especificadas en la Recomendación 567.

Se ha supuesto que el ruido tenía una característica esencialmente triangular, como será normalmente el caso cuando el sistema funcione en condiciones próximas del umbral. Los resultados de esta evaluación indican que, para el sistema PAL (sistema I), la red de la Recomendación 405 del CCIR da mejores resultados que las otras dos redes. Ello puede deberse a que esas últimas han sido concebidas para otros sistemas de televisión, que emplean diferente anchura de banda de video o diferente modulación de subportadora de crominancia y para diferentes redes de ponderación de ruido. Aunque quizás sea posible hallar en último término una nueva característica de preacentuación que ofrezca alguna mejora con respecto a la Recomendación 405, no parece justificarse ningún cambio de momento. Se requieren estudios adicionales que incluyan la influencia sobre los diversos tipos de distorsiones, además de sobre la relación señal/ruido.

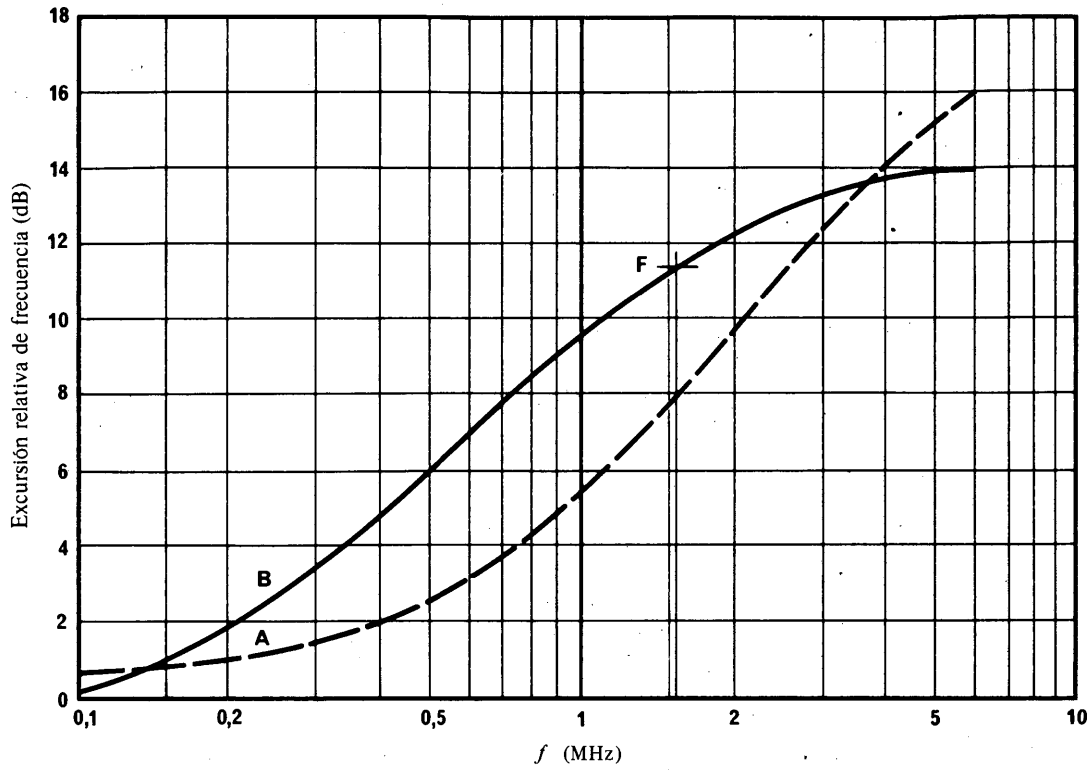


FIGURA 2

A: Curva de preacentuación calculada, propuesta para el sistema SECAM
B: Curva de preacentuación recomendada en la Recomendación 405
F: Frecuencia de referencia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LARI, M. y TOMATI, L. [1972] Studio di un circuito di enfasi ottimizzato per trasmissioni TV a colori su sistemi a modulazione di frequenza e suo uso. (Estudio y aplicación de un circuito de preacentuación optimizado para las transmisiones de televisión en color por sistemas de modulación de frecuencia.) *Elettronica e Telecomunicazioni*, **5**.

LEWIS, N. W. y ALLNATT, J. W. [1968] Subjective and objective impairments in television pictures. IEE Conf. Publ. N.° 46, Primera Parte.

Documentos del CCIR

[1966-69]: **a.** CMTT/161 (Anexo) (Italia); **b.** CMTT/160 (Italia).

[1970-74]: **a.** 4/68 (Francia); **b.** 4/168 (Reino Unido).

BIBLIOGRAFÍA

Documentos del CCIR

[1966-69]: IV/258 (Francia).

[1970-74]: 4/85 (Italia).

RECOMENDACIÓN 579-1

OBJETIVOS DE DISPONIBILIDAD PARA UN CIRCUITO FICTICIO DE REFERENCIA Y UN TRAYECTO DIGITAL FICTICIO DE REFERENCIA PARA TELEFONÍA CON MODULACIÓN POR IMPULSOS CODIFICADOS, O COMO PARTE DE UNA CONEXIÓN FICTICIA DE REFERENCIA DE UNA RED DIGITAL DE SERVICIOS INTEGRADOS, EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 24/4)

(1982-1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que el circuito ficticio de referencia y el trayecto digital ficticio de referencia en el servicio fijo por satélite tienen por objeto servir de orientación a los proyectistas y planificadores;

b) que es aconsejable amoldarse a los conceptos, términos y definiciones relacionados con la disponibilidad, contenidos en la Recomendación G.106 del CCITT;

c) que la disponibilidad del equipo (incluida la estación espacial) depende de la fiabilidad del mismo, de la mantenibilidad y de la logística de su mantenimiento;

d) que la disponibilidad de un circuito o trayecto digital ficticio de referencia viene determinada por los efectos combinados de la disponibilidad del equipo y la debida a la propagación;

e) que conviene aplicar objetivos similares de disponibilidad a los sistemas por cable, sistemas de relevadores radioeléctricos y sistemas del servicio fijo por satélite,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que la disponibilidad de un circuito o trayecto digital ficticio de referencia del servicio fijo por satélite se defina con arreglo a la siguiente expresión:

en la que el «tiempo requerido» se define como el periodo de tiempo durante el cual el usuario requiere que el circuito o el «trayecto digital» esté en condiciones de llevar a cabo la función requerida, y el tiempo indisponible es el tiempo acumulado de las interrupciones del circuito o del trayecto digital durante el tiempo requerido.

2. Que provisionalmente, la indisponibilidad de un circuito o trayecto digital ficticio de referencia del servicio fijo por satélite debida al equipo no sea mayor del 0,2% de un año (véase la nota 7).

3. Que provisionalmente la indisponibilidad debida a la propagación (véase la nota 7) no sea mayor de:

3.1 0,2% de cualquier mes para un trayecto digital ficticio de referencia del servicio fijo por satélite (véase la nota 8);

3.2 X% de cualquier año* para un circuito ficticio de referencia del servicio fijo por satélite (véase la nota 3);

4. Que un enlace del servicio fijo por satélite definido entre los extremos del circuito ficticio de referencia o del trayecto digital de las Recomendaciones 352 y 521 se considere indisponible si se cumple una o más de las condiciones de los puntos de la parte dispositiva 4.1 a 4.4 siguientes en uno u otro de los extremos receptores del enlace durante 10 s consecutivos o más (véase la nota 6). (Un periodo de tiempo indisponible comienza cuando persiste una de las condiciones de los puntos 4.1 a 4.4 de la parte dispositiva durante un periodo de 10 s consecutivos. Estos 10 s se consideran tiempo indisponible. El periodo de tiempo indisponible termina cuando la misma condición cesa durante un periodo de 10 s consecutivos. Estos 10 s se consideran tiempo disponible.):

4.1 en transmisión analógica, la señal deseada aplicada al circuito se recibe en el otro extremo con un nivel inferior en 10 dB o más a su nivel previsto;

---

* En relación con el término «cualquier año», véase la nota 11 de la Recomendación 353.

4.2 en transmisión digital, la señal se interrumpe (es decir, se pierde la alineación o la temporización);

4.3 en la transmisión analógica, la potencia de ruido no ponderado de un canal telefónico en un punto de nivel relativo cero, con un tiempo de integración de 5 ms es superior a 10^6 pW0;

4.4 en transmisión digital, la proporción de bits erróneos, promediada durante 1 s, es superior a 10^{-3}.

5. Que las notas siguientes se consideren como parte del presente texto.

Nota 1. – La indisponibilidad del equipo analógico de multiplaje no se tiene en cuenta en lo que antecede. La indisponibilidad del equipo digital de multiplaje está incluida en el punto 2 precedente.

Nota 2. – El valor de la indisponibilidad del circuito o del trayecto digital es un objetivo de planificación para sistemas del servicio fijo por satélite y no debe incluirse en las especificaciones de sistemas ni utilizarse para pruebas de aceptación.

Nota 3. – El valor de X se halla en estudio y se ha sugerido que sea 0,1.

Nota 4. – Los periodos inferiores a 10 s consecutivos, durante los cuales existan las condiciones señaladas en los puntos 4.1 a 4.4 anteriores, se consideran tiempo de disponibilidad del circuito y deberán tenerse en cuenta al aplicar las Recomendaciones.

Nota 5. – Todas las interrupciones debidas a eclipses de Sol y a las interferencias producidas por el Sol son incluidas como parte del tiempo en el punto 2 anterior.

Nota 6. – Para los cálculos de disponibilidad debe tenerse en cuenta explícitamente el tiempo medio entre fallos, el tiempo medio de restablecimiento del servicio, las precauciones tomadas contra las interrupciones y la degradación de la calidad de funcionamiento del satélite (en especial el uso de canales de reserva y de sistemas redundantes).

Nota 7. – La indisponibilidad de un circuito o trayecto digital del servicio fijo por satélite para tramos nacionales con sistemas de transmisión alternativos puede quedar excluida de los puntos 2 y 3 de la parte dispositiva y las administraciones podrán determinarla en función de las condiciones locales (es decir, propagación, dimensiones geográficas, distribución demográfica, organización del mantenimiento, etc.).

Nota 8. – En el punto 3.1 de la parte dispositiva se supone que el valor de 0,2% de cualquier mes corresponde con un periodo de cualquier año* cuando se aplica un factor de conversión de 5, es decir, que el 0,2% de cualquier mes correspondería al 0,04% de cualquier año*. El Informe 997 examina con más detalle este factor de conversión.

INFORME 706-2

DISPONIBILIDAD DE LOS CIRCUITOS EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 24/4, Programa de Estudios 24A/4)

(1978-1982-1986)

1. Introducción

En este Informe se examina el concepto de disponibilidad tal como se aplica al circuito ficticio de referencia (CFR) (Recomendación 352) y al trayecto digital ficticio de referencia (TDFR) (Recomendación 521) en el servicio fijo por satélite.

Se indica el enfoque aplicado para deducir los criterios de disponibilidad y se proporciona información sobre algunos de los parámetros que pueden afectarlos.

Se ha tomado nota de los conceptos de fiabilidad y disponibilidad respecto de los sistemas de relevadores radioeléctricos para televisión y telefonía tal como se examinan en el Informe 445, a fin de armonizar lo más posible los aspectos correspondientes de los sistemas de relevadores radioeléctricos y de los sistemas del servicio fijo por satélite.

2. Definición de disponibilidad

En el contexto de una conexión extremo a extremo, la disponibilidad incluye varias partes componentes, examinadas en la Recomendación G.106 del CCITT. Al aplicar el concepto de disponibilidad a los CFR por satélite y a los TDFR por satélite, solamente interesa la disponibilidad del equipo y la de propagación.

En la Recomendación 579 se da una definición precisa de la disponibilidad de circuitos por satélite, y se dan también los objetivos de disponibilidad.

---

* En relación con el término «cualquier año», véase la nota 11 de la Recomendación 353.

3. Consideraciones generales

La disponibilidad de un circuito telefónico o de televisión, en el servicio fijo por satélite está determinada por las interrupciones. Una interrupción es el intervalo de tiempo durante el cual se produce una pérdida completa o parcial de la señal, un ruido excesivo, o bien una discontinuidad o una grave distorsión de la señal. Varios aspectos se han tomado en consideración:

- definición de lo que constituye una interrupción;
- descripción de los aspectos relativos al tiempo, tales como la duración de una interrupción, el intervalo de tiempo comprendido entre dos interrupciones sucesivas, etc.;
- determinación, a los efectos de especificar objetivos de disponibilidad, sobre si deben incluirse todas las interrupciones en el objetivo, o, de no ser así, qué tipos específicos de interrupción deben excluirse.

En el caso de la telefonía se tiene en cuenta una interrupción en la determinación de la disponibilidad, cuando de ésta se deriva el corte de una comunicación y la necesidad de establecerla nuevamente. Toda interrupción de un circuito durante más de 10 s consecutivos o más, se considera que constituye una indisponibilidad del circuito.

El Manual sobre telecomunicaciones por satélite (servicio fijo por satélite) (Ginebra, 1985), contiene un amplio análisis de la disponibilidad. Se examina en el mismo en particular la influencia en la disponibilidad de factores tales como:

- duración media entre interrupciones, para evitar que las interrupciones largas aparezcan con excesiva frecuencia;
- interrupción total durante un largo periodo, a fin de asegurar un valor máximo de disponibilidad para el sistema;
- duración media de la interrupción, para garantizar que, de ocurrir una interrupción, no será demasiado larga;
- la frecuencia de aparición de las interrupciones (por ejemplo, medida por hora);
- la duración total de la interrupción durante un periodo determinado (por ejemplo, de un mes o año cualquiera);
- la duración definida estadísticamente de las interrupciones, que podría estar especificada por varios puntos diferentes de la ley de distribución estadística.

4. Disponibilidad del equipo

Bajo este epígrafe se incluyen varias causas diferentes de interrupción. Son las siguientes:

- causas relacionadas con el satélite, entre las que figuran los fallos parciales o completos de cualquiera de los sistemas de a bordo, además de las interrupciones debidas a eclipses;
- causas relacionadas con las estaciones terrenas, incluido el fallo de cualquier equipo hasta el punto de interfaz con la red terrenal, e interrupciones causadas por errores humanos, por el paso del sol y por la acción de desastres naturales.

El Manual sobre telecomunicaciones por satélite (servicio fijo por satélite) mencionado más arriba contiene un análisis de muchos de estos mecanismos y da información sobre la disponibilidad lograda en la práctica con satélites y estaciones terrenas en explotación.

5. Disponibilidad de la propagación

Este título abarca interrupciones causadas por la propagación y la interferencia. En la actualidad sólo se dispone de información limitada sobre el efecto de la interferencia desde dentro y fuera del sistema (incluidos los relevadores radioeléctricos) en la disponibilidad, siendo éste un tema que requiere ulteriores estudios.

Se han llevado a cabo algunos estudios sobre la influencia de la propagación en la disponibilidad. En particular se ha puesto de manifiesto la necesidad de distinguir entre interrupciones breves debidas a mecanismos de propagación, de menos de 10 s consecutivos, de las que se ocupan las Recomendaciones relativas a la calidad de funcionamiento, e interrupciones de 10 o más segundos consecutivos, que contribuyen a la indisponibilidad. A este respecto se ha utilizado un «factor de disponibilidad», que puede definirse de la siguiente manera:

$$\text{Factor de disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo total durante el cual ocurren interrupciones de duración inferior a 10 s}}{\text{Tiempo total durante el cual ocurren todas las interrupciones}} \times 100\%$$

El significado de «interrupciones» depende de si se está considerando un circuito analógico o digital. En el punto 4 de la parte dispositiva de la Recomendación 579 se da una definición precisa de cada caso.

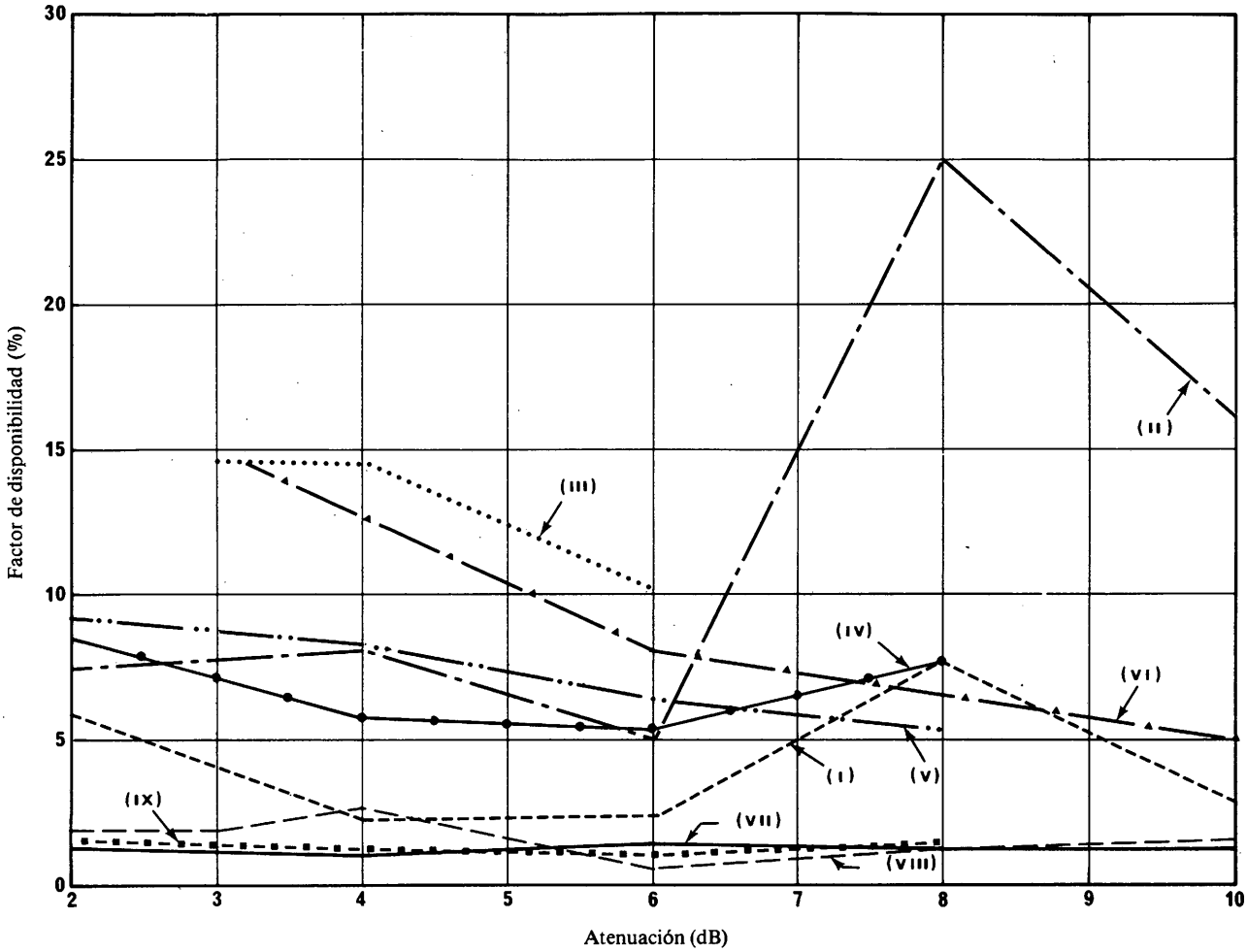


FIGURA 1 – *Gráfico del factor de disponibilidad de la propagación con respecto a la atenuación*

(I) – Dinamarca, 11,8 GHz, ángulo de elevación = 26,5°, clima D
(II) – Dinamarca, 14,5 GHz, ángulo de elevación = 26,5°, clima D
(III) – Dinamarca, 11,4 GHz, ángulo de elevación = 12,5°, clima D
(IV) – Reino Unido, 11,8 GHz, ángulo de elevación = 29,9°, clima E
(V) – Reino Unido, 14,5 GHz, ángulo de elevación = 29,9°, clima E
(VI) – Japón, 11,5 GHz, ángulo de elevación = 6,6°, clima M
(VII) – Canadá, 13 GHz, ángulo de elevación = 20°, clima K
(VIII) – Canadá, 13 GHz, ángulo de elevación = 31°, clima E
(IX) – Canadá, 13 GHz, ángulo de elevación = 29°, clima K

6. Efectos de la propagación en la disponibilidad

En este punto se resume la información disponible hasta la fecha sobre la manera en que los efectos de la propagación contribuyen al tiempo de indisponibilidad. Mucha de la información ha sido examinada por la Comisión de Estudio 5, la cual ha analizado los datos en términos de tiempo disponible (con eventos de atenuación de duración inferior a 10 s, que corresponden a «segundos con muchos errores») y tiempo indisponible (con eventos de atenuación de duración superior a 10 s), de conformidad con la definición de tiempo indisponible contenida en la Recomendación 579.

La información disponible se presenta en los cuadros I y II como porcentajes del mes más desfavorable. El cuadro I se ha obtenido a partir de mediciones de radiobalizas de satélite; el cuadro II mediante mediciones de radiómetro.

CUADRO I – *Porcentaje del mes más desfavorable en que se excedieron los valores de atenuación indicados*

En cada valor de atenuación, se ha hecho la distinción entre tiempo disponible y tiempo indisponible (véase el § 4 de la Recomendación 579)

Nivel de atenuación excedido (dB)	Dinamarca Ángulo de elevación 26,5°						Dinamarca Ángulo de elevación 12,5°		Reino Unido Ángulo de elevación 29,9°				Japón Ángulo de elevación 6,6°	
	11,8 GHz				14,5 GHz		11,4 GHz		11,8 GHz		14,5 GHz		11,5 GHz	
	Emplazamiento único (% del mes)		Diversidad de emplazamientos (% del mes)		Emplazamiento único (% del mes)		Emplazamiento único (% del mes)		Emplazamiento único (% del mes)		Emplazamiento único (% del mes)		Emplazamiento único (% del mes)	
	Tiempo disponible	Tiempo indisponible	Tiempo disponible	Tiempo indisponible	Tiempo disponible	Tiempo indisponible	Tiempo disponible	Tiempo indisponible	Tiempo disponible	Tiempo indisponible	Tiempo disponible	Tiempo indisponible	Tiempo disponible	Tiempo indisponible
2	0,0070	0,112	0,0110	0,143	0,0165	0,213	0,0343	0,201	0,015	0,16	0,03	0,30		
3													0,96	5,7
4	0,00053	0,0222	0	0	0,0038	0,0462	0,00355	0,0215	0,0022	0,035	0,009	0,10		
6	0,00028	0,0106	0	0	0,00070	0,0138	0,00035	0,00305	0,0008	0,014	0,0022	0,033	0,16	1,84
8	0,00047	0,0056	0	0	0,0013	0,0039	0	0,00131	0,0005	0,006	0,0009	0,016		
10	0,000096	0,0033	0	0	0,00014	0,00070	0	0					0,027	0,52
15	0,00017	0,00054	0	0	0	0	0	0					0,008	0,17
20	0	0	0	0	0	0	0	0						

CUADRO II – *Porcentaje del mes más desfavorable para el que los valores indicados de atenuación fueron excedidos en Canadá*

Nivel de atenuación excedido (dB)	Clima K 13 GHz				Clima E 13 GHz	
	Emplazamiento 1, elevación de 20°		Emplazamiento 2, elevación de 29°		Elevación de 31°	
	Tiempo disponible	Tiempo indisponible	Tiempo disponible	Tiempo indisponible	Tiempo disponible	Tiempo indisponible
2	0,017	1,10	0,0081	0,51	0,014	0,68
3	0,007	0,54	0,0042	0,31	0,0046	0,22
4	0,0039	0,36	0,0028	0,22	0,003	0,11
6	0,0022	0,16	0,0017	0,16	0,0004	0,058
8	0,0011	0,089	0,0017	0,12	0,0005	0,041
10	0,0007	0,056	0,0007	0,099	0,0004	0,031

Del cuadro I se han extraído las siguientes conclusiones:

- Con ángulos de elevación del orden de 26° a 30° y con valores de atenuación de 2 a 8 dB, se observó que la relación entre el tiempo de atenuación durante el tiempo disponible y el tiempo de atenuación durante el tiempo total estaba comprendida entre el 3% y el 10%. Con valores de atenuación más elevados, esta proporción tendía a aumentar porque la duración de los eventos disminuiría a medida que la atenuación se aproximase a su valor máximo.
- Con ángulos de elevación menores, es decir, de 6° a 12°, se observó que la relación entre el tiempo de atenuación durante el tiempo disponible y el tiempo de atenuación durante el tiempo total era de 14% aproximadamente con un valor de atenuación de 3 dB y disminuía a un 5% con valores comprendidos entre 10 y 15 dB. Con valores de atenuación aún más altos, es probable que la relación vuelva a aumentar. Es de presumir que el centelleo aporte una contribución mayor al tiempo de atenuación con ángulos de elevación menores, que la aportada en las mediciones con ángulos de elevación mayores.

Los datos con diversidad de emplazamientos se fundan solamente en valores de atenuación de 2 dB; durante el experimento en Dinamarca no se efectuaron mediciones con el valor de atenuación de 4 dB en ambos emplazamientos simultáneamente. Los únicos datos suministrados corresponden, pues, al valor de 2 dB. Se observó que la relación entre el tiempo de atenuación durante el tiempo disponible y durante el tiempo total era muy semejante a la correspondiente a un solo emplazamiento. Sin embargo, en regiones del mundo con índices de pluviosidad más elevados, la relación para la diversidad de emplazamientos puede ser mayor que con un solo emplazamiento como consecuencia del mayor impacto de la diversidad en esos climas.

Los datos contenidos en el cuadro II se basan en mediciones hechas con radiómetro en el Canadá, a 13 GHz. Los datos de propagación se recogieron en seis lugares en lo que se habían registrado desvanecimientos de 2 a 10 dB, calculándose las duraciones de desvanecimiento de menos de 10 s y de 10 o más segundos. Se presentan los resultados para dos lugares típicos de clima K y uno de clima E. De estos resultados se desprende que la disponibilidad se halla en la gama del 1 a 4%. Utilizando el factor de disponibilidad dado en el § 5 anterior, su valor se reduce a menos del 1%. Estos datos indican además que, a efectos de concepción de sistemas, para una gama de 3 a 6 dB, cabe esperar un tiempo indisponible total de hasta el 0,54% del mes más desfavorable.

Australia ha proporcionado más información relativa a las mediciones sobre propagación [CCIR, 1982-86a] a 11 y 14 GHz en tres localizaciones diferentes, que incluyen tanto zonas tropicales como zonas más templadas; muestran que el factor de disponibilidad es del orden de 4% o menos.

Del examen de toda la información presentada más arriba se deduce que un factor de disponibilidad de 10% es un valor de trabajo conservador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos del CCIR

[1982-86]: **a.** 4/297 (Australia).

INFORME 707-1

CARACTERÍSTICAS DE LOS INTERFACES DIGITALES ENTRE REDES DE SATÉLITES Y TERRENALES

(Programa de Estudios 2N/4)

(1978-1982)

1. Introducción

En este Informe se examinan aquellos aspectos del Programa de Estudios 2N/4 relacionados con los problemas de los interfaces de los enlaces digitales internacionales (equipo de interfaz digital directo, EIDD) entre países que tienen redes terrenales mixtas analógicas y digitales. Se consideran también algunos aspectos relacionados con la transmisión de la señalización y la supervisión de los enlaces de los equipos múltiplex MIC. Se prefiere un interfaz plesiócrono entre enlaces terrenales y por satélite pero se incluye también una solución que implica la justificación del enlace por satélite para aquellos casos en que no sea posible el interfaz plesiócrono entre estos enlaces.

2. Exposición del problema

En los próximos años deberá generalizarse la introducción de las técnicas de transmisión digital en las redes del servicio fijo por satélite, ya que permiten una eficacia mucho mayor de utilización de los satélites que los sistemas analógicos actualmente empleados. Como contrapartida, la puesta en servicio de enlaces digitales por

satélite puede muy bien crear nuevos problemas de conexión con las redes terrenales. Estas últimas son en su mayor parte analógicas, y de ahí la necesidad de prever una conversión analógico-digital. Puesto que las operaciones de conmutación en el Centro de Tránsito Internacional (CT) se realizan a nivel de canal, parece pues adecuado instalar igualmente en el mismo el equipo de conversión analógico-digital. Esto muestra claramente que en la mayoría de los casos convendrá prolongar los enlaces digitales por satélite por medio de enlaces digitales terrenales, por lo menos hasta los Centros de Tránsito Internacionales. Además, esta disposición facilitaría la integración de este enlace en la red terrenal cuando esta red pase a la explotación digital.

En situaciones en las que sea deseable mantener enlaces terrenales analógicos, podrán utilizarse transmultiplexores en la estación terrena para realizar el proceso de conversión analógico/digital. Se considera que los transmultiplexores serán económicos y proporcionarán una calidad superior a la de la alternativa consistente en demultiplaje analógico y demodulación seguida de la codificación digital y multiplaje.

2.1 *Tipos de enlaces internacionales de transmisión digital*

Al establecer redes internacionales de transmisión digital existe la probabilidad de utilizar tres tipos de enlace:

- Un enlace de transmisión digital basado en un solo canal por portadora, con facilidades de transmisión MIC-MDP-AMDF (modulación por impulsos codificados – manipulación por desplazamiento de fase – acceso múltiple por división de frecuencia). Normalmente, este enlace se explotaría a una velocidad de bits bruta de 64 kbit/s para telefonía o transmisión de datos. Podría emplearse también una relación de codificación/decodificación de 3/4 ó 7/8, conectando con la red terrenal a una velocidad de bits neta de 48 kbit/s o 56 kbit/s, si la proporción de errores para la transmisión de datos no fuese suficientemente buena.
- Un enlace de transmisión digital que utiliza fundamentalmente canales múltiplex con facilidades de transmisión MIC-MDT-MDP-AMDF; por ejemplo, un múltiplex de primer orden o de orden superior que emplee modulación MDP. Este tipo de transmisión permite transmitir una variedad de señales, como telefonía con o sin DSI (interpolación digital de señales vocales) o transmisión de datos a alta velocidad.
- Un enlace de transmisión MIC-MDP-AMDT, en que la velocidad de transmisión dentro de una ráfaga puede ser típicamente de 60 a 120 Mbit/s, aunque la velocidad de información a cualquier otro destino sería inferior. En este tipo de transmisión habrá una pequeña diferencia de velocidad entre las señales transmitidas y las recibidas, debido a los movimientos del satélite.

2.2 *Tipos de red*

Hay tres tipos de red que requieren conexión internacional, que se consideran por su orden histórico.

2.2.1 *Redes analógicas*

La mayoría de las redes existentes son analógicas y comprenden principalmente enlaces analógicos, pero cada vez se están utilizando más enlaces digitales en estas redes. Sin embargo, se supone que en esta clase de red el Centro de Tránsito Internacional (CT) sigue siendo analógico.

2.2.2 *Conmutación digital en el CT, redes nacionales no síncronas*

Probablemente ésta es la próxima fase en la introducción de técnicas digitales en las comunicaciones internacionales. Es probable que en esta etapa el CT estará conectado a la estación terrena mediante enlaces digitales.

2.2.3 *Redes nacionales síncronas interconectadas mediante enlaces digitales*

Esto incluirá también redes nacionales que utilizan relojes de alta estabilidad y que están conectadas plesiócronamente. Se espera que ésta ha de ser la configuración de red última prevista por el CCITT.

Debe tenerse en cuenta que la configuración que comprende redes mixtas tendrá que coexistir.

2.3 *Interconexión de enlaces digitales temporizados por diferentes relojes*

Al transmitir un tren digital procedente de un enlace digital por un segundo enlace digital, los relojes que controlan el tren del primer enlace digital y del segundo enlace pueden tener diferencias de temporización, que deben compensarse, de modo que la información pueda pasar al segundo enlace.

Pueden utilizarse dos métodos para lograr esta compensación y así interconectar enlaces digitales que tienen diferentes ritmos de reloj. El primero consiste en aplicar deslizamientos de tramas (es decir, de vez en cuando no se transmite una trama o se transmite dos veces seguidas), y el segundo utiliza la justificación.

Si se utiliza la técnica de deslizamientos de trama, deberán establecerse límites a la frecuencia de deslizamiento de trama. En telefonía MIC podrían tolerarse varios deslizamientos por minuto, mientras que algunos tipos de servicios de datos no podrán tolerar más de uno o dos deslizamientos por día en una conexión de usuario a usuario.

Puesto que la frecuencia de deslizamiento es proporcional a la diferencia entre las frecuencias de reloj a través del interfaz, los relojes de enlaces independientes deberán mantenerse dentro de estrechas tolerancias de exactitud y estabilidad, de manera que los enlaces sean casi síncronos. Una conexión entre dos redes de este tipo casi síncrono se denomina conexión plesiócrona.

La segunda solución consiste en ofrecer por el segundo enlace una velocidad de bits ligeramente superior a la del tren digital. La diferencia se compensa añadiendo bits de justificación que deben extraerse después («desjustificados») en el extremo distante del segundo enlace, haciéndolo efectivamente transparente y la velocidad binaria media de salida después de la desjustificación, es la misma que la velocidad binaria media de entrada antes de la justificación. Aunque no ocurran deslizamientos en el interfaz entre el primer enlace y el enlace justificado, podrán aparecer deslizamientos en el interfaz entre el extremo desjustificado del segundo enlace y un tercer enlace si la frecuencia de reloj del tercer enlace difiere de la del primer enlace.

El retardo de propagación en una dirección del trayecto de transmisión a través de un satélite geoestacionario puede tener una variación cíclica diaria cresta a cresta del orden de 0,15 ms, debido a las perturbaciones orbitales. La deriva longitudinal del satélite alrededor de su posición nominal puede causar variaciones cíclicas adicionales a largo plazo del mismo orden de magnitud aproximadamente. Estas variaciones producen una desviación Doppler de la frecuencia del reloj del enlace por satélite que puede ser absorbida en las estaciones terrenas, en transmisión o en recepción, según los casos de aplicación, mediante el empleo de memorias intermedias reguladoras o tampón. Para asegurar la conversión entre dos velocidades de bits ligeramente diferentes, las señales se registran en una memoria a la velocidad de recepción y se leen a la velocidad de transmisión. Si la velocidad de transmisión es mayor que la de recepción, la memoria tenderá a vaciarse y, en caso contrario, a llenarse. Al ser limitados los movimientos del satélite, ambos se presentarán alternadamente, y su media en el tiempo será nula. Dimensionando convenientemente la capacidad de la memoria podrían absorberse sin pérdida de información ni repetición las variaciones extremas de velocidad.

En último término, se necesitará un enlace digital por satélite internacional para interconectar dos o más redes digitales terrenales independientes.

Si la temporización del enlace por satélite está alineada con el reloj de alta estabilidad de una de las redes (red A), no se producirá ningún deslizamiento adicional en las conexiones entre la red A y las otras redes, a condición de que el desplazamiento Doppler se compense mediante memorias intermedias elásticas en el interfaz, pero sí se producirán deslizamientos adicionales en conexiones entre las otras redes. Si la temporización del enlace por satélite es independiente, se producirán deslizamientos adicionales, a menos que se utilice justificación en el interfaz del enlace por satélite con las redes terrenales. El empleo de tal enlace con justificación no afectará a la tasa de deslizamientos neta que resulta de las diferencias entre los relojes de las dos redes.

Debe señalarse que el componente de error de temporización debido a la variación del tiempo de propagación del enlace por satélite reaparecerá después del punto en el cual se realiza la desjustificación, y, para compensarlo, será aún necesario la memoria intermedia elástica. También ha de tenerse en cuenta que, si se utiliza la justificación, se limitará el funcionamiento de los enlaces multidestino y la técnica de interpolación DSI.

2.4 *Transmisiones de señales múltiplex de orden superior*

La transmisión de señales múltiplex de orden superior debiera ser posible entre países que utilizan la misma jerarquía digital, cuando el enlace por satélite no es de AMDT ni emplea la técnica de DSI. Sin embargo, la utilización del sistema AMDT trae consigo las siguientes desventajas:

- No permite aplicar ninguna estrategia sencilla en el interfaz respecto del deslizamiento de trama. Ello se debe a que sería necesario eliminar (o repetir) una o varias tramas de múltiplex de orden superior sin alterar la integridad de las tramas de múltiplex primario incluidas dentro de las primeras. Como el número de tramas de múltiplex primario en una trama de múltiplex de segundo orden no es un número entero, sería necesario aplicar una estrategia de deslizamiento de trama muy complicada o un orden distinto de justificación.
- En un sistema AMDT multidestino, el entrelazado de bits característico de la señal múltiplex de orden superior determinaría asimismo que el equipo de demultiplexado para la ráfaga multidestino sea más complejo. Cada uno de los múltiples destinos tendría que procesar toda la subráfaga asociada con el módulo de interfaz en el transmisor, a fin de separar así la parte del tráfico múltiplex correspondiente a esa estación receptora en particular. En ese caso, es posible que no pueda lograrse la eficacia total del sistema AMDT.
- La DSI no se realiza fácilmente a niveles superiores, ya que los 8 bits correspondientes a cada canal telefónico no resultan fácilmente identificables debido al entrelazado de bits inherente a la señal múltiplex.

3. Examen de las soluciones

3.1 *Redes nacionales analógicas con conmutación*

No se considera conveniente la conversión analógico-digital en las estaciones terrenas, debido a que sería necesario incluir equipo de multiplaje adicional en el Centro de Tránsito Internacional (CT), evidentemente sería mejor que el enlace CT-estación terrena fuese también digital. Sin embargo, como la red terrenal es principalmente analógica y, por tanto, no se utiliza la conmutación digital en el CT, la velocidad del reloj del enlace

digital no es crítica. Por consiguiente, para sistemas MDP entre puntos fijos, debería ser posible controlar la velocidad de transmisión digital de la parte terrenal de recepción del enlace a partir de un reloj derivado en la estación terrena. Este reloj se originaría a partir del reloj del extremo de transmisión del equipo de codificación del CT distante y, en el caso de sistemas AMDT, del reloj de referencia de trama de la estación de referencia. Es probable que el desplazamiento por efecto Doppler debido al movimiento del satélite sea insignificante. Sin embargo, si ha de eliminarse completamente el deslizamiento, será necesario absorber la variación de reloj debida al desplazamiento por efecto Doppler mediante memorias reguladoras en el extremo de recepción del enlace. Con esta solución se evitará la pérdida de información digital. La utilización de la DSI en sistemas AMDT no afecta a esta solución.

3.2 *Conmutación digital en el CT con redes nacionales no síncronas*

En este caso, generalmente habrá una pequeña diferencia de velocidad entre el reloj que controla al conmutador en el CT y las señales digitales que llegan a ese CT. Consiguientemente, habrá que prever deslizamientos de trama. No tendría mayor sentido, en este caso, tratar de evitar los deslizamientos de trama una vez más en el interfaz de la estación terrena. Suponiendo en el CT un reloj con una precisión de 1×10^{-8} y en la estación de referencia del AMDT un reloj con una precisión de 1×10^{-7}, habrá un solo deslizamiento de trama MIC de 125 µs cada 19 min si el satélite se encuentra en una órbita geoestacionaria ideal, y cada 12 min si el satélite tiene una inclinación de órbita de 3° y no posee una memoria intermedia reguladora para eliminar las variaciones de retardo de transmisión.

En esos casos, por consiguiente, el EIDD sólo tendrá una función respecto de la alineación y del deslizamiento de trama, encargándose asimismo de efectuar cualquier modificación necesaria del formato de trama (tal como se describe en el punto 3.1). En el caso de los satélites sin un control de la inclinación de órbita, probablemente el EIDD tendrá que contener asimismo una memoria intermedia reguladora para eliminar las variaciones de retardo de transmisión.

3.3 *Conmutación digital con redes nacionales síncronas*

El CCITT ha recomendado que el interfuncionamiento de redes nacionales síncronas sea plesiócrono. Si las redes nacionales están controladas con una precisión de 1×10^{-11}, el resultado será un mínimo de 70 días entre un deslizamiento de trama y otro.

Cuando la conexión internacional se efectúa mediante un sistema por satélite AMDT cuyo reloj de referencia tiene una precisión muy inferior a 1×10^{-11}, la frecuencia de los deslizamientos de trama tendrá que ser mucho mayor que 1 cada 70 días o se podrá recurrir a un EIDD con justificación. En el anexo I se examinan dos métodos para justificar múltiplex primarios transferidos por sistemas AMDT. No obstante, se podría evitar esta complicación si el propio sistema AMDT estuviese temporizado con una precisión comparable a la de las redes nacionales, es decir, 1×10^{-11}. En ese caso, el EIDD tendrá que efectuar la función de alineación, realizar cualquier modificación necesaria del formato y eliminar las variaciones de retardo de transmisión debidas al desplazamiento del satélite, mediante la utilización de memorias intermedias reguladoras en los lados de transmisión y recepción del enlace. Es por ello que resulta la solución preferida para interconexión de redes nacionales síncronas.

Por tanto, como en la práctica sólo un número relativamente reducido de estaciones terrenas tienen que actuar como estaciones de referencia en los sistemas AMDT, no sería difícil lograr que esos sistemas alcanzasen la precisión de temporización requerida si se permite que los países que tienen redes digitales síncronas sirvan como estaciones de referencia. Sin embargo, en el caso de los sistemas AMDT/CS (con conmutación a bordo del satélite) cuya introducción en las redes internacionales por satélite se espera en un próximo futuro, puede ser difícil el funcionamiento plesiócrono del sistema AMDT si la secuencia de conmutación del satélite no está controlada desde tierra. Inicialmente, cuando los países con redes síncronas sean aún muy pocos, quizá sea necesario que los sistemas AMDT tengan una precisión de temporización menor y que el deslizamiento de trama ocurra con mayor frecuencia, quizá una vez al día. Pese a todo esto, es preferible que un sistema de satélites internacionales AMDT o AMDT/CS se diseñe para que funcione de modo plesiócrono entre las redes digitales terrenales que interconecta.

3.4 *Interconexión entre países que utilizan diferentes sistemas de múltiplex primarios*

En el caso de una interconexión entre países que utilizan sistemas múltiplex primarios diferentes, no sería práctico tratar de mantener el mismo formato de trama entre los distintos multiplexores. En cambio, siempre será necesario mantener la integridad de los intervalos de tiempo del canal. En este caso, el EIDD de la estación terrena transmisora tendrá que eliminar cualesquiera bit(s) adicional(es) que puedan utilizarse para la señalización, la sincronización de trama, etc.

EL EIDD de la estación terrena receptora tendrá que reagrupar los múltiplex primarios utilizados en ese país. Incluso entre países que utilizan la misma disposición de múltiplex primarios puede resultar necesario o conveniente alterar algo el formato de trama para que coincida con el formato del sistema AMDT.

4. Aspectos de señalización y supervisión

El CCITT ha definido las características de los equipos múltiplex MIC digitales utilizados en redes de telecomunicaciones, y ha definido también las informaciones sobre las condiciones de fallos que deben transmitirse al extremo del enlace para asegurar una supervisión eficaz (Recomendación G.734, por ejemplo). Sin

embargo, en los estudios que han conducido a esta definición, sólo se han considerado los enlaces entre puntos fijos. En los sistemas de satélites, donde son frecuentes los enlaces multidestino, especialmente en AMDT, estas conclusiones no son necesariamente válidas y se requieren más estudios. Hay que prever, en particular que deberá considerarse un enlace CT-estación terrena-satélite-estación terrena-CT como constituido por tres tramos independientes desde el punto de vista de las alarmas. En este caso las estaciones terrenas deberían considerarse como terminales múltiplex desde el punto de vista de las alarmas. Sin embargo, desde el punto de vista de la conmutación, el enlace entre Centros Internacionales de Tránsito constituye una sección.

No parece necesario desde el punto de vista de la transmisión el enviar las alarmas de una sección a otra. Sin embargo, algunos sistemas de señalización necesitan información sobre las averías en la línea de transmisión. Por tanto, para esos sistemas de señalización se deberá transmitir hacia adelante la indicación de alarma de servicio.

Actualmente, los sistemas que utilizan un canal común para la señalización, tales como el sistema N.° 6 del CCITT, no parecen presentar dificultades. En la década de los ochenta se utilizarán también a través de enlaces digitales por satélite el sistema N.° 5 del CCITT y las dos versiones del R2 del CCITT (es de hacer notar que pruebas realizadas recientemente demuestran que en enlaces por satélite el tiempo que tarda en establecerse la llamada desde el final del marcado es apreciablemente menor con el sistema de señalización R2 del CCITT que con el N.° 5 del CCITT). A continuación se hace una recopilación de las necesidades de estos dos sistemas. La implantación de otros sistemas se deberá estudiar detalladamente.

Sistema N.° 5 del CCITT:

No es necesario transmitir ninguna alarma. El multidestino en el satélite se puede hacer a nivel de canal.

Sistema R2 analógico del CCITT:

Es necesario transmitir hacia adelante las indicaciones de alarma. Se deberá distinguir entre averías que afecten a todos los canales del múltiplex (por ejemplo, pérdida de alineación de trama) y aquellas que sólo afecten al intervalo 16 (TS 16) (pérdida de señal de multitrama).

El multidestino en el satélite sólo se puede hacer a nivel de múltiplex primario.

Sistema R2 digital del CCITT:

Es necesario transmitir hacia adelante las indicaciones de alarma pero se puede hacer a nivel de canal. Si se transmiten las alarmas en cada canal individualmente no es necesario distinguir entre los dos tipos de averías.

El multidestino en el satélite se puede hacer a nivel de canal.

En el anexo II se indica un método para tratar la señalización y las alarmas.

5. Interfaz para televisión digital

El desarrollo de la televisión digital, particularmente para el procesamiento en estudios, se ha realizado durante varios años y se están empezando a establecer los requisitos para su transmisión. La transmisión terrenal adoptará técnicas que se adapten a los niveles jerárquicos recomendados por el CCITT. Para algunos países estará disponible el acceso a la red a unos 68 Mbit/s lo que representa una velocidad conveniente para un canal de televisión.

Hasta ahora no existen medios claramente definidos para la transmisión de televisión digital por satélite pero sería posible emplear los transpondedores de los satélites diseñados originalmente para telefonía MF-MDF y utilizados actualmente para las transmisiones de televisión con modulación de frecuencia. También podrán utilizarse transpondedores destinados a la telefonía AMDT.

Parece que será necesario, en el futuro, para las transmisiones terrenales de televisión digital, tener interfaces sencillos con las transmisiones por satélite. Este no parece ser el caso actualmente, puesto que por ejemplo, no existen planes para la transferencia por satélite de un grupo de telefonía completo a 140 Mbit/s; tal requisito sencillamente no existe en términos de telefonía. De manera similar, han tenido lugar con éxito transmisiones experimentales de televisión digital, por satélite a 60 Mbit/s, pero las transmisiones individuales a 60 Mbit/s pueden infrautilizar un enlace terrenal de 140 Mbit/s. Es más, la televisión a 60 Mbit/s podría quizá unirse con la telefonía AMDT para ocupar, por ejemplo, un transpondedor de 120 Mbit/s, pero donde se precise el funcionamiento de televisión únicamente, sería poco atractivo tener que utilizar para la recepción equipo de AMDT.

Se prevé la transmisión digital de televisión por satélite para ciertos satélites regionales y puede que tenga importancia creciente en los lugares en que es importante la seguridad comercial de las transmisiones, que podrán recibirse en pequeñas antenas parabólicas.

6. Conclusiones

Los enlaces por satélite, ya sean plesiócronos o con justificación, pueden utilizarse para interconectar redes digitales, pero se recomienda el funcionamiento plesiócrono porque se considera que plantea menos problemas.

La corrección de la variación del retardo del tiempo periódico introducido por los satélites geoestacionarios puede efectuarse utilizando la técnica de memoria tampón y, por tanto, no se producirán deslizamientos de trama debido a la variación periódica del satélite.

Es necesario continuar el estudio de varios aspectos de los enlaces digitales por satélite que comprenden condiciones de señalización y alarma. Se han examinado algunos de estos problemas, y se han presentado sugerencias para el caso de transmisión digital. El retardo de transmisión relativamente largo introducido por los satélites no presenta ningún problema especial para el funcionamiento plesiócrono. Los efectos del retardo de transmisión en redes de datos se tratan en el Programa de Estudios 2Q/4.

ANEXO I

DOS EJEMPLOS DE TÉCNICAS DE JUSTIFICACIÓN PARA LOS SISTEMAS AMDT

1. Características de los sistemas AMDT

El AMDT es una técnica digital mediante la cual varias estaciones terrenas utilizan el transpónder de un mismo satélite sobre la base de la compartición en el tiempo. La portadora en modo de ráfaga transmitida de manera intermitente por una estación terrena no se superpone en el transpónder con las ráfagas transmitidas por otras estaciones.

El periodo de trama en los sistemas AMDT se diseña actualmente como un múltiplo entero de 125 μs, y la longitud de la ráfaga puede modificarse de acuerdo con el volumen del tráfico. La porción de preámbulo contiene la señal de sincronización de trama destinada a sincronizar la ráfaga, y la porción de información comprende los datos para múltiples destinos.

En síntesis, el enlace AMDT difiere del trayecto digital terrenal clásico en los siguientes aspectos:

- Cada ráfaga contiene bits de preámbulo para sincronización de la ráfaga.
- Se trata de un enlace punto a multipunto.
- El terminal cuenta con memorias intermedias.
- La capacidad del enlace puede variarse modificando la longitud de la ráfaga.

2. Estructura de trama del interfaz digital directo (IDD) conveniente para la transmisión AMDT

Como ya se ha indicado, el enlace AMDT presenta varias características que difieren de las de los trayectos digitales terrenales. Por ello, la estructura de trama de la ráfaga AMDT ha de determinarse teniendo en cuenta las características del enlace AMDT así como la sencillez del equipo de interfaz.

Se examina seguidamente una estructura de trama posible para la transmisión de grupos primarios MIC por un enlace AMDT:

- Dado que la señal de sincronización de ráfaga puede emplearse para la detección de dígitos de control de justificación e intervalos de tiempo de justificación, no es necesario incluir la señal de alineación de trama en cada trama de justificación.
- No es necesario componer los grupos de orden superior mediante intercalado de bits, dado que el terminal AMDT cuenta con memorias intermedias. Además, puesto que el enlace AMDT es un enlace punto a multipunto y su capacidad puede variarse modificando la longitud de las ráfagas, la adopción de la intercalación tributaria permite extraer fácilmente los datos deseados en el lado receptor e imparte flexibilidad para cambiar la capacidad del enlace. La fig. 1 ilustra acerca del concepto general de «intercalación tributaria».
- A fin de mantener suficientemente pequeña la probabilidad de errores de justificación, se requieren, por cada trama de justificación, 5 bits como dígitos de control de justificación.
- Con el propósito de simplificar el terminal AMDT, conviene elegir una velocidad bruta de bits con justificación que sea un múltiplo entero de 64 kbit/s.

3. Ejemplos de estructuras de trama de justificación

En el cuadro I se indican los parámetros principales de la estructura de trama de justificación conveniente para normas del sistema MIC primario a 1,544 Mbits/s y 2,048 Mbits/s, y en las figs. 2 y 3 pueden verse los formatos de trama detallados.

Las características principales pueden resumirse del modo siguiente:

- El diseño del tipo A del cuadro I se basa en un sistema AMDT con una longitud de trama de 750 μs, en el que se emplea una técnica de justificación positiva. En el formato de trama de tipo B, en cambio, se utiliza una técnica de justificación positiva-negativa.
- Las velocidades de bits brutas son de 1,6 Mbit/s para el sistema primario a 1,544 Mbit/s, y de 2,112 Mbit/s para el sistema primario a 2,048 Mbit/s, que corresponden a los canales MIC 25 y 33 respectivamente.
- La señal de control de justificación se compone de 5 bits, todos ellos dispuestos para tener el mismo intervalo en la trama de justificación, como se ve en las figs. 2 y 3.

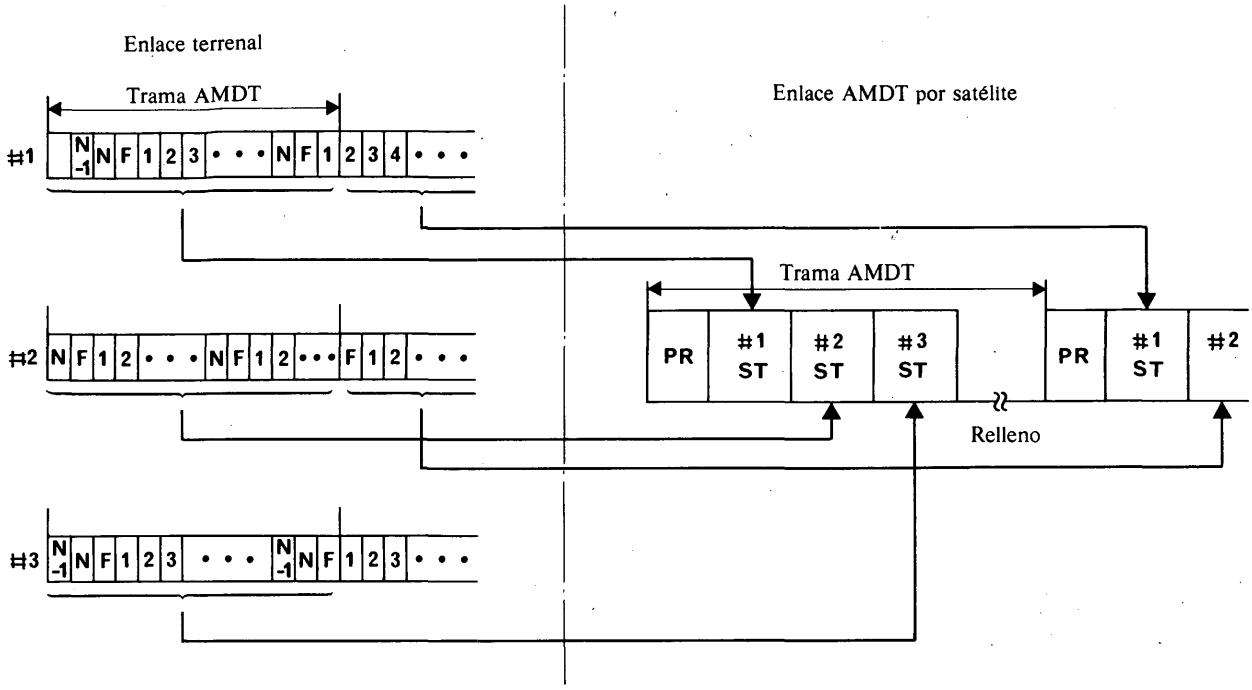
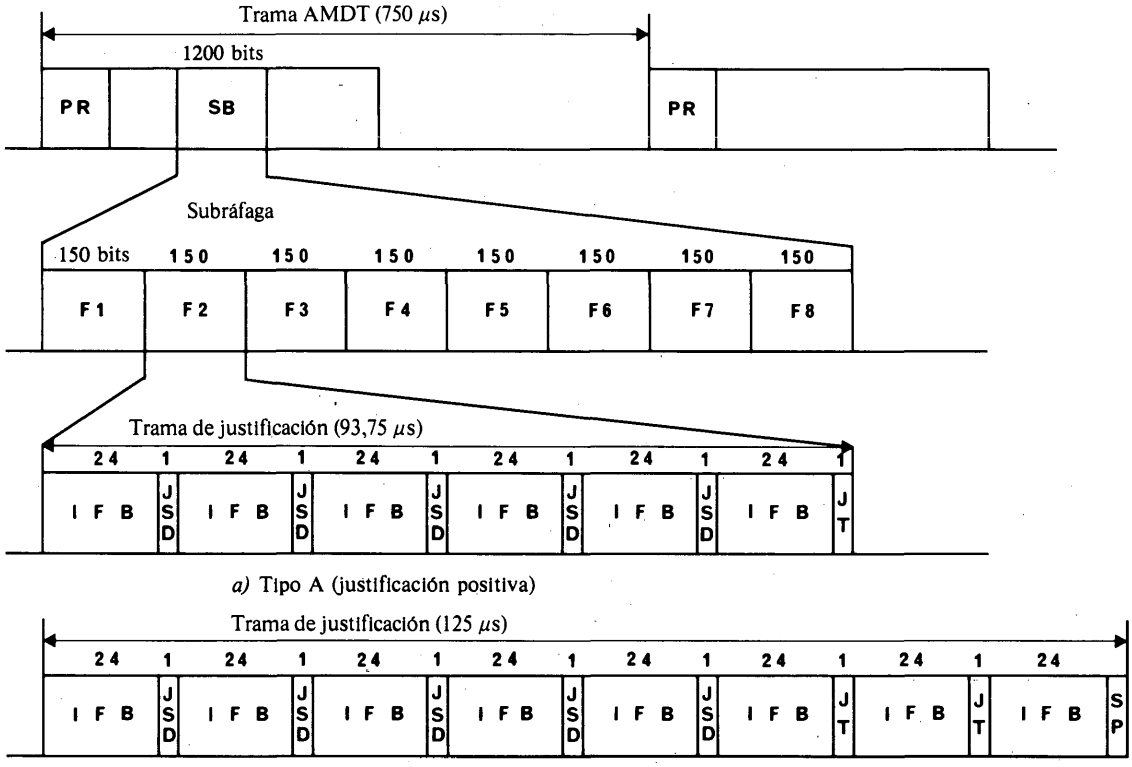


FIGURA 1 – *Concepción general de intercalado tributario AMDT propuesto*

F: Bit de alineación de trama
PR: Preámbulo

CUADRO I – *Ejemplos de estructuras de trama de justificación*

	Unidades	Tipo A	Tipo B	Tipo A	Tipo B
Velocidad de bits de entrada MIC	Mbit/s	1,544		2,048	
Velocidad de bits bruta	Mbit/s	1,6		2,112	
Técnica de justificación		positiva	pos./neg.	positiva	pos./neg.
Trama de justificación	s	93,75	120	83,3	120
Bit de información	bits/trama	144	192	170	255
Dígito de control de justificación	bits/trama	5	5	5	5
Intervalo de tiempo de justificación	bits/trama	1	2	1	2
Bit de reserva	bits/trama	150	200	176	264
Relación de relleno		0,25	(0,5)	0,33	(0,5)

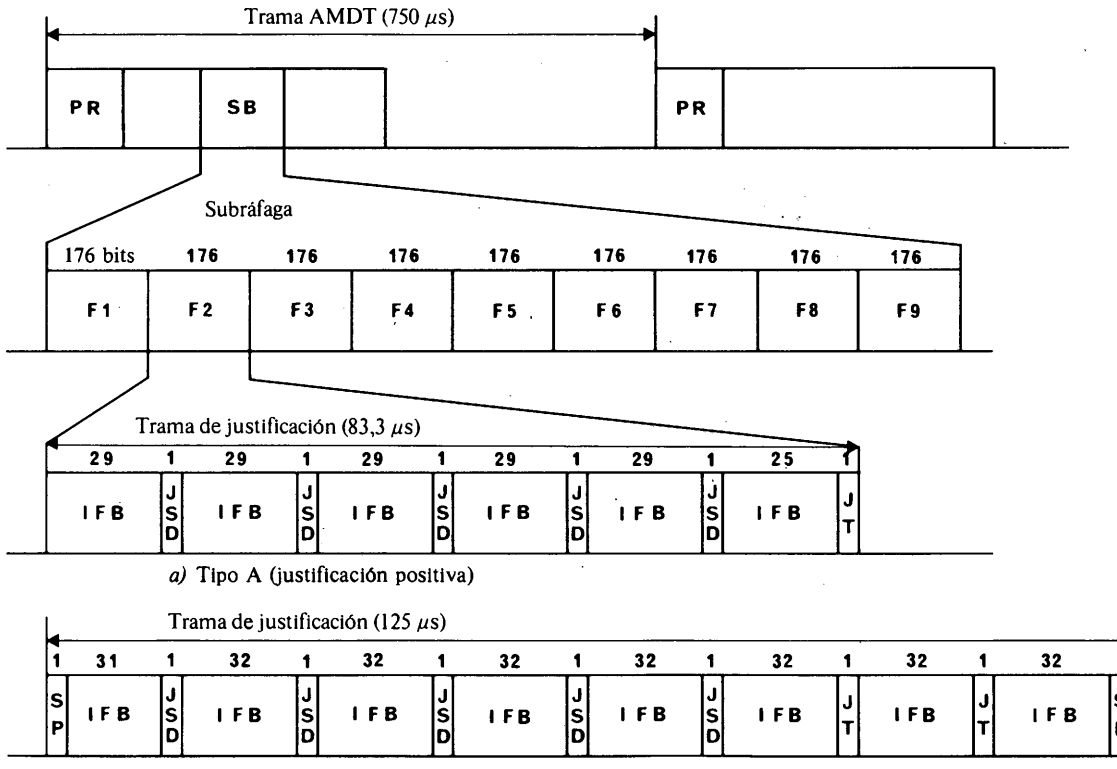


a) Tipo A (justificación positiva)

b) Tipo B (justificación positiva-negativa)

FIGURA 2 – *Estructura de trama para el IDD en 1,544 Mbit/s*

IFB: Bits de información
JSD: Dígito de control de justificación
JT: Intervalo de tiempo de justificación
SP: Bits de reserva
PR: Preámbulo



a) Tipo A (justificación positiva)

b) Tipo B (justificación positiva-negativa)

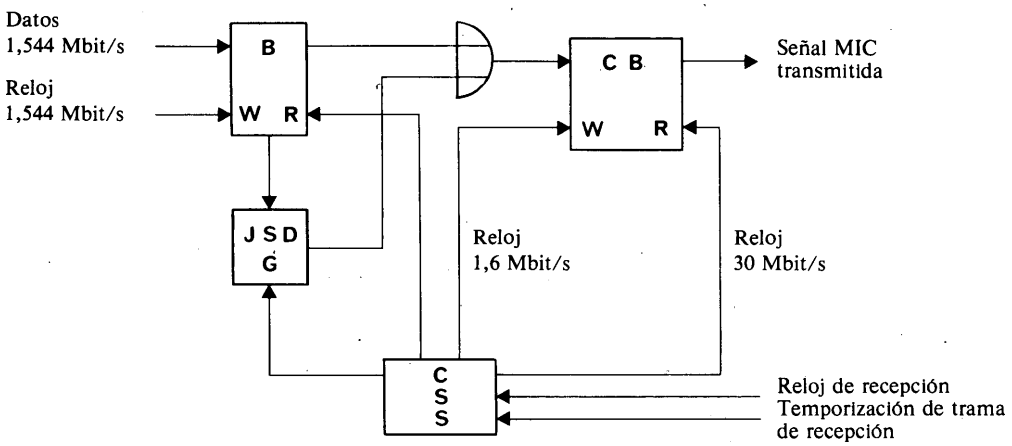
FIGURA 3 – *Estructura de trama para el IDD en 2,048 Mbit/s*

IFB: Bits de información
JSD: Dígito de control de justificación
JT: Intervalo de tiempo de justificación
SP: Bits de reserva
PR: Preámbulo

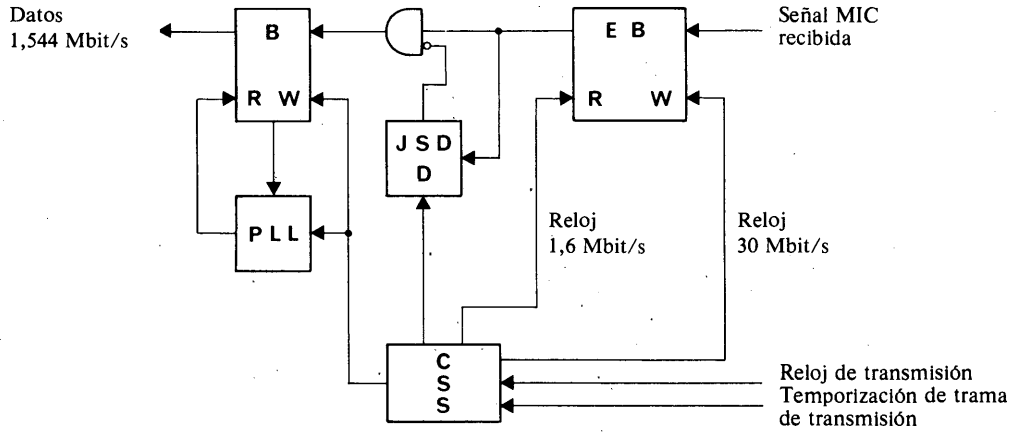
4. Realización de un equipo IDD experimental

Se ha diseñado un equipo IDD experimental para un sistema MIC primario de 1,544 Mbit/s, basado en el formato de trama de tipo A que se indica en el cuadro I.

En la fig. 4 puede verse el diagrama de bloques simplificado. En el lado transmisor, las señales MIC a 1,544 Mbit/s enviadas desde el lado terrenal se convierten en señales MIC a 1,6 Mbit/s utilizando la técnica de justificación positiva, que, previa compresión del tiempo en la memoria intermedia de compresión, pasan al terminal AMDT. En el lado receptor, las señales MIC enviadas de terminal de AMDT se convierten en señales continuas a 1,6 Mbit/s en la memoria intermedia de expansión. Seguidamente se extraen los dígitos de control de justificación (JSD) de las señales MIC a 1,6 Mbit/s utilizando señales de temporización de control enviadas por el terminal de AMDT. El detector de dígitos de control de justificación decide si el intervalo de tiempo del dígito de justificación es un bit de información o un bit simulado y se recupera la señal MIC a 1,544 Mbit/s.



a) Lado transmisor



b) Lado receptor

FIGURA 4 – *Diagrama de bloques de un interfaz digital directo (IDD)*

JSD: Dígito de control de justificación
PLL: Bucle de enganche de fase

ANEXO II

TRANSMISIÓN DE SEÑALIZACIÓN Y CONDICIONES DE ALARMA DE MÚLTIPLEX MIC PRIMARIOS EN ENLACES DIGITALES POR SATÉLITE

1. Introducción

El CCITT ha definido las características que deben cumplir los equipos múltiplex digitales MIC que se utilizan en las redes de telecomunicación, pero considerando sólo un tramo de transmisión de extremo a extremo. En comunicaciones por satélite hay suficientes argumentos para considerar tres tramos de transmisión: dos nacionales y uno internacional. Sin embargo, desde el punto de vista de conmutación el enlace entre los CT constituye un solo tramo.

Se propone un método para la transmisión de los múltiplex MIC vía satélite que tiene en cuenta, por un lado, las técnicas AMDT-DSI y, por otro, la necesidad de cumplir con los requisitos especificados por el CCITT.

Se supone un enlace digital entre centrales internacionales en el que la línea terrenal entre el CT y la estación terrena se sincroniza al equipo AMDT. Solamente se considera el interfaz con múltiplex primarios MIC de 2048 kbit/s. Si el equipo de múltiplex terrenal es de un orden superior, se supone que el interfaz se hace a nivel de múltiplex primario.

2. Sistemas digitales por satélite

Los sistemas AMDT previstos pueden utilizar módulos DSI para un máximo de 240 canales terrenales, que se convierten en un máximo de 120 canales de satélite. Con objeto de aumentar la capacidad real del satélite, se deben transmitir los canales terrenales que estén en servicio, eliminando en el enlace espacial aquellos canales que no estén en operación. Además, hay que disminuir al máximo las pérdidas de capacidad debidas a la transmisión de los canales de sincronismo y de señalización utilizados en los múltiplex MIC.

Las ventajas del multidestino que presentan los satélites no deben estar limitadas por la estructura utilizada en redes terrenales. Por tanto, se deberá permitir el multidestino a nivel de múltiplex primario y si es posible incluso a nivel de canal. Por otra parte, la solución que se adopte para el sistema por satélite deberá ser tal que admita cualquier sistema de señalización compatible con su retardo de propagación.

3. Múltiplex MIC de 2048 kbit/s

En el múltiplex MIC de 2048 kbit/s el intervalo 0 de tiempo de canal de las tramas impares se utiliza para la señal de alineación de trama, mientras que en las tramas pares se incluye un bit de indicación de alarma internacional y varios bits de reserva para uso nacional.

No es necesario transmitir la señal de alineación de trama a través del satélite, ya que el sistema AMDT tiene su propia señal de sincronismo de trama, por lo que queda perfectamente definida la posición exacta de los distintos canales telefónicos dentro de la trama AMDT; se puede, pues, regenerar la trama del múltiplex MIC en la estación terrena receptora. Sin embargo, para prescindir de la transmisión de la señal de alineación de trama hay que tener en cuenta algunos aspectos relacionados con las alarmas de transmisión y señalización.

Para sistemas de conmutación con canal de señalización asociado, se emplea el intervalo 16 de tiempo de canal, que consiste en una multitrama formada por 16 tramas consecutivas. La señal de alineación de multitramas es 0000, que ocupa los intervalos de tiempo de los bits 1 al 4 de la trama 0. En esta trama 0 los bits 5, 7 y 8 son de reserva, y el 6 se utiliza para indicar al terminal alejado la pérdida de alineación de multitrama. Las 15 tramas restantes se subdividen cada una de ellas en dos bloques de 4 bits y cada bloque se asigna a uno de los 30 canales telefónicos.

4. Requerimientos del CCITT para transmisión de alarmas

La Recomendación G.732 del CCITT se refiere a la transmisión que se realiza entre dos equipos múltiplex en cuyo enlace la señal no ha sufrido ninguna modulación por manipulación.

En un sistema de satélites que utiliza técnicas AMDT-DSI, los grupos primarios MIC podrían transmitirse sin ninguna otra modificación que la requerida para insertarlos en la trama AMDT, pero para ello sería necesario asignar dos canales en permanencia, sin interpolación, para los intervalos 0 y 16 de tiempo de canal. Suponiendo una ventaja de 2 : 1 debido a la DSI, la pérdida de capacidad en el satélite sería entonces del 12%. Esta pérdida de capacidad puede evitarse no transmitiendo la señal de alineación de trama y reconfigurando la información contenida en los intervalos 16 de tiempo de canal, de tal forma que sólo se emplee un canal AMDT de señalización por módulo DSI. Así se consigue que la pérdida de capacidad sea menor del 1%.

Con esta estructura el enlace por satélite usa su propia información de trama y se elimina la transmisión entre estaciones terrenas de la señal de alineación de trama MIC y la señal de alineación de multitrama. Por tanto, el circuito entre los CT debe considerarse como formado por tres secciones en serie: dos nacionales entre CT y la estación terrena, y una internacional, entre estaciones terrenas. Como consecuencia de ello, en cada estación terrena deberán detectarse las siguientes averías en la sección nacional: pérdida de alineación de trama, pérdida de la señal de entrada a 2048 kbit/s, propagación excesiva de errores en la señal de alineación de trama y pérdida de la señal de alineación de multitrama (si se utiliza el intervalo 16 de tiempo de canal). En este caso, deberá transmitirse la indicación de alarma hacia el extremo alejado de la sección nacional.

Para la sección internacional entre estaciones terrenas, el equipo AMDT-DSI tiene previsto un sistema de alarmas equivalente al de los equipos múltiplex MIC.

Desde el punto de vista de señalización existe sólo una sección entre los dos CT, por lo que habrá que definir una filosofía relativa a la propagación de alarmas de una sección a otra. En los sistemas de señalización R2 del CCITT, cualquier avería que signifique la generación de una alarma de servicio, indicando que el circuito no está disponible para el servicio, deberá ser transmitida hacia adelante a las siguientes secciones, con objeto de que los equipos de conmutación y señalización reciban la indicación correspondiente.

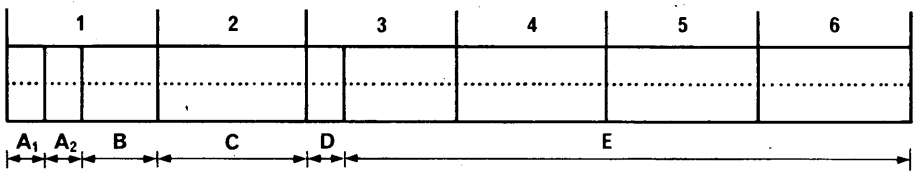
5. Canal AMDT para la transmisión de señales de alarma y señalización

La solución presentada en este Informe tiene las siguientes características:

- La capacidad del satélite no se ve seriamente disminuida (menos del 1%) al utilizar sólo un canal AMDT por cada módulo DSI de 240 canales telefónicos.
- En sistemas con canal asociado de señalización, la transmisión de las alarmas de grupo sufre un retraso no superior a 1,5 ms con relación a la información de señalización.
- En los mútiplex MIC de las líneas terrenales, se pueden mezclar canales con distintos sistemas de señalización o de transmisión de datos, sin que ninguno de ellos se vea perjudicado por la transmisión de alarmas.

En el sistema de satélites cada módulo DSI de 240/120 circuitos deberá disponer de un canal AMDT dedicado permanentemente a la transmisión de alarmas de grupo y mensajes de señalización. Este módulo DSI admite 8 múltiplex MIC terrenales de 30 canales o un número superior de múltiplex terrenales si no todos los canales de cada uno de ellos están en servicio.

La estructura que se propone para este canal es la siguiente:



A_1 : Función

00 – Transmisión de señalización.
11 – Transmisión de alarmas de grupo.

A_2 : Subfunción

11 – Alarma hacia adelante. Interrupción de servicio.
00 – Alarma hacia adelante. Pérdida de la señal de multitrama.

B: Bits de reserva

C: Identificación del múltiplex (1 a 8)

Cada bit identifica un múltiplex, por tanto se pueden transmitir simultáneamente señales de alarma que afectan a más de uno. Un cero transmitido en el bit correspondiente al múltiplex terrenal particular indica que no existe, o que ha desaparecido la condición de avería.

D: Identificación del bit de señalización

00 – Bit *a* del intervalo de tiempo (IT) 16.
01 – Bit *b* del intervalo de tiempo (IT) 16.
10 – Bit *c* del intervalo de tiempo (IT) 16.
11 – Bit *d* del intervalo de tiempo (IT) 16.

E: Información de señalización de los 30 canales telefónicos del múltiplex MIC seleccionado

Para los bits de reserva B, puede haber las siguientes alternativas:

- Extensión hasta 12 múltiplex MIC correspondiendo cada bit a uno de los cuatro múltiplex añadidos.
- Extensión superior; en este caso los bits de B pueden indicar el conjunto de múltiplex MIC al que corresponde la información.
- Otras funciones a especificar.

Como la trama AMDT es de una duración de 750 μs, que agrupa 6 tramas MIC de 125 μs, los 48 bits pueden transmitirse en una trama AMDT correspondiente a un canal telefónico. Sin embargo, dada la necesidad de proteger esta información de errores aleatorios, es recomendable aplicar un código corrector de errores. Dado que en el equipo DSI se utiliza para el canal de asignación un código de Hagelbarger con 24 bits de información y 24 de paridad, es aconsejable utilizar el mismo esquema para este nuevo canal de señalización. Por tanto, serán necesarias dos tramas AMDT para completar la transmisión de los 48 bits que comprende el mensaje de alarmas y señalización.

6. Transmisión de alarmas de grupo

La prioridad que se debe aplicar a la transmisión de alarmas y bits de señalización deberá ser:

- Alarma hacia adelante indicando que el múltiplex MIC está fuera de servicio.
- Alarma hacia adelante indicando que hay un fallo en la multitrama del IT 16.
- Bits de señalización.

La alarma hacia adelante indicando que el múltiplex MIC está fuera de servicio se aplicará cuando se detecte un fallo que afecte a todo el grupo (por ejemplo, pérdida de la señal de alineación de trama) o cuando se ha aplicado una señal de indicación de alarma (AIS) en el flujo de bits de 2048 kbit/s si se utilizan múltiplex de mayor orden entre el CT y la estación terrena. En el segundo caso es importante inhibir la transmisión de los correspondientes canales telefónicos, que debido a la aplicación de la AIS tienen todos los bits en el estado 1, ya que si no producirían una sobrecarga innecesaria en el equipo de DSI. En el primer caso también es recomendable evitar su transmisión para disminuir la actividad de tráfico a la entrada del equipo DSI. Actualmente los equipos DSI ya prevén este bloqueo. Con objeto de transmitir esta alarma hacia adelante desde la estación terrena receptora hasta la central de conmutación internacional, se deberá aplicar una AIS a la corriente de bits de 2048 kbit/s.

La indicación hacia adelante de la pérdida de multitrama del IT 16 desde la estación terrena receptora a la central de conmutación se puede realizar utilizando el bit 6 de la trama 0 del IT 16 que en la Recomendación del CCITT está previsto para la transmisión de esa alarma hacia el extremo alejado.

Con la estructura propuesta para el canal de señalización en el satélite se pueden transmitir varias alarmas de grupo simultáneas, siempre y cuando los grupos afectados pertenezcan al mismo bloque (8 grupos por bloque). Si se asignan más de 8 grupos por módulo DSI podría existir la posibilidad de que se produzca a la vez una alarma en dos grupos pertenecientes a distintos bloques; sin embargo, la probabilidad de esa situación es prácticamente despreciable, a menos que la avería haya sido debida a un fallo en un múltiplex MIC de orden superior. Por tanto, el retraso que afecta a esta transmisión de alarma no será superior a 1,5 ms en condiciones normales.

Esta información debe transmitirse a través del satélite cada vez que hay un cambio de estado en cualquiera de los grupos o canales. Además, con objeto de mantener una información confiable, se deberán transmitir mensajes de refresco, es decir, retransmisión de la situación en que se encuentran los canales o múltiplex MIC cuando este canal de señalización no tenga que transmitir otra información.

7. Transmisión de la señalización de canal

Algunos sistemas de señalización utilizan un canal de señalización asociado. Esta señalización puede transmitirse utilizando los bits asignados a cada canal telefónico en el IT 16. Como esta información está asociada al establecimiento o corte de las llamadas telefónicas, la estructura prevista puede cumplir con amplio margen las necesidades de transmisión de información, ya que estadísticamente se puede considerar que la duración media de una llamada, incluyendo aquellas en las que no se consigue establecer la comunicación, es de aproximadamente 2,5 min.

La utilización del código de Hagelbarger protege este canal frente a los posibles bits erróneos y garantiza una información fidedigna en la misma medida que la contenida en el mensaje de asignación del DSI.

SECCIÓN 4D: CARACTERÍSTICAS Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTACIONES TERRENAS

Recomendaciones e Informes

RECOMENDACIÓN 465-2

DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE REFERENCIA DE ESTACIÓN TERRENA PARA USO EN LAS OPERACIONES DE COORDINACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS INTERFERENCIAS, EN LA GAMA DE FRECUENCIAS COMPRENDIDA ENTRE 2 Y 30 GHz APROXIMADAMENTE

(Programa de Estudios 1A/4)

(1970-1974-1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que para los estudios de coordinación y para evaluar las interferencias mutuas entre los sistemas de telecomunicación por satélite y entre las estaciones terrenas de estos sistemas y las estaciones de otros servicios que comparten la misma banda de frecuencias, puede ser necesario utilizar un diagrama de radiación único para la antena de la estación terrena;

b) que para determinar la distancia de coordinación y evaluar la interferencia entre estaciones terrenas y estaciones terrenales puede ser conveniente utilizar un diagrama de radiación basado en el nivel rebasado por un pequeño porcentaje de las crestas de los lóbulos laterales;

c) que para efectuar los estudios de coordinación y para evaluar la interferencia entre estaciones terrenas y estaciones espaciales, puede ser conveniente utilizar un diagrama de radiación para la región próxima al haz principal, basado en la envolvente de la potencia de cresta de los lóbulos laterales en esa región;

d) que para los ángulos relativos al eje del haz principal en los que los efectos peculiares del sistema de alimentación usado no contribuyen apreciablemente a la potencia en los lóbulos laterales, los diagramas de radiación de numerosas antenas de estaciones terrenas existentes presentan sólo pequeñas diferencias con relación a un diagrama simple generalizado, por lo menos dentro de la gama de frecuencias comprendida entre 2 y 30 GHz;

e) que para los sistemas de tipo Cassegrain y ángulos relativos al eje del haz principal en los que el aumento de potencia en los lóbulos laterales se debe principalmente al desbordamiento, los diagramas de radiación de cierto número de antenas existentes presentan también una concordancia bastante buena;

f) que para los ángulos grandes, hay que tener en cuenta la posibilidad de reflexiones locales en el suelo;

g) que las antenas con diagrama de radiación óptimo asegurarán la máxima eficacia en la utilización del espectro radioeléctrico y de la órbita geoestacionaria,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que en ausencia de datos precisos sobre el diagrama de radiación de las antenas de estaciones terrenas, se utilice un solo diagrama de radiación de referencia:

1.1 Para efectuar los estudios de coordinación y la evaluación de la interferencia entre las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite y las estaciones de otros servicios que compartan la misma banda de frecuencia.

1.2 Para efectuar los estudios de coordinación y la evaluación de la interferencia entre sistemas de servicio fijo por satélite.

2. Que se adopten los siguientes diagramas de radiación de referencia para los ángulos comprendidos entre la dirección considerada y el eje del haz principal, por lo menos para las frecuencias de la gama de 2 a 30 GHz.

2.1 Relación diámetro de la antena/longitud de onda (D/λ) superior a 100:

$$G = 32 - 25 \log \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{para} \quad 1° \leqslant \varphi < 48°$$
$$= -10 \quad \text{dBi} \quad \text{para} \quad 48° \leqslant \varphi \leqslant 180°$$

2.2 D/λ inferior o igual a 100:

$$G = 52 - 10 \log (D/\lambda) - 25 \log \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{para} \quad (100\,\lambda/D)° \leqslant \varphi < 48°$$
$$= 10 - 10 \log (D/\lambda) \quad \text{dBi} \quad \text{para} \quad 48° \leqslant \varphi \leqslant 180°$$

Nota 1. – Se supone que el diagrama de radiación de referencia es circularmente simétrico.

Nota 2. – El diagrama de radiación de referencia debe emplearse con precaución en la gama angular en que el sistema de alimentación particular que se aplique pueda producir un efecto de desbordamiento relativamente grande.

RECOMENDACIÓN 580-1

DIAGRAMAS DE RADIACIÓN QUE HAN DE UTILIZARSE COMO OBJETIVOS DE DISEÑO PARA LAS ANTENAS DE LAS ESTACIONES TERRENAS QUE FUNCIONAN CON SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

(Cuestión 1/4 y Programa de Estudios 1A/4)

(1982-1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que la utilización eficaz del espectro radioeléctrico es un factor esencial de la gestión de la órbita de los satélites geoestacionarios;

b) que las características de los lóbulos laterales de las antenas de las estaciones terrenas constituyen uno de los factores principales para determinar la separación mínima entre satélites y, por consiguiente, el grado en que puede utilizarse eficazmente el espectro radioeléctrico;

c) que el diagrama de radiación de las antenas influye directamente en la p.i.r.e. fuera del eje principal de radiación y en la potencia recibida por los lóbulos laterales;

d) que, utilizando las técnicas actuales de diseño puede preverse la construcción de antenas con características mejoradas de lóbulos laterales, pero que sus aplicaciones prácticas pueden entrañar un aumento del costo;

e) que en el Informe 391 figuran datos relativos a diagramas de antenas de estación terrena con características mejoradas de lóbulos laterales;

f) que el CCIR está estudiando las posibles ventajas resultantes del empleo de antenas con características mejoradas de lóbulos laterales para una utilización más eficaz de la órbita geoestacionaria;

g) que, a largo plazo, puede ser práctico un objetivo de diseño 3 dB mejor que los diagramas de radiación que figuran en el Informe 391,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. En relación con las antenas de estación terrena que funcionan con un satélite geoestacionario, con una relación D/λ superior a 150:

Que las que se instalen a partir de 1988 tengan como objetivo de diseño el que la ganancia, G, del 90% por lo menos de las crestas de los lóbulos laterales no exceda de:

$$G = 29 - 25 \log \varphi \qquad \text{dBi}$$

(φ es el ángulo, con respecto al eje del lóbulo principal y G la ganancia con relación a una antena isótropa).

Este requisito debe cumplirse para cualquier dirección fuera del eje que forme un ángulo igual o inferior a 3° con la órbita de los satélites geoestacionarios y para la que $1° \leqslant \varphi \leqslant 20°$, como se indica en la fig. 1.

2. En relación con las antenas de estación terrena con una relación D/λ entre 11 y 150:

Que las nuevas antenas que se instalen a partir de 1988 tengan como objetivo de diseño que la ganancia, G, del 90% por lo menos de las crestas de los lóbulos laterales no exceda de:

$$G = 32 - 25 \log \varphi \qquad \text{dBi}$$

Que las antenas que se instalen después de 1991 (esta fecha es provisional y se fijará en la XVII Asamblea Plenaria del CCIR teniendo en cuenta las necesidades de los países en desarrollo) tengan como objetivo de diseño que la ganancia, G, del 90% por lo menos de las crestas de los lóbulos laterales no exceda de:

$$G = 29 - 25 \log \varphi \qquad \text{dBi}$$

Estos requisitos deben cumplirse para cualquier dirección fuera del eje que forme un ángulo igual o inferior a 3° con la de la órbita de los satélites geoestacionarios y para la que $1° \leqslant \varphi \leqslant 20°$.

3. En relación con las antenas de estación terrena que funcionan con un satélite geoestacionario, con una relación D/λ inferior a 100:

Que las nuevas antenas que se instalen a partir de 1989 tengan como objetivo de diseño que la ganancia, G, del 90% por lo menos de las crestas de los lóbulos laterales no exceda de:

$$G = 52 - 10 \log (D/\lambda) - 25 \log \varphi \qquad \text{dBi}$$

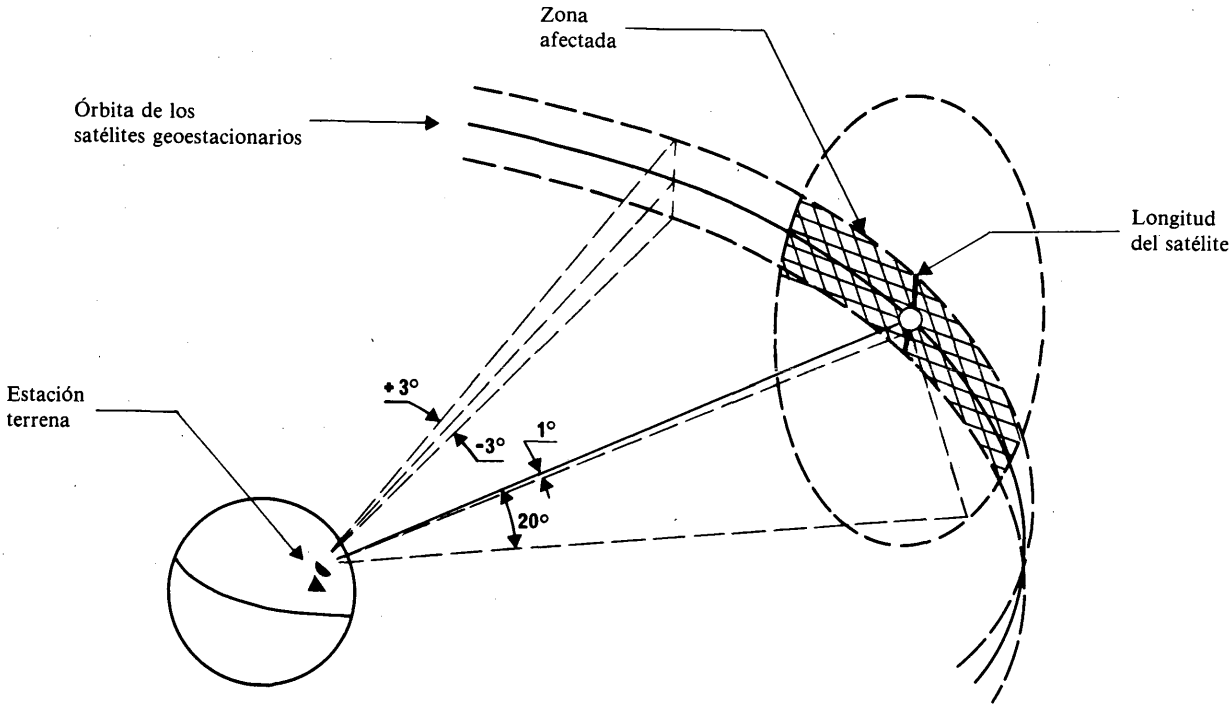


FIGURA 1 – *Zona alrededor de la órbita de los satélites geoestacionarios a la que se aplica el objetivo de diseño para las antenas de estaciones terrenas*

Que las antenas que se instalen después de 1991 (esta fecha es provisional y se fijará en la XVII Asamblea Plenaria del CCIR teniendo en cuenta las necesidades de los países en desarrollo) tengan como objetivo de diseño que la ganancia, G, del 90% por lo menos de las crestas de los lóbulos laterales no exceda de:

$$G = 49 - 10 \log (D/\lambda) - 25 \log \varphi \qquad \text{dBi}$$

Estos requisitos deben cumplirse para valores de φ comprendidos entre $(100\ \lambda/D)$ grados y $(D/5\lambda)$ grados, no siendo este último término inferior a 7°, lo que equivale a un límite inferior del tamaño de la antena de $D/\lambda = 35$. Estos requisitos se aplican a cualquier dirección fuera del eje que forme un ángulo igual o inferior a 3° con la de la órbita de los satélites geostacionarios.

Nota 1. – Esta Recomendación no se aplica a las antenas existentes.

Nota 2. – Esta Recomendación se refiere principalmente a los criterios de compartición de la órbita geoestacionaria. Sin embargo hay que subrayar que la aplicación de esta Recomendación no debe ir en detrimento de las características de la antena que afectan a la coordinación de frecuencias entre el servicio fijo por satélite y los servicios terrenales (véase la Recomendación 465).

Nota 3. – El método de tratamiento estadístico de las crestas de los lóbulos laterales se expone en el anexo II al Informe 391.

Nota 4. – Esta Recomendación puede necesitar modificaciones a la luz de ulteriores decisiones tomadas por futuras CAMR, especialmente en los arcos orbitales y bandas de frecuencia en los que se reconocen las especiales necesidades de los países en desarrollo.

INFORME 391-5

DIAGRAMAS DE RADIACIÓN DE ANTENAS PARA ESTACIONES TERRENAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE, PARA UTILIZAR EN ESTUDIOS DE INTERFERENCIAS Y EN LA DETERMINACIÓN DE UN OBJETIVO DE DISEÑO

(Cuestión 1/4 y Programa de Estudios 1A/4)

(1966-1970-1974-1978-1982-1986)

1. Introducción

Para determinar la distancia de coordinación, evaluar la interferencia entre estaciones terrenas y estaciones de sistemas de relevadores radioeléctricos, así como para estudios de coordinación entre estaciones terrenas y estaciones espaciales de distintos sistemas de satélites que compartan las mismas bandas de frecuencias, se necesita conocer la ganancia de la antena de la estación terrena en la dirección adecuada. Conviene asimismo conocer las características de radiación en planos distintos de los principales, especialmente cuando se calcula la interferencia entre sistemas de satélites.

Además es necesario, como se expone en el Informe 390, reunir información sobre las características de las nuevas antenas, a fin de establecer un objetivo de diseño adecuado para los niveles de los lóbulos laterales.

2. Diagramas característicos de radiación

Para calcular la distancia de coordinación y evaluar la interferencia mutua entre estaciones terrenas y estaciones terrenales de los sistemas de relevadores radioeléctricos, se necesitan datos sobre el diagrama de radiación de la antena de la estación terrena. De preferencia, deben utilizarse datos sobre el diagrama de radiación real, que se tratarán según el método estadístico descrito en el anexo II.

Cuando no se disponga de ellos, puede emplearse un diagrama de radiación de referencia. Se estima adecuado un diagrama de radiación de referencia que represente un nivel rebasado solamente por un porcentaje de las crestas de los lóbulos laterales. De utilizarse tal diagrama de radiación de referencia para la distancia de coordinación y el cálculo de la interferencia, el riesgo de que la antena real acuse niveles de interferencia que rebasen los valores calculados es suficientemente pequeño.

2.1 *Representación de los valores medidos en antenas con una gran relación diámetro/longitud de onda ($D/\lambda > 100$) mediante un diagrama de radiación de referencia*

En 1976 se obtuvieron informaciones sobre las antenas de 18 estaciones terrenas grandes en 6,4 GHz con el satélite ATS-6, siendo el diámetro de las antenas de 26 a 32 m (D/λ entre 550 y 670). En la fig. 1 se indican los niveles rebasados por el 10% de las crestas, para cada antena y frecuencia. En ella se muestra igualmente el diagrama de radiación de referencia:

$$G = 32 - 25 \log \varphi \quad \text{dB} \tag{1}$$

donde G es la ganancia con relación a una antena isotrópica y φ el ángulo (en grados) que forma el eje del haz principal con la dirección considerada. Debe señalarse que esta fórmula se supone que se aplica únicamente a la región situada más allá de la cresta del primer lóbulo lateral, es decir, para φ (grados) $\approx 100\,\lambda/D$. Además, no debe suponerse nunca que la ganancia de la antena de referencia cae por debajo de -10 dB con relación a una antena isotrópica. La gama de φ se considera hasta el punto en el que la ganancia es igual a -10 dB, límite que se elige para tener en cuenta las reflexiones en el suelo.

Cuando no se conozca D/λ, puede determinarse a partir de la expresión $20 \log D/\lambda \approx G_0 - 8$, donde G_0 es la ganancia de la antena en la dirección del haz principal, en dB.

Cabe esperar que este diagrama de radiación de referencia represente el nivel rebasado durante el 10% de las crestas de los lóbulos laterales de los diagramas de radiación reales de grandes antenas de estaciones terrenas.

En la región más próxima al haz principal, es decir $0{,}2° < \varphi < 1°$, el valor de 10% es esencialmente equivalente al valor de cresta absoluto debido al pequeño número de crestas en esa región. El valor mediano, o sea, el valor excedido por el 50% de las crestas, se encuentra aproximadamente 5 dB por debajo del diagrama de radiación de referencia sobre la región angular donde φ es mayor de 1° y menor de 10°; dentro de esa región angular, algunas de las mayores crestas pueden exceder del diagrama de referencia en 10 dB. Sin embargo, la CAMR-79 ha adoptado un método para evaluar el diagrama de radiación en el interior de esta región angular; este método se incluye en el anexo I.

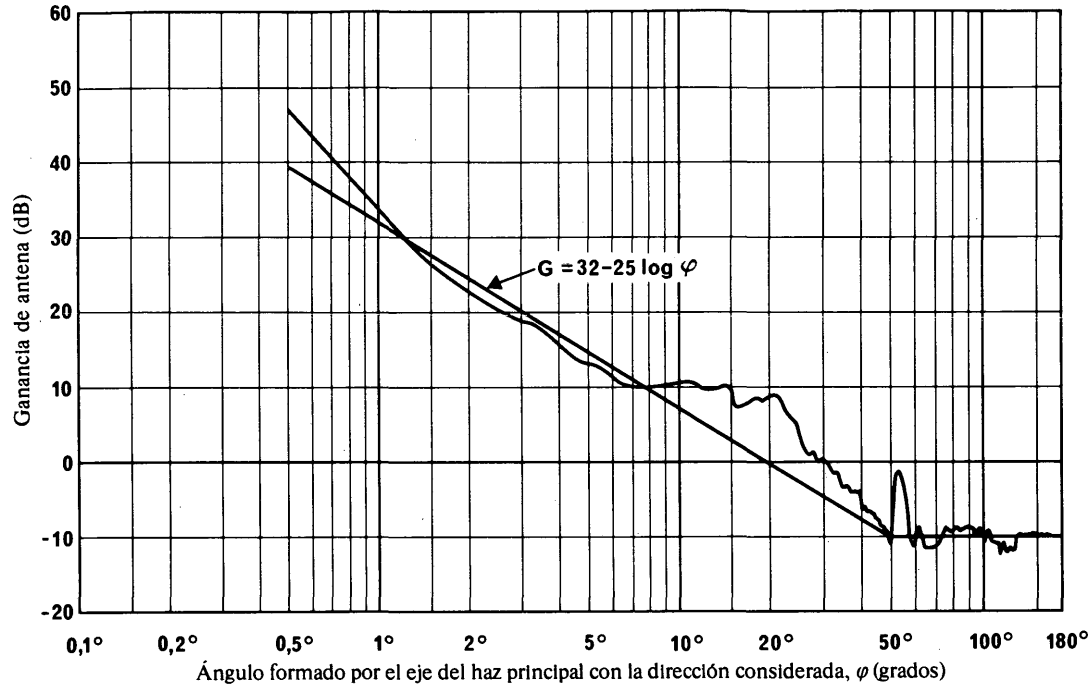


FIGURA 1 — *Datos estadísticos para antenas Cassegrain de 18 estaciones terrenas grandes, obtenidos en 6,4 GHz(D/λ = 550 a 670). Los niveles excedidos por el 10% de las crestas de los lóbulos laterales se han promediado a intervalos de un grado*

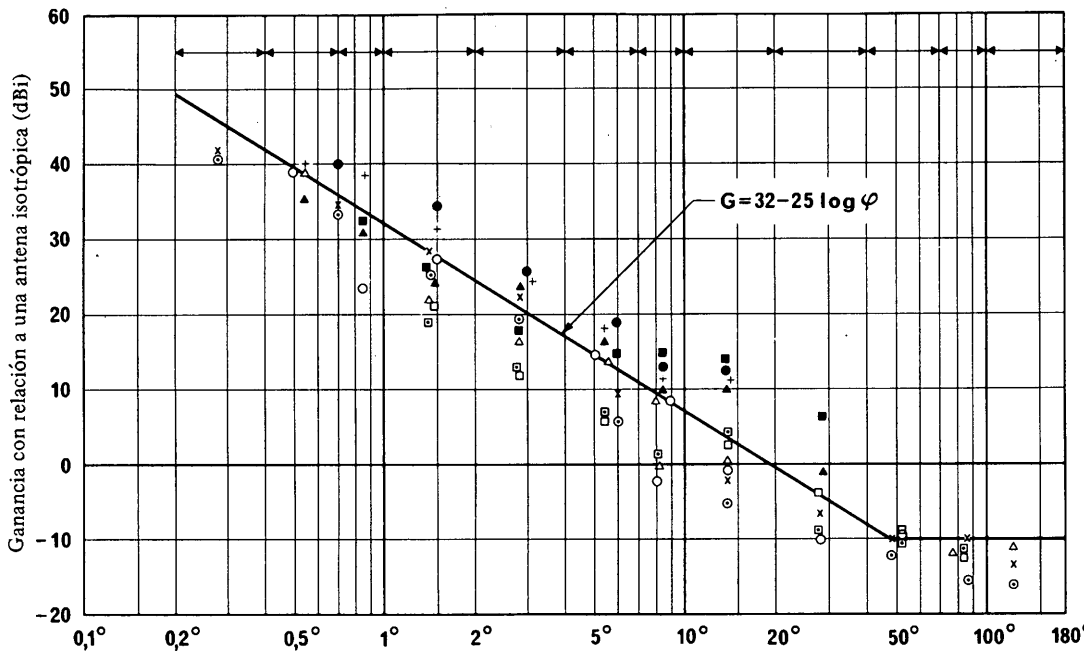
Además, también se dispone de algunos datos sobre diagramas de radiación de antenas en la banda de frecuencias por encima de 10 GHz, cuando D/λ es mayor que 100. Todos ellos concuerdan bien con la expresión 32 − 25 log φ de la fig. 2a. Estos datos se trataron según el método utilizado en el periodo de estudios 1978-1982. En la fig. 2b se indican los niveles excedidos por el 10% de las crestas de los lóbulos laterales con copolarización, determinados por el método descrito en el anexo II, de 3 antenas Cassegrain diseñadas para funcionar en las bandas de frecuencias superiores a 10 GHz ($D/\lambda \geqslant 100$). El método descrito en el anexo II presenta estadísticas más realistas, ya que tiene en cuenta la pendiente del diagrama dentro de la ventana de muestreo.

2.2 *Grandes antenas con características de lóbulos laterales mejoradas ($D/\lambda > 100$)*

Una antena de reflector con alimentador descentrado se caracteriza por presentar lóbulos laterales reducidos debido a la ausencia del bloqueo de la abertura. En la fig. 3a se muestra un ejemplo de las características de lóbulos laterales de este tipo de antena. Esta antena tiene un reflector secundario perfilado y un alimentador de guiaondas mientras que el reflector principal está constituido por parte de un paraboloide de revolución (véase más detalles sobre este tipo de antena en el anexo I al Informe 390).

Sin embargo, cuidando suficientemente la definición de los diversos componentes de la antena es posible obtener características mejoradas incluso en el caso de una antena Cassegrain clásica, como lo indican las figs. 3b, 3c y 3d.

Los diagramas de radiación de una antena Cassegrain de 32 m diseñada para cubrir la anchura de banda de 875 MHz en 6 GHz y de 800 MHz en 4 GHz se obtuvieron y trataron de conformidad con el método descrito en el anexo II. En la fig. 3e pueden verse los niveles excedidos por el 10% de las crestas de los lóbulos laterales de dicha antena para la señal copolar.



Ángulo formado por el eje del haz principal con la dirección considerada, φ (grados)

FIGURA 2a – *Datos estadísticos relativos a diagramas de radiación de antenas Cassegrain de estaciones terrenas, obtenidos en frecuencias superiores a 10 GHz*

Niveles excedidos por un 10 % de las crestas de los lóbulos laterales

▲ 11/14 GHz $D/\lambda = 650/810$
■ 11/14 GHz $D/\lambda = 110/140$
● 11 GHz $D/\lambda = 330$
○ 12 GHz $D/\lambda = 180$
△ 14 GHz $D/\lambda = 210$
\+ 17 GHz $D/\lambda = 490$
⊙ 19,3 GHz $D/\lambda = 740$
× 29,5 GHz $D/\lambda = 1131$
□ 11,5 GHz $D/\lambda = 383$
⊡ 34,5 GHz $D/\lambda = 1150$

⟷ Intervalo angular de muestreo

Nota. — Debe señalarse que los diversos puntos de la figura pueden representar intervalos angulares de muestreo y números de crestas diferentes.

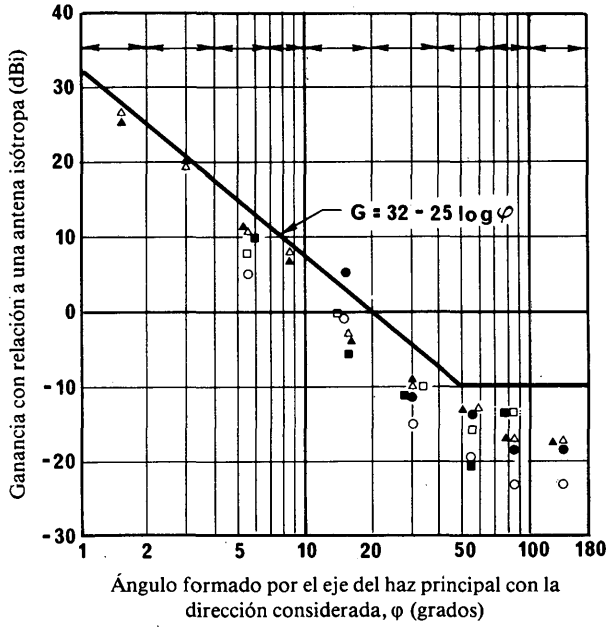


FIGURA 2b – *Datos estadísticos de las crestas de los lóbulos laterales de 3 antenas Cassegrain en frecuencias superiores a 10 GHz (copolarización)*

Niveles excedidos por el 10% de las crestas de los lóbulos laterales tratados de conformidad con el anexo II

○ 14,25 GHz $D/\lambda = 618$
● 12,126 GHz $D/\lambda = 526$
△ 14,22 GHz $D/\lambda = 379$
▲ 11,92 GHz $D/\lambda = 318$
□ 14,25 GHz $D/\lambda = 380$
■ 11,58 GHz $D/\lambda = 309$
⟷ Intervalo angular de muestreo

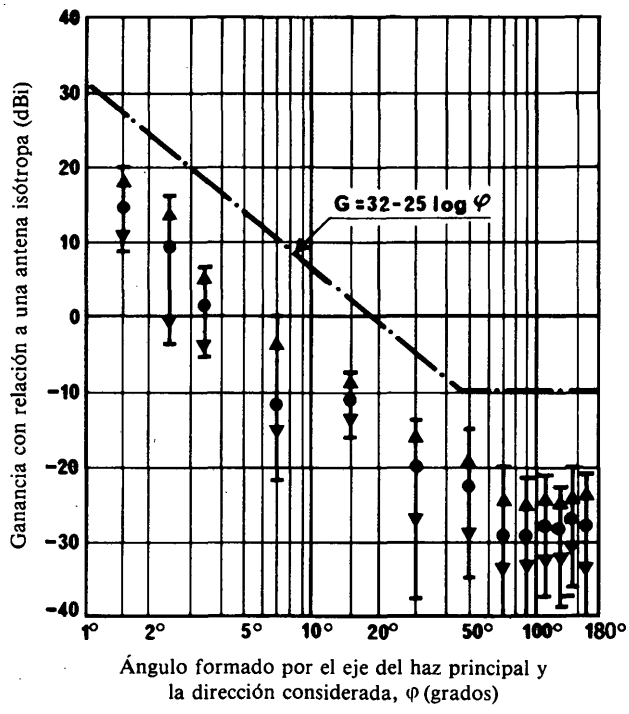


FIGURA 3a – *Distribución estadística de las crestas de los lóbulos laterales para una antena Cassegrain con alimentador descentrado, $D/\lambda = 1131$ y $f = 29{,}5$ GHz (sección acimutal)*

Valor máximo
10% más desfavorable
Valor mediano
10% más favorable
Valor mínimo

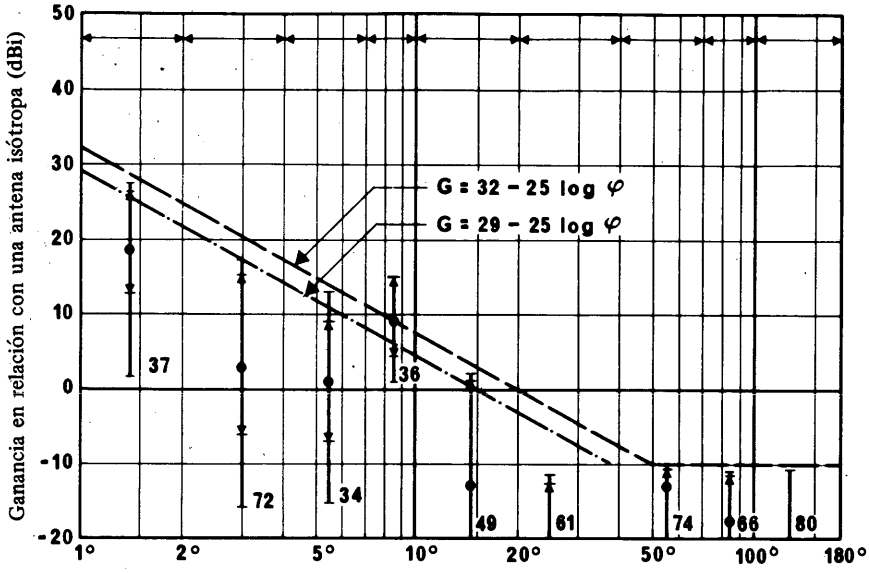


FIGURA 3b – *Distribución estadística de las crestas de los lóbulos laterales de una antena Cassegrain con $D/\lambda = 214$ y $D = 4{,}5$ m, para una frecuencia $f = 14{,}25$ GHz*

– Valor máximo
▲ 10% óptimo
● Valor mediano
37, 72... Número de muestras

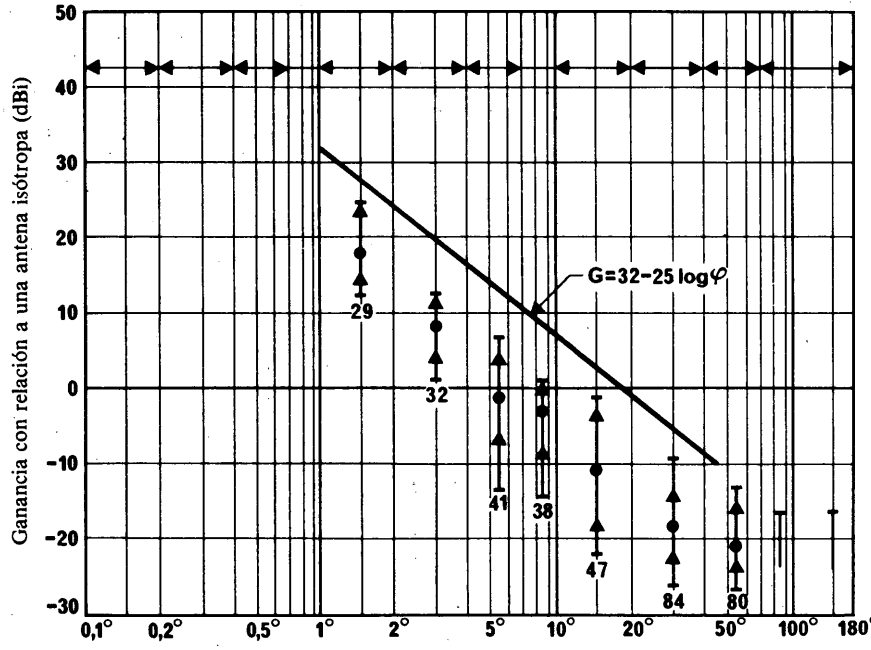


FIGURA 3c – *Distribución estadística de las crestas de los lóbulos laterales*

Antena de 34 m
6 425 MHz
Copolarización

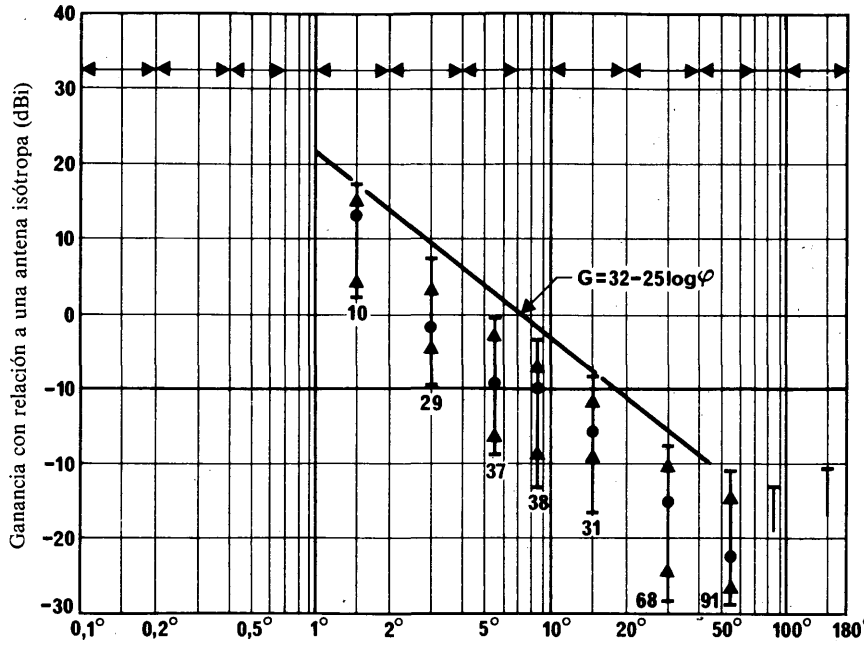


FIGURA 3d – *Distribución estadística de las crestas de los lóbulos laterales*

Antena de 34 m
3 990 MHz
Copolarización

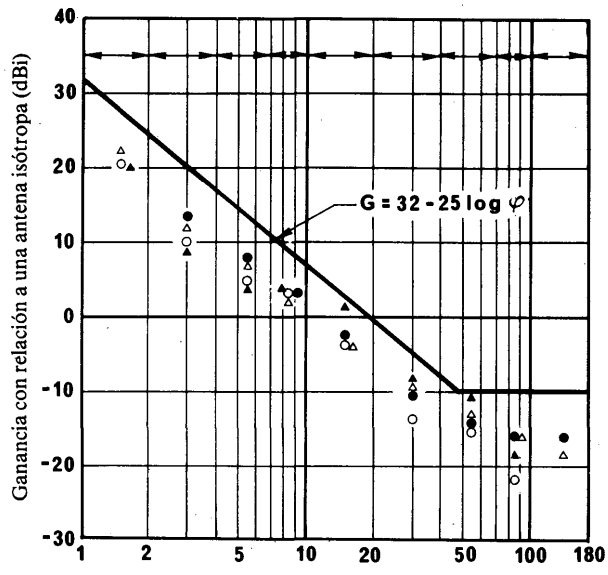


FIGURA 3e – *Datos estadísticos de las crestas de los lóbulos laterales de una antena Cassegrain de 32 m (diagrama de radiación copolar)*

Niveles excedidos por el 10% de las crestas de los lóbulos laterales tratados de conformidad con el anexo II

○ 6 725 GHz $D/\lambda = 718$
● 6 150 GHz $D/\lambda = 656$
△ 3 950 GHz $D/\lambda = 419$
▲ 3 400 GHz $D/\lambda = 363$
⟷ Intervalo angular de muestreo

2.3 *Diagrama de radiación de referencia para $D/\lambda < 100$*

Consideraciones teóricas y los datos de que se dispone sobre antenas de radioenlaces (Informe 614) sugieren que el diagrama de referencia deducido de la fórmula del punto 2.1 puede inducir a error si se intenta aplicar a antenas con $D/\lambda < 100$; se ha propuesto una nueva fórmula para el diagrama de radiación de referencia, dada por:

$$G = 52 - 10 \log (D/\lambda) - 25 \log \varphi \quad \text{dB} \qquad (2)$$

En la fig. 4 se muestran, a título de ejemplo, resultados de mediciones de la distribución estadística de las crestas de los lóbulos laterales para una pequeña antena con un reflector parabólico clásico simétrico de 3,3 m de diámetro ($D/\lambda = 66$).

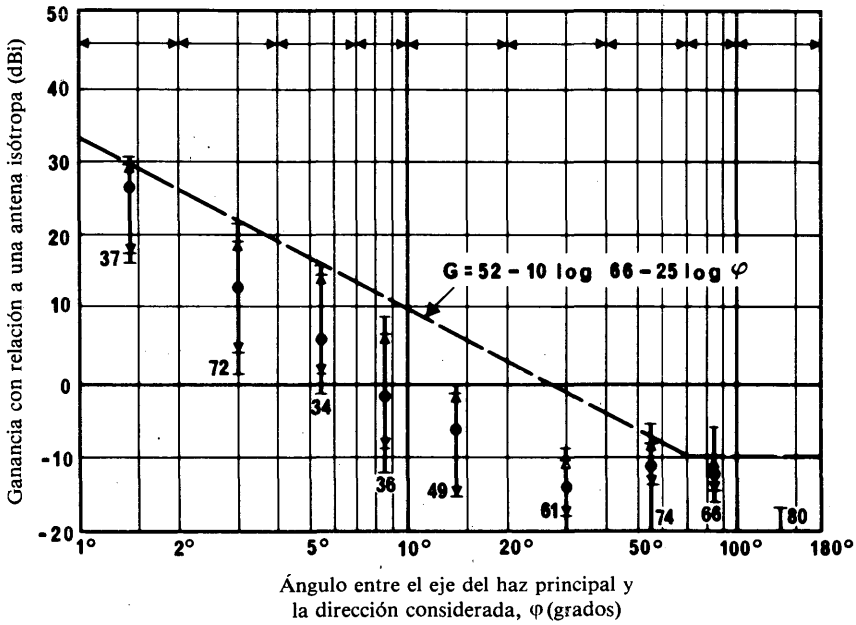


FIGURA 4 – *Distribución estadística de las crestas de los lóbulos laterales de una antena Cassegrain con $D/\lambda = 66$ y $D = 3{,}3$ m, para una frecuencia $f = 6{,}0$ GHz*

– Valor máximo
▲ 10% más favorable
● Valor mediano
37, 72... Número de muestras

En el anexo I al Informe 614 se dan más detalles sobre los antecedentes teóricos de dicha fórmula. La fórmula no debe utilizarse cuando $D/\lambda > 100$.

Debe señalarse que esta fórmula se supone que se aplica únicamente a la región situada más allá de la cresta del primer lóbulo lateral, es decir, para φ (grados) $\approx 100\,\lambda/D$. Además, no debe suponerse nunca que la ganancia de la antena de referencia cae por debajo de -10 dB con relación a una antena isótropa.

Cuando no se conozca $D/\lambda >$, puede determinarse a partir de la expresión $20 \log (D/\lambda) \approx G_0 - 7{,}7$ donde G_0 es la ganancia de la antena en la dirección del haz principal, en dB.

2.4 *Antenas con características de lóbulos laterales mejoradas ($D/\lambda < 100$)*

Para algunas aplicaciones futuras pueden necesitarse pequeñas antenas de estación terrena con características de lóbulos laterales mejoradas. A título de ejemplo se indica en la fig. 5 la distribución estadística de las crestas de los lóbulos laterales medidas en una antena de diseño especial con alimentación descentrada. En el Informe 998 figuran otros detalles sobre este tipo de antenas.

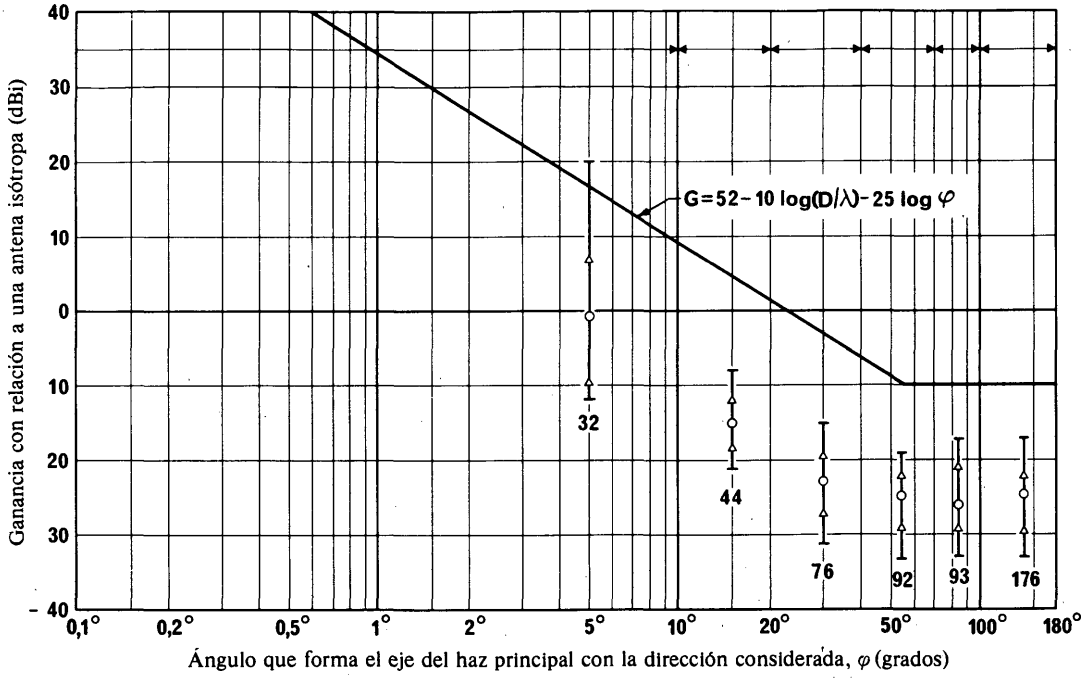


FIGURA 5 — *Distribución estadística de las crestas de los lóbulos laterales para una antena de diseño especial de relación $D/\lambda = 66$*

: Intervalo angular de muestreo
: Valor máximo
: 10% más desfavorable
: Valor mediano
: 10% más favorable
: Valor mínimo
32,44... : Número de muestras

Las mediciones de antenas simétricas de alimentación focal, con iluminación decreciente y únicamente de recepción a 4 GHz con D/λ entre 38 y 62 indican que es posible conseguir el diagrama mejorado de $29 - 25 \log \varphi$ para ángulos fuera del eje entre $100\ \lambda/D$ y al menos 30° [CCIR, 1982-86].

2.5 *Propiedades estadísticas generales de los lóbulos laterales de las antenas*

Al calcular las interferencias mutuas entre los sistemas de relevadores radioeléctricos y los sistemas de telecomunicaciones por satélite, conviene conocer las propiedades estadísticas de los niveles de los lóbulos laterales de las antenas así como las de las crestas de los lóbulos laterales, en particular, cuando hay más de una fuente de interferencia. Mediciones efectuadas con varias antenas existentes, así como estudios teóricos, demuestran que la distribución estadística de las amplitudes de los lóbulos laterales se expresan aproximadamente por la función de distribución de Rayleigh. El valor mediano (50%) de las crestas de los lóbulos laterales es aproximadamente 2,0 dB mayor que el de la distribución de los niveles de esos lóbulos.

A partir de esta información, se han calculado las curvas de referencia que representan las características de los lóbulos laterales de las antenas de las estaciones terrenas y que se muestran en la fig. 6 [Shinji y otros, 1976].

Se espera encontrar una relación similar para antenas más pequeñas en que $D/\lambda < 100$.

Mediciones realizadas en antenas parabólicas con alimentador descentrado [Grace y Miller, 1966] y en antenas asimétricas de tipo Gregorian han revelado que las crestas de los lóbulos laterales de estos tipos de antena siguen la distribución estadística log-normal. Esta distribución se observa a la vez en ambas regiones de lóbulos laterales, la dependiente y la independiente del ángulo, y permite la descripción de las características de los lóbulos laterales en forma de valor medio y de desviación típica de los valores estadísticos de las crestas de lóbulos laterales.

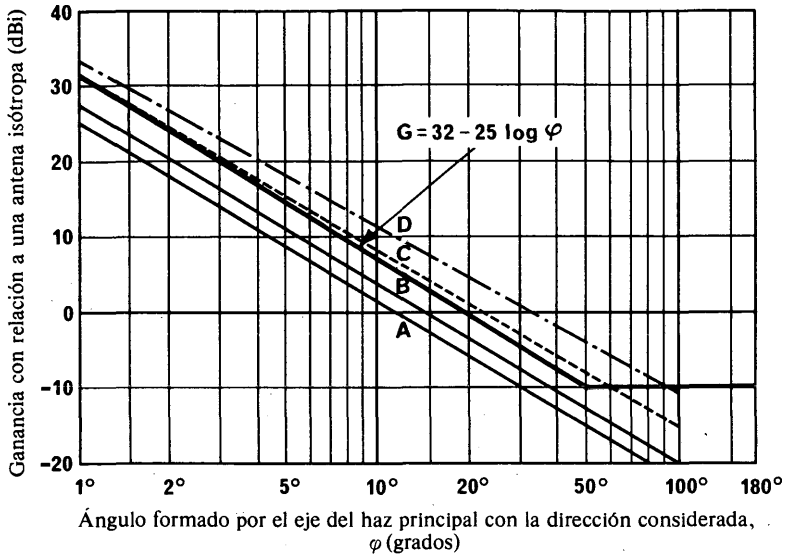


FIGURA 6 — *Relaciones estadísticas entre los lóbulos laterales para antenas típicas de estaciones terrenas*

A : Mediana (50 %) de la distribución de los niveles de los lóbulos laterales
B : Mediana (50 %) de la distribución de las crestas de los lóbulos laterales
C : 10 % más desfavorable de la distribución de las crestas de los lóbulos laterales
D : Valor más desfavorable de la distribución de las crestas de los lóbulos laterales

2.6 *Consideraciones sobre la polarización*

El diagrama de radiación de referencia es el obtenido en el plano principal de la antena empleando una antena de prueba que tiene la misma polarización. La interferencia mutua entre estaciones, particularmente estaciones terrenas y estaciones espaciales de distintos sistemas, depende directamente de la discriminación obtenida por medio de los lóbulos laterales de los respectivos sistemas de antenas. Si se emplean polarizaciones idénticas (esto es, polarizaciones concordantes), puede ser adecuado el diagrama de radiación de referencia de la fórmula del punto 2.1. Se espera que esta discriminación resulte más acentuada cuando los sistemas trabajan con polarizaciones ortogonales. Actualmente se dispone de pocos datos y no es posible elaborar un diagrama de referencia similar. La cuestión de la polarización se considera detenidamente en el Informe 555.

3. Objetivos de diseño para las futuras antenas de estación terrena

Fundándose en las informaciones recogidas en el presente Informe y en los trabajos efectuados por el GIT 4/1 con respecto a la importancia del diagrama de radiación de la antena en la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios, se ha articulado una nueva Recomendación, la Recomendación 580 referente al diagrama de radiación que ha de utilizarse como objetivo de diseño para las antenas de estación terrena. Con miras a la revisión ulterior de esta nueva Recomendación, se invita a las administraciones a que sigan sometiendo informaciones relativas a los diagramas de radiación de las antenas de estación terrena con características mejoradas de lóbulos laterales que utilizan polarización ortogonal.

En el Informe 998 se describen las medidas que pueden adoptarse para reducir los niveles de los lóbulos laterales de antenas pequeñas. Hay que observar que, en el pasado, se tendió a diseñar antenas simétricas grandes con una abertura uniformemente iluminada. En el Informe 998 se consideran las consecuencias del empleo de la iluminación decreciente, que sólo se utilizaba anteriormente en diseños de antenas asimétricas.

Los resultados de pruebas efectuadas sobre una gran cantidad de antenas de normas A y B de INTELSAT, cuyos valores de D/λ varían desde alrededor de 400 hasta 700 y desde 160 hasta 280, se muestran en las figs. 7 y 8, para las antenas INTELSAT de norma A, con diagramas de radiación copolar y polarización circular en los dos sentidos; y en las figs. 9 y 10, para antenas INTELSAT de norma B con radiación copolar y polarización circular levógira.

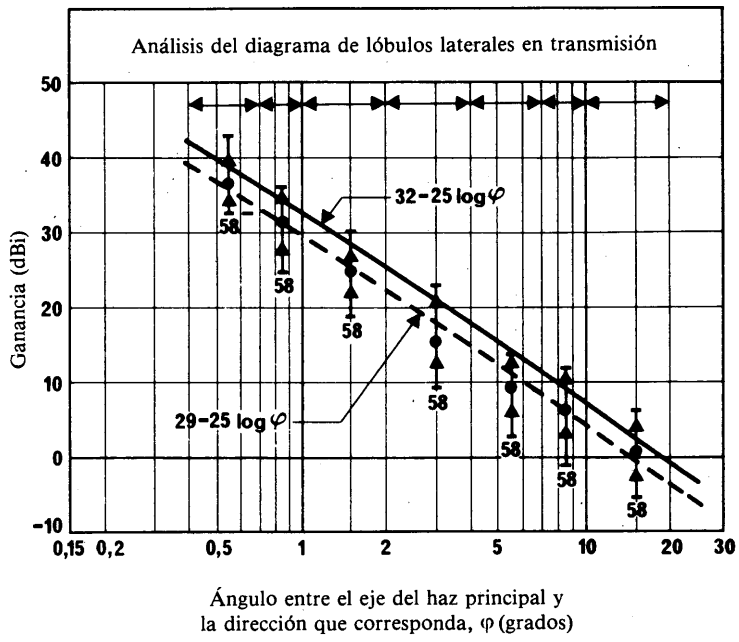


FIGURA 7 – *Distribución de los niveles de radiación de los lóbulos laterales, en diagramas de radiación copolar con polarización circular para antenas de norma A de INTELSAT*

Intervalo angular de muestreo

Valor máximo

10% de casos más desfavorables

Valor mediano

10% de casos más favorables

Valor mínimo

58, Número de muestras

Datos de las antenas:

Tipo: INTELSAT norma A
Diámetro: aprox. 30 m
Frecuencia: 5 990 – 6 400 MHz
Polarización: Copolarización levógira y dextrógira

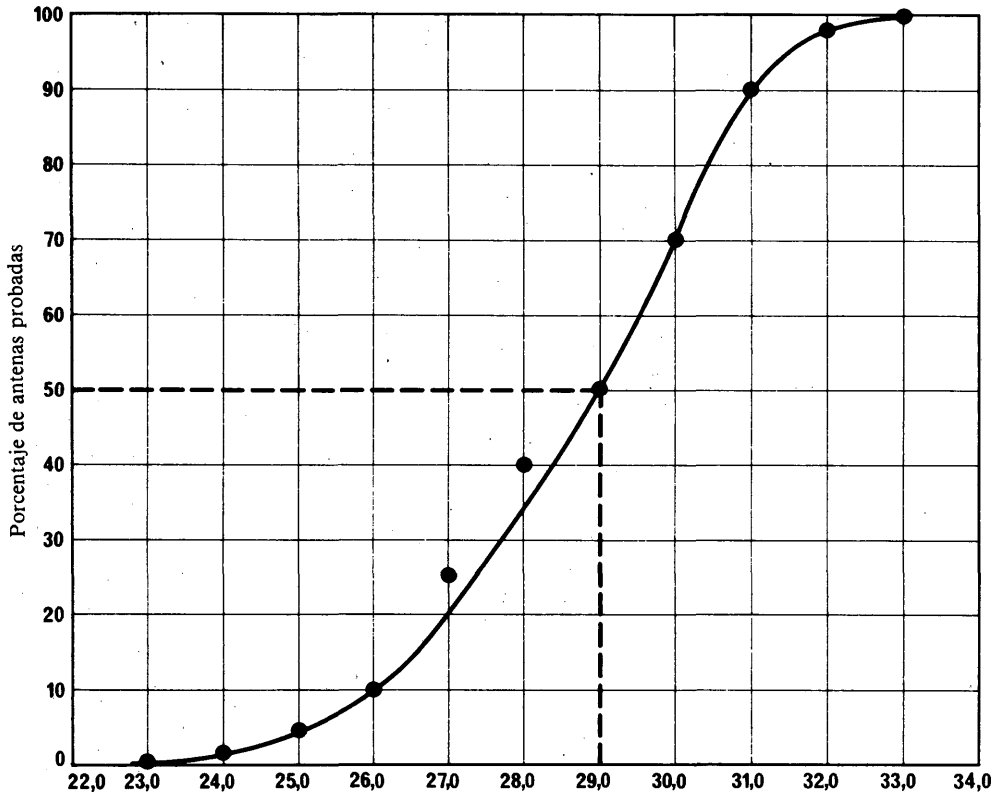
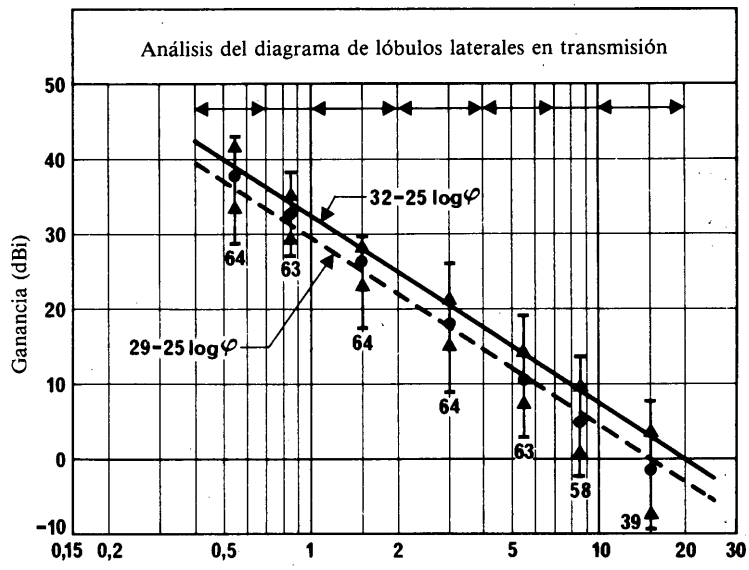


FIGURA 8 – *Antenas de norma A de INTELSAT: diagramas de radiación copolar*

Envolvente de la ganancia: $x - 25{,}0 \log \varphi$



Ángulo entre el eje del haz principal y
la dirección que corresponda, φ (grados)

FIGURA 9 – *Distribución de los niveles de radiación de los lóbulos laterales, en diagramas de radiación copolar con polarización circular para antenas de norma B de INTELSAT*

Intervalo angular de muestreo

Valor máximo

10% de casos más desfavorables

Valor mediano

10% de casos más favorables

Valor mínimo

58, Número de muestras

Datos de las antenas:

Tipo: INTELSAT norma B
Diámetro: 13 m
Frecuencia: 5 990 – 6 400 MHz
Polarización: Copolarización levógira

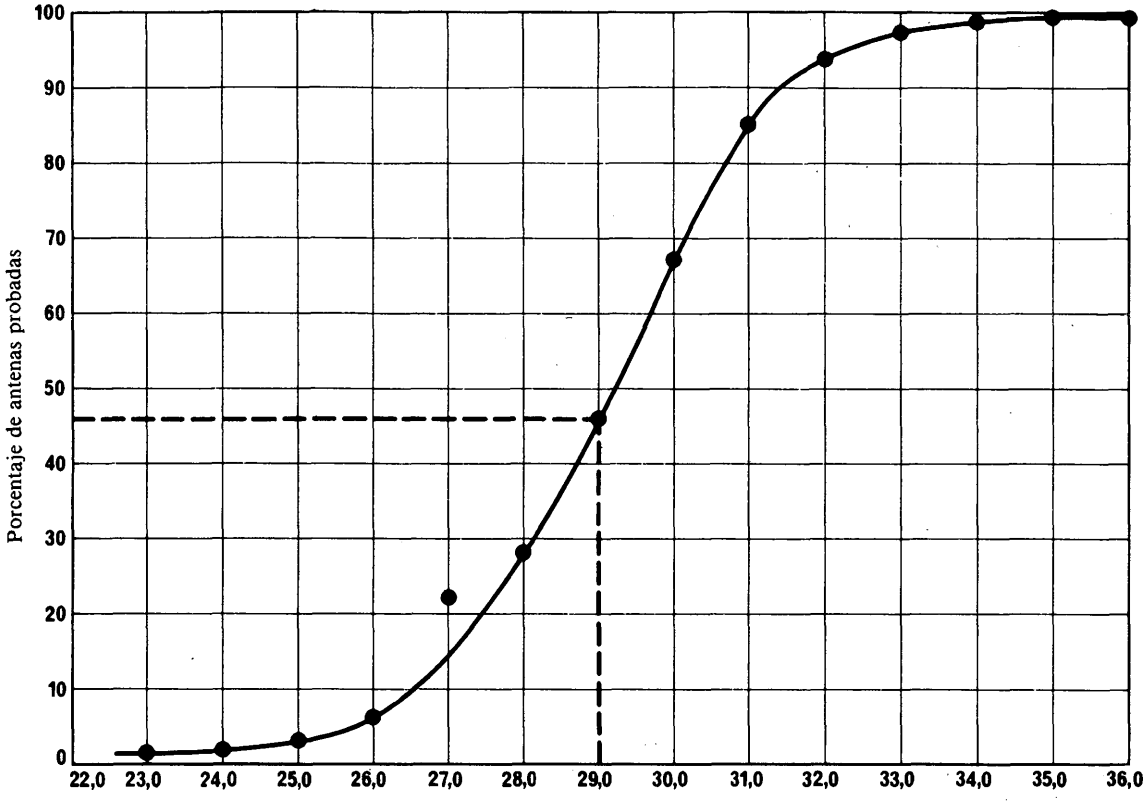


FIGURA 10 – *Antenas de norma B de INTELSAT: diagramas de radiación copolar*

Envolvente de la ganancia: $x - 25{,}0 \log \varphi$

4. Conclusiones

Debido a la gran diversidad de aplicaciones en que entra la compartición de frecuencias, es necesario efectuar estudios tanto para las antenas con $D/\lambda < 100$, como para las antenas con $D/\lambda > 100$, con el fin de que se disponga del diagrama de radiación de referencia más útil y práctico. Los Informes 390 y 998 proporcionan indicaciones útiles sobre las características de las regiones de los lóbulos laterales.

A fin de que los datos contenidos en el presente Informe (así como en las Recomendaciones formuladas sobre esta base) sean representativos de los que se dan en la práctica, se pide a las administraciones que presenten resultados de mediciones de diagramas de antenas, especialmente en lo que respecta a las características de los valores de cresta de los lóbulos laterales y a las características del diagrama de polarización. Las ganancias de los lóbulos laterales deberían venir dadas en relación con la ganancia isotrópica referida a la brida de la bocina del alimentador. Además, se ruega a las administraciones que suministren breves descripciones técnicas de las antenas con los medios utilizados, a fin de poder obtener una característica de los lóbulos laterales pequeños. Es preferible que los valores de cresta de los lóbulos laterales se presenten como la distribución estadística de las crestas dentro de un intervalo angular adecuado con relación al eje principal (véase la fig. 13). En el anexo II se expone un método para evaluar los datos relativos a los lóbulos laterales teniendo en cuenta la pendiente de las características de lóbulos laterales de las antenas dentro de un cierto segmento angular. Es preferible en efecto que, al preparar datos estadísticos con miras al presente Informe, las administraciones tengan en cuenta la pendiente de las características de lóbulos laterales de las antenas, pero, de no ser así, deben indicar el método de tratamiento que hayan utilizado. La información debiera ir debidamente acompañada de las indicaciones pertinentes, como el diámetro de la antena, la frecuencia de funcionamiento, el tipo de antena y la polarización y, de ser posible, debieran incluirse algunas indicaciones sobre los efectos que son imputables al terreno donde está emplazada la antena.

Las mediciones efectuadas por INTELSAT sobre 93 antenas INTELSAT instaladas después de 1977 muestran características de comportamiento en los lóbulos laterales en la gama de ángulos comprendidos entre alrededor 1° y 20° a partir del eje del haz principal, que concuerdan con el valor recomendado actualmente de $G = 32 - 25 \log \varphi$ (es decir, que al menos el 90% de las crestas de sus lóbulos laterales respetan esta fórmula) y que alrededor de la mitad de estas antenas respetan la nueva envolvente de la ganancia de referencia $G = 29 - 25 \log \varphi$ para esta gama de ángulos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GRACE, S. K. y MILLER, S. N. [noviembre de 1966] Experimental determination of antenna side-lobe statistics. *Proc. IEEE (Lett.)*, Vol. 54, **11**, 1593-1594.

SHINJI, M., TAKANO, T. y YAMADA, Y. [1976] Some statistical properties of antenna side lobes. *Trans. Inst. Electron. and Comm. Engrs. Japan*, Vol. 59-B, **1**, 74-76.

Documentos del CCIR

[1982-86]: 4/20 (Estados Unidos de América).

BIBLIOGRAFÍA

Documentos del CCIR

[1978-82]: 4/308 (INTELSAT).

[1982-86]: 4/33 (Japón); 4/48 (Canadá).

ANEXO I

DIAGRAMA DE REFERENCIA ADOPTADO POR LA CAMR-79

El diagrama de referencia de la fig. 11, adoptado por la CAMR-79, se ha establecido a partir de los apéndices 28 y 29 del Reglamento de Radiocomunicaciones de los que se ha sacado el siguiente extracto:

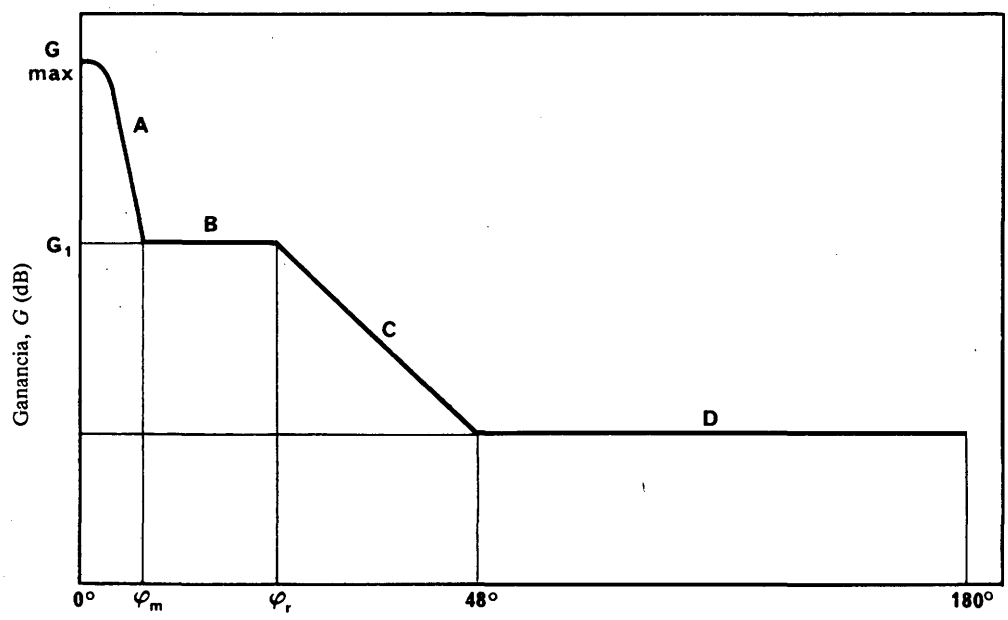


FIGURA 11 – *Diagrama de radiación de referencia de una antena de estación terrena (según la CAMR-79)*

Curvas A: Lóbulo principal
B: Primer lóbulo lateral
C: Otros lóbulos laterales
D: Ganancia residual

Determinación de la ganancia de la antena

«Puede utilizarse la relación $\varphi(\alpha)$ para obtener la ganancia de la antena en la dirección del horizonte G (en dB) en función del acimut α mediante el diagrama de radiación efectivo de la antena de la estación terrena o mediante una fórmula que dé suficiente aproximación. Por ejemplo, en los casos en que la relación entre el diámetro de la antena y la longitud de onda sea superior o igual a 100 conviene emplear la fórmula:

$$G(\varphi) = G_{máx} - 2{,}5 \times 10^{-3}\left(\frac{D}{\lambda}\varphi\right)^2 \quad \text{para } 0 < \varphi < \varphi_m \tag{39a}$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{para } \varphi_m \leqslant \varphi < \varphi_r \tag{39b}$$

$$G(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi \quad \text{para } \varphi_r \leqslant \varphi < 48° \tag{39c}$$

$$G(\varphi) = -10 \quad \text{para } 48° \leqslant \varphi \leqslant 180° \tag{39d}$$

siendo: D: diámetro de la antena; λ: longitud de onda } expresados en la misma unidad

G_1: ganancia del primer lóbulo lateral $= 2 + 15 \log \frac{D}{\lambda}$

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D}\sqrt{G_{máx} - G_1} \text{ (grados)}$$

$$\varphi_r = 15{,}85\left(\frac{D}{\lambda}\right)^{-0{,}6} \text{ (grados)}$$

En el caso de las antenas con $\frac{D}{\lambda}$ inferior a 100, cuando no sea posible utilizar el diagrama de antena de referencia indicado ni puedan utilizarse a cambio los datos medidos, ni una Recomendación pertinente del CCIR, aceptada por las administraciones interesadas se podrá emplear el diagrama de referencia que se define a continuación:

$$G(\varphi) = G_{máx} - 2{,}5 \times 10^{-3}\left(\frac{D}{\lambda}\varphi\right)^2 \quad \text{para } 0 < \varphi < \varphi_m \tag{40a}$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{para } \varphi_m \leqslant \varphi < 100\frac{\lambda}{D} \tag{40b}$$

$$G(\varphi) = 52 - 10 \log \frac{D}{\lambda} - 25 \log \varphi \quad \text{para } 100\frac{\lambda}{D} \leqslant \varphi < 48° \tag{40c}$$

$$G(\varphi) = 10 - 10 \log \frac{D}{\lambda} \quad \text{para } 48° \leqslant \varphi \leqslant 180° \tag{40d}$$

siendo: D: diámetro de la antena; λ: longitud de onda } expresados en la misma unidad

G_1 = ganancia del primer lóbulo lateral $= 2 + 15 \log \frac{D}{\lambda}$

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D}\sqrt{G_{máx}\ G_1} \text{ (grados)}$$

Los diagramas descritos anteriormente podrán ser modificados en la forma conveniente para obtener una mejor representación del diagrama real de la antena.

Si no se conoce $\frac{D}{\lambda}$, puede estimarse a partir de la expresión $20 \log \frac{D}{\lambda} \approx G_{máx} - 7{,}7$, en la que $G_{máx}$ es la ganancia del lóbulo principal de la antena en dB.»

Estas ecuaciones incluyen la evaluación del diagrama de radiación de la antena cerca del eje del haz principal, que no forma parte del diagrama de radiación indicado normalmente por el CCIR, y recientes datos experimentales indican que tal vez habría que modificar la precedente ecuación para la ganancia del primer lóbulo lateral.

Las mediciones efectuadas en varias antenas Cassegrain asimétricas han mostrado que los niveles relativos del primer lóbulo lateral (generalmente $\leqslant -14$ dB) no acusan una clara dependencia con D/λ. En la fig. 12 se representan los datos que han sido convertidos en niveles absolutos del primer lóbulo lateral, como consecuencia del conocimiento de la ganancia de cresta de cada antena. Puede verse que los resultados obtenidos con la fórmula anterior de G_1 subestiman la ganancia del primer lóbulo lateral, especialmente para antenas mayores. Basándose en estas consideraciones, se estima que la ecuación que se expone a continuación constituye una representación más adecuada de la ganancia del primer lóbulo lateral:

$$G_1 = 20 \log (D/\lambda) - 7 \qquad \text{dBi}$$

Si bien esta ecuación representa una media aproximada de los valores medidos, es evidente que las características particulares de diseño de una antena, como por ejemplo la eficacia de iluminación de la abertura, harán variar los niveles del primer lóbulo lateral, como se ve por la dispersión de los datos representados en la fig. 12.

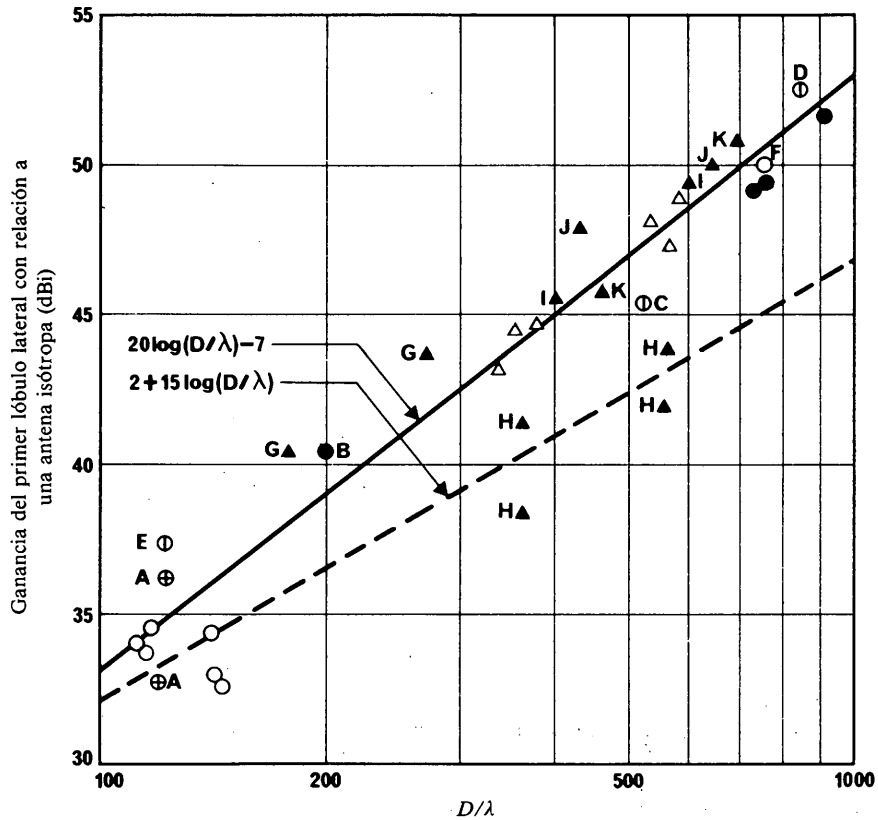


FIGURA 12 – *Niveles medidos absolutos del primer lóbulo lateral para antenas simétricas Cassegrain*

Reino Unido

○ 3 m (11/14 GHz)
△ 27,4 m (4/6 GHz)
● 19 m (11/14 GHz)

Japón

A ⊕ 10 m (4 GHz)
B ● 6 m (6 GHz)
C Φ 13 m (12 GHz)
D Φ 13 m (19,5 GHz)
E Φ 2 m (19,5 GHz)
F ○ 11,5 m (19,5/29,5 GHz)
G ▲ 13 m (6/4 GHz)
H ▲ 27,5 m (6/4 GHz)
I ▲ 29,6 m (6/4 GHz)
J ▲ 32 m (6/4 GHz)
K ▲ 34 m (6/4 GHz)

No obstante, para ángulos de más de 1° a 1,5°, las anteriores ecuaciones se reducen a las que emplea actualmente el CCIR para las antenas $D/\lambda > 100$.

Además, se recomienda que se estudie la compatibilidad de estas fórmulas con el estudio de una utilización eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios.

ANEXO II

MÉTODO DE TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LAS CRESTAS DE LOS LÓBULOS LATERALES

Los valores medidos podrán procesarse siguiendo las directrices que se indican a continuación:

Al recopilar datos estadísticos, es necesario excluir las crestas debidas a errores experimentales o que, por cualquier otro motivo, no sean significativas.

Se propone la siguiente definición de lo que constituye una cresta:

Se define una cresta para un ángulo fuera del eje de forma tal que tanto para un aumento como para una disminución del ángulo se producirá una reducción en el nivel de por lo menos 2 dB antes de que el nivel crezca nuevamente por lo menos 2 dB.

Las regiones angulares en las que se toman las muestras se definirán como las indicadas en la fig. 13. Una cresta de lóbulo lateral exactamente en los límites de dos regiones o ventanas angulares se incluye en la ventana inferior.

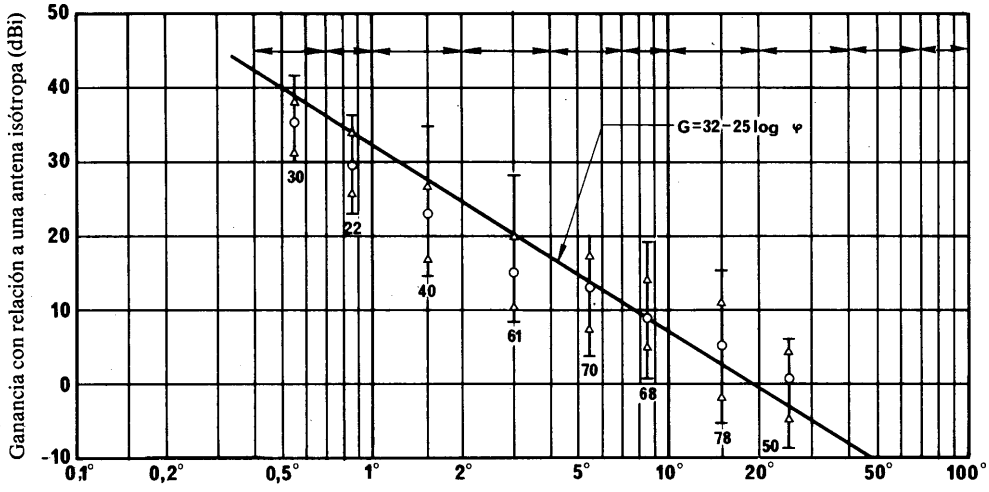


FIGURA 13 – *Ejemplo de distribución de las crestas de los lóbulos laterales*

: Intervalo angular de muestreo
: Valor máximo
: 10% de casos más desfavorables
: Valor mediano
: 10% de casos más favorables
: Valor mínimo
30, 22... : Número de muestras

Dentro de cada una de las ventanas anteriores, deberían normalizarse los niveles de cada cresta para la media angular geométrica de la ventana, teniendo en cuenta la pendiente del diagrama de radiación de referencia relacionado con esta ventana, a saber:

$$P'_i = P - m \log \left(\frac{\sqrt{\varphi_L \cdot \varphi_H}}{\varphi_P} \right) \quad (3)$$

donde:

P: amplitud de la cresta medida (dB),

P'_i: amplitud de la cresta normalizada (dB),

m: pendiente del diagrama de referencia (véase la nota 2),

φ_L, φ_H: límites angulares de la ventana de muestreo i,

φ_P: ángulo fuera del eje de la cresta P ($\varphi_L < \varphi_P \leqslant \varphi_H$).

Los datos estadísticos de las regiones angulares específicas se trazan entonces en el medio de la respectiva región angular.

Nota 1. – Es preciso que prosigan los estudios encaminados a la definición de una cresta con objeto de disponer de métodos perfeccionados para procesar los niveles de los lóbulos laterales. En los estudios se ha de examinar la abertura angular efectiva de lóbulo lateral a que responde la gama total de frecuencias de explotación y la relación D/λ de la antena. Se ha de prestar también atención especial en el caso en que haya, en las regiones angulares especificadas, un número insuficiente de crestas de lóbulo lateral (menos de 10).

Nota 2. – Actualmente, en el procesamiento de los datos se utiliza la pendiente de $-25 \log \varphi$. Si en el futuro se reemplazase esta pendiente por otra (por ejemplo, a causa de nuevos avances tecnológicos), habrá que modificar en consecuencia el proceso de distribución estadística.

INFORME 390-5

ANTENAS UTILIZADAS EN LAS ESTACIONES TERRENAS PARA EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 1/4)

(1966-1970-1974-1978-1982-1986)

1. Introducción

La mayoría de las antenas de las estaciones deben tener las características siguientes:

- ganancia elevada en la dirección de las señales deseadas;
- pequeña ganancia en la dirección de las señales interferentes;
- gran eficacia;
- baja temperatura de ruido equivalente del conjunto del equipo receptor;
- posibilidad de orientación hacia cualquier dirección de las posiciones previstas del satélite;
- orientación continua hacia el satélite con la precisión adecuada;
- variación mínima de la calidad de funcionamiento debido al viento y a las condiciones meteorológicas locales;
- variación mínima de la iluminación del satélite por la estación terrena;
- alto grado de discriminación entre señales con polarización ortogonal.

Para algunas aplicaciones, será ventajoso utilizar antenas de varios haces, de múltiples bandas o que reúnan ambas características.

2. Aspectos mecánicos y de estructura

2.1 *Estructura de los reflectores y de los soportes asociados*

Las estructuras soporte deben asegurar el mantenimiento preciso de la forma, posición relativa y actitud relativa de las diversas superficies reflectoras, aunque varíen los ángulos de elevación, la velocidad del viento, la temperatura ambiente, la capa de escarcha y el calor del Sol.

2.2 *Precisión de la superficie de los reflectores*

Debe realizarse y mantenerse con precisión la forma de las superficies reflectoras para todas las condiciones de funcionamiento, con el fin de evitar pérdidas de ganancia y el consiguiente aumento de nivel de los lóbulos laterales. Según Ruze, [1966], esta pérdida de ganancia puede estimarse prudentemente como sigue:

$$\text{pérdida de ganancia} = 0{,}00761\ e^2 f^2 \quad \text{dB} \qquad (1)$$

donde:

e: error en valor r.m.s. (media cuadrática) de la superficie, en mm

f: frecuencia en GHz.

A 11 GHz, por ejemplo, un error de sólo 1 mm puede reducir la ganancia hasta 1 dB.

En 4/6 GHz, los errores del orden de 1 mm (valor r.m.s.) en el perfil del reflector principal, correlacionados sobre distancias de 1,5 m aproximadamente, aportan una contribución importante a los niveles de radiación de los lóbulos laterales, dentro de unos 2° respecto del eje del haz principal, y los errores de 0,5 mm (valor r.m.s.) en paneles individuales del reflector aportan una contribución significativa a los niveles de radiación de los lóbulos laterales, entre 2° y 10° respecto del eje. Por tanto, las mejoras en la precisión del perfil de los paneles pueden reducir el nivel total de los lóbulos laterales, en función de la contribución de otras fuentes.

2.3 *Características de la orientación de la antena y del seguimiento*

Para muchos sistemas, las pérdidas de señal debidas a errores de orientación deben mantenerse en unas décimas de dB. Para una antena de 30 m de diámetro que funcione en la frecuencia de 4 GHz, ello supone una precisión de orientación de aproximadamente 0,01°, lo que puede conseguirse por seguimiento automático de una señal de radiofaro o mediante orientación por programa de computador.

El seguimiento automático se puede realizar por diversos métodos. El más sofisticado deduce las señales de error a partir de la desalineación del haz de la antena con la dirección del satélite. El sistema más sencillo es el del seguimiento escalonado («step tracking») simple o «hill climbing» que imita al proceso manual de hallar la cresta de la señal recibida. Una tercera categoría es la del seguimiento escalonado suavizado que aprovecha el hecho de que las órbitas nominales de los satélites geoestacionarios se pueden predecir con gran exactitud y procesa los datos obtenidos a partir de varios ciclos de escalonamiento bien elegidos para actualizar el modelo matemático de la traza. La antena se apunta basándose en las predicciones del modelo, consiguiéndose una gran exactitud en el apuntamiento al suavizar a lo largo de un periodo de tiempo las perturbaciones debidas al ruido de los datos de escalonamiento [Edwards y Terrell, 1983].

La corrección automática o el seguimiento automático pueden realizarse no sólo por medio de señales de radiobaliza procedentes del satélite, sino también de señales de trabajo de banda ancha. La imprecisión en la orientación de una antena equipada con un sistema de seguimiento automático debe definirse no sólo por la falta de alineación angular entre la dirección equiseñal y la dirección del satélite, sino también por las pérdidas de ganancia en la dirección del satélite, comparadas con la ganancia máxima.

Para antenas más pequeñas, que trabajen con satélites geoestacionarios, puede ser suficiente la orientación manual a intervalos de tiempo incluso bastante largos.

Si la posición del satélite se mantiene dentro de unos límites angulares estrechos, pueden lograrse economías limitando el ángulo de funcionamiento de la antena. Dicha configuración con orientabilidad limitada es particularmente adecuada para un tipo de antena con alimentador descentrado y un reflector asimétrico. Una antena de montura polar, alimentada por un sistema de reflectores, puede constituir una de las posibilidades para una tal antena con capacidad de orientación limitada. Otra posibilidad es una antena con haz orientable, capaz de acceder a varios satélites geoestacionarios sin mover el reflector principal. Las antenas de haz orientable con alimentador descentrado que usan reflectores toroidales o esféricos pueden economizar espectro gracias al bajo nivel de sus lóbulos laterales, así como reducir costes en las estaciones terrenas. Estos factores se examinan en el anexo V. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la orientabilidad limitada puede repercutir desfavorablemente sobre algunas características de explotación de la estación terrena, por ejemplo, en lo tocante al mantenimiento y a las pruebas que utilizan estrellas como fuentes radioeléctricas.

Debe observarse que la posibilidad de utilizar antenas de estación terrena de pequeño diámetro, sin seguimiento y, por tanto, de bajo costo y fácil explotación, depende considerablemente de la inclinación orbital del satélite geoestacionario y de la posición geográfica de la estación terrena con respecto al punto de proyección del satélite. De acuerdo con estudios realizados en Italia [Quaglione y Giovannoni, 1983] se llegó a la conclusión de que una diferencia en longitud entre la estación terrena y el punto de proyección puede reducir considerablemente la necesidad de seguimiento angular. Por ejemplo, si esta diferencia de longitud es de 50°, el diámetro de la antena podría aumentarse en el 20% aproximadamente para una estación terrena situada a 30° de latitud. Se llegó también a la conclusión de que en el caso más desfavorable de una estación terrena situada en el mismo meridiano que el punto de proyección del satélite, la latitud de la estación terrena no tiene una repercusión importante en los siguientes casos:

- para una pérdida de ganancia máxima aceptable de 1,0 dB y suponiendo una inclinación orbital de 0,1°, la ganancia de la antena de estación terrena no debe exceder de 52 dB (correspondiente a un diámetro de unos 8 m a 6 GHz, 3,5 m a 14 GHz y 1,6 m a 30 GHz), si ha de evitarse el seguimiento;
- para una reducción máxima aceptable de ganancia de 0,5 dB y suponiendo también una inclinación orbital de 0,1°, la ganancia de la antena no debe exceder de 48 dB (correspondiente a unos 5 m de diámetro a 6 GHz, 2,2 m a 14 GHz y 1,0 m a 30 GHz).

2.4 *Protección contra los factores climáticos*

La posibilidad de que se forme hielo en la superficie de la antena y los efectos de precipitaciones gélidas, como nieve, aguanieve y lluvia helada, son otros tantos factores adicionales que influyen en el diseño de las antenas destinadas a ser utilizadas en climas propensos a heladas. Otras consideraciones relacionadas con estos factores son las siguientes:

- puede asegurarse un funcionamiento satisfactorio contra nieve, aguanieve y lluvia helada, caldeando las superficies reflectoras y las partes críticas del soporte;
- la antena ha de poder soportar condiciones externas debidas a la combinación de las cargas del viento y del hielo.

La instalación de un radomo que proteja de la intemperie a una antena orientable ya no se considera necesaria, y presenta el grave inconveniente de reducir la calidad del sistema.

La lluvia que se deposita en la superficie de los reflectores de las antenas Cassegrain provoca una distorsión de los diagramas de radiación de esas antenas. Pueden producirse cambios en la dirección del lóbulo principal y en el mínimo del haz de seguimiento, pero en la práctica son pequeños y sus efectos pueden ignorarse. Los efectos más importantes son la degradación de la ganancia y el aumento del mínimo del lóbulo de seguimiento, que pueden revestir importancia a frecuencias superiores a 10 GHz [Marinčić y Popović, 1975].

3. Características de funcionamiento de las antenas de estaciones terrenas

3.1 *Tipos de antenas*

Se emplean actualmente varios tipos de antenas de estaciones terrenas: reflectores parabólicos con alimentadores Cassegrain, Gregory o de punto focal, y reflectores de bocina.

Los más corrientes son los reflectores parabólicos con alimentadores Cassegrain, que pueden subdividirse en varios tipos: de campo cercano y de fuente puntual, ambos diseñados para un alto rendimiento. Se prevé la utilización corriente de alimentadores multireflectores de campo cercano.

3.2 *Ganancia en el lóbulo principal*

La ganancia máxima que puede obtenerse depende en gran parte de la uniformidad de iluminación de la abertura de la antena, y de la precisión de la superficie del reflector. Pueden obtenerse rendimientos mayores dando al reflector principal y al subreflector una forma adecuada, de modo que no sean ya, respectivamente, verdaderos paraboloides o hiperboloides. El perfilado tiene como resultado una iluminación casi uniforme, al tiempo que se conserva un frente de onda plana.

3.3 *Niveles de los lóbulos laterales y posteriores*

Los lóbulos laterales de las antenas de las estaciones terrenas influyen directamente sobre el nivel de la interferencia entre redes. Esto resulta particularmente importante para aquellos lóbulos laterales de las antenas que distan unos pocos grados de la dirección de la órbita geoestacionaria. En consecuencia, deben intensificarse los esfuerzos para desarrollar antenas de estación terrena con envolventes de ganancia de lóbulos laterales lo más pequeñas posibles.

Los lóbulos laterales y posteriores de una antena dependen principalmente de la cantidad de energía que desborda del reflector primario y del subreflector, de la cantidad de energía interceptada o reflejada por diversas partes de la estructura y del diagrama primario de alimentación, factores de los que se trata detalladamente en el anexo I.

En el caso de pequeñas antenas ($D/\lambda < 100$), el nivel de los lóbulos laterales en la región angular próxima al eje principal es, en general, más elevado que en las antenas grandes. Sin embargo, las antenas de dos reflectores y alimentador descentrado, como las Gregorian o Cassegrain con alimentadores descentrados, presentarían mejores características de lóbulos laterales que los sistemas clásicos de antenas con reflectores simétricos, en la región angular citada anteriormente, es decir, en la región de interés en sistemas que utilizan satélites poco separados. Esto se examina más detenidamente en el Informe 998.

Las antenas de las estaciones terrenas existentes presentan unos diagramas de radiación que en general se atienen al diagrama de radiación de referencia, definido mediante la ecuación:

$$G = 32 - 25 \log \varphi$$

indicado en la Recomendación 465. En el Informe 998, se da cuenta de la confirmación experimental de la superioridad de las antenas de reflector descentrado, y se describen algunas antenas de este tipo. Esa información experimental demuestra que las antenas de estaciones terrenas expresamente diseñadas para lograr niveles de lóbulos laterales bajos, podrían satisfacer un objetivo de diseño más estricto que el definido por el actual diagrama de radiación de referencia.

Se requieren datos adicionales para establecer un objetivo de diseño adecuado. En consecuencia, se invita a las administraciones a presentar medidas de diagramas de radiación de antenas de estaciones terrenas, como se solicita en el Informe 391. Específicamente, es necesario obtener datos relativos a antenas que cubran amplias gamas de D/λ y de frecuencias, de forma que pueda establecerse el margen de aplicación del objetivo de diseño.

3.4 *Temperatura de ruido de las antenas*

Los lóbulos laterales y posteriores de una antena, así como el haz principal, contribuyen a su temperatura de ruido. En la mayoría de las aplicaciones basta con suponer que, con ángulos de elevación inferiores a $-10°$, los lóbulos laterales «ven» el suelo a una temperatura de 290 K. Puede considerarse que esta temperatura es de 150 K entre $-10°$ y $0°$, de 50 K entre $0°$ y $10°$ y de 10 K entre $10°$ y $90°$. La potencia en los lóbulos laterales puede expresarse en porcentaje de la potencia total y dividirse entre estas cuatro regiones.

Las contribuciones a la temperatura de ruido debidas a fuentes extraterrestres se consideran más detalladamente en el anexo II a este Informe.

Para una antena tipo Cassegrain de grandes dimensiones, diseñada para 4 GHz y que funcione según un ángulo de elevación de 5°, la temperatura de ruido resultante podría descomponerse normalmente como sigue:

Haz principal	25 K
Lóbulos laterales adyacentes	2 K
Desbordamiento en el subreflector	8 K
Desbordamiento en el reflector principal	5 K
Total parcial	40 K

Los preamplificadores típicos con refrigeración criogénica tienen una temperatura de ruido de unos 20 K, con lo que la temperatura de ruido total del sistema, incluidas las pérdidas debidas a guiaondas, llega a ser de unos 70 K. En caso de que se utilice un preamplificador sin refrigeración criogénica (paramétrico no refrigerado), la temperatura de ruido del sistema podría ser del orden de 80 a 120 K.

3.5 *Factor de calidad del sistema*

El factor de calidad es una indicación muy útil del funcionamiento de una estación terrena, definido como sigue:

$$G/T = 10 \log \left[\frac{\text{ganancia de potencia de la antena}}{\text{temperatura de ruido del sistema (K)}} \right] \qquad (2)$$

Es cómodo referir la ganancia de potencia de la antena y la temperatura de ruido del sistema a la entrada del receptor de bajo nivel de ruido, a condición de que se incluya el ruido provèniente de los pasos del receptor situados más allá del punto de referencia. De este modo, en el caso de una antena con una ganancia de 58,8 dB y una temperatura de ruido de sistema de 65 K, el factor de calidad sería de 40,7 $dB(K^{-1})$.

El factor de calidad de una antena puede medirse directamente utilizando como referencia una fuente radioeléctrica. En el anexo III a este Informe, se describe en líneas generales el método aplicado.

Alternativamente, el factor de calidad de una estación terrena puede determinarse midiendo por separado la temperatura del ruido del sistema y la ganancia de antena, utilizándose para medir esta última las técnicas tradicionales.

3.6 *Antenas multibanda*

Si la antena debe poder utilizarse para una amplia gama de frecuencias sin degradación apreciable de sus características, deberán tenerse en cuenta otros factores adicionales. Las antenas paraboloides con alimentadores en el punto focal no son adecuadas para funcionar con bandas de frecuencias múltiples. Las de reflector de bocina sí que se prestan a ese uso, pero plantean difíciles problemas de construcción y de estructura.

Las antenas de tipo Cassegrain pueden funcionar en frecuencias múltiples mejorando el diseño de la bocina de alimentación primaria y el sistema subreflector. Se ha diseñado y construido una antena de este tipo para funcionar en 4, 6, 20 y 30 GHz [Mori, 1973]. Con 12,8 m de diámetro, esa antena tiene un alimentador de haz localizado y el equipo de separación de bandas se halla instalado en su pedestal fijo. La eficiencia de abertura, excluidas las pérdidas del sistema por separación de bandas, está comprendida entre el 50% y el 62%. Los valores medios de las crestas de los lóbulos laterales se hallan casi siempre por debajo del valor de $32 - 25 \log \varphi$ (dB) (siendo φ el ángulo comprendido entre el eje del haz principal y la dirección de que se trate), y las temperaturas de ruido para 4 y 18 GHz son respectivamente de 48 K y 68 K, para un ángulo de elevación de 5°.

3.7 *Discriminación de polarización*

Pueden necesitarse en muchos casos antenas de estación terrena que proporcionen un alto grado de discriminación entre señales con polarización ortogonal del orden de 30 a 35 dB. Se trata esto más ampliamente en el Informe 555.

3.8 *Características de banda ancha de una antena de gran abertura*

Para satisfacer las crecientes necesidades de tráfico, tal vez sea preciso que las antenas de las estaciones terrenas utilicen la anchura de banda adicional ahora atribuida al servicio fijo por satélite. Se ha construido recientemente en Japón una antena Cassegrain capaz de transmistir en la gama de frecuencias 5850-6725 MHz (anchura de banda 875 MHz) y recibir en la gama de 3400-4200 MHz (anchura de banda de 800 MHz). Los resultados medidos de las características de funcionamiento de la antena mostraron que:

- la característica de la envolvente de lóbulos laterales es inferior al valor $32 - 25 \log \varphi$ (dBi);
- la relación axial es mejor que 0,34 dB en la banda de 6 GHz y mejor que 0,41 dB en la banda de 4 GHz. Los resultados medidos de la relación axial del sistema de antena pueden verse en el Informe 555.

4. Riesgos de radiación que pueden presentar los sistemas de antenas de las estaciones terrenas

La potencia de transmisión necesaria en las estaciones terrenas puede ser de tal magnitud que dé lugar a densidades elevadas de flujo de potencia, en zonas determinadas situadas en los campos de radiación próximo y lejano del sistema de antena, lo cual puede ser peligroso para los seres humanos. En el anexo IV se describe un método de predicción de las densidades de flujo de potencia de un sistema de antena de 30 m que puede ayudar a determinar si la radiación rebasa, o no, un nivel de seguridad.

5. Mediciones de los diagramas de radiación de antena de estaciones terrenas

Los diagramas de antena suelen medirse utilizando una fuente de señales remota que puede estar situada en un punto de la Tierra (instalación de puntería o «boresight») o en un satélite geoestacionario.

El método de la instalación de puntería es a veces difícil, costoso e inexacto debido a los efectos del terreno circundante. La distancia insuficiente de una instalación de puntería produce errores en los niveles de lóbulos laterales debidos al error de fase provocado por el efecto del campo próximo, pero estos errores pueden eliminarse desplazando el reflector secundario en el caso de antenas Cassegrain [Claydon, 1970; Teshirogi, 1978]. Se ha demostrado recientemente que la ganancia en las direcciones del haz principal y de los lóbulos laterales próximos de una antena de 32 m pueden medirse con una exactitud mejor que 1 dB en las bandas 6/4 GHz utilizando una instalación de puntería separada unos 5 km de la antena [CCIR, 1982-86].

A fin de conseguir una sensibilidad de recepción adecuada para la medición de los niveles de los lóbulos separados del haz principal, dentro de las posibilidades que ofrecen los actuales transmisores de satélite, debe emplearse un receptor de banda estrecha, capaz de efectuar barridos de frecuencias. Por ejemplo, la Administración francesa ha utilizado un receptor con una anchura de banda de 10 Hz y un barrido de frecuencias a razón de 10 Hz/s. La amplitud del barrido de frecuencias debe cubrir con exceso la deriva nominal esperada del transmisor de satélite. El sistema, diseñado en la forma indicada, ha permitido efectuar mediciones de niveles del lóbulo lateral de sólo 0 dBi utilizando un satélite con una p.i.r.e. de 10 dBW.

Si hay una segunda antena disponible en el mismo punto para transmisión y recepción de una señal de referencia constante, se puede utilizar también un método de detección coherente. Ello permite efectuar mediciones precisas del diagrama de transmisión y recepción para ángulos de elevación operacionales, por medio de un satélite geoestacionario, de hasta -10 dBi e incluso menos. Se han efectuado varias pruebas con dos antenas de norma A de INTELSAT, de 32 m de diámetro, ubicadas en el mismo lugar utilizando como fuente satélites Intelsat-V y fue posible efectuar una medición fiable de los lóbulos laterales hasta -80 dB con relación al valor en el centro del haz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CLAYDON, B. [octubre de 1970] Effects of phase error caused by axial displacement of the feed horn or sub-reflector in a shaped dual reflector system. IEE Conference on Earth Station Technology.

EDWARDS, D. J. y TERRELL, P. M [octubre-diciembre de 1983] The smoothed step-track antenna controller *Int. J. Sat. Comm.*, Vol. 1, **2**, 133-139.

MARINČIĆ, A. y POPOVIĆ, B. [1975] Radiation diagrams of parabolic-cylinder Cassegrain antenna covered with a water film. COST/TELECOM 2/TD 29/75, Faculty of Electrical Engineering, Belgrado, Yugoslavia (República Socialista Federativa de).

MORI, Y. [abril de 1973] Experimental earth station for a domestic satellite. *Japan Telecomm. Rev.*, Vol. 15.2, 101-110, Japón.

QUAGLIONE, G. y GIOVANNONI, M. [mayo de 1983] Orbital inclination effects on communications satellite system design. *IEEE Trans. Aerospace Electron. Systems*, Vol. AES-19, **3**, 447-453.

RUZE, J. [abril de 1966] Antenna tolerance theory – a review. *Proc. IEEE*, Vol. 54, **4**, 633-640.

TESHIROGI, T. [agosto de 1978] Measurements of a large Cassegrain antenna at reduced distance by defocused sub-reflector. Proc. International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP'78), Sendai, Japón, B-1-4, 187.

Documentos del CCIR

[1982-86]: 4/29 (Japón).

ANEXO I

CARACTERÍSTICAS DE RADIACIÓN DE LAS ANTENAS DE LAS ESTACIONES TERRENAS FUERA DEL HAZ PRINCIPAL

En la planificación y construcción de las antenas de las estaciones terrenas es necesaria, para hacer el uso más eficaz posible de la órbita de los satélites geoestacionarios, una mejor comprensión de los factores que contribuyen a la generación de lóbulos laterales, y de los métodos para reducir dichos lóbulos mediante técnicas especiales o el empleo de distintos tipos de antenas.

1. Factores que influyen en el nivel de los lóbulos laterales

1.1 *Influencia de la iluminación de la abertura*

Pueden utilizarse varias técnicas para obtener bajos niveles de lóbulos laterales, tales como la de iluminación decreciente hacia los bordes.

Al elegir las funciones de iluminación, ha de llegarse a una solución de compromiso entre la supresión de los lóbulos laterales y la eficacia de la abertura. Si se desea, por ejemplo, reducir al mínimo los lóbulos laterales próximos al lóbulo principal, ha de elegirse una función de iluminación que deje prácticamente sin corriente los bordes del alimentador y de los reflectores, con la consiguiente disminución de eficacia de la abertura. El objetivo de diseño es una iluminación lo más simétrica posible con respecto al plano de rotación, de forma que la iluminación del plano H de la abertura sea igual a la del plano E; esta iluminación simétrica puede obtenerse mediante una excitación de doble modo, de modo híbrido o de ambos modos, del sistema de alimentación.

1.2 *Influencia del desbordamiento*

Para iluminar el subreflector de una antena Cassegrain simétrica, se necesita un radiador primario que radie en la dirección del haz principal de la antena. Por consiguiente, se producen contribuciones de radiación interferente hacia adelante debido a desbordamiento del lóbulo principal del radiador primario fuera del subreflector y de los lóbulos laterales del propio radiador primario.

Con antenas grandes la influencia del desbordamiento es considerablemente inferior a la de otros fenómenos, para direcciones angulares comprendidas dentro de unos 5° con respecto al eje del lóbulo principal (véase la fig. 1), pero es cada vez más importante más allá de este entorno angular. Un método para reducir tales efectos es asegurar que el subreflector intercepte el lóbulo principal del radiador primario hasta el punto a -20 dB como mínimo.

Para algunas antenas grandes, los lóbulos laterales del radiador primario son más importantes que los lóbulos laterales de la antena, para ángulos comprendidos entre 20 y 80° a partir del lóbulo principal. Sólo puede evitarse esta contribución al diagrama de lóbulos laterales de la antena utilizando radiadores primarios con reducidos niveles de lóbulos laterales.

Es posible dirigir la radiación de desbordamiento fuera del haz principal utilizando una antena de tipo de alimentador descentrado. La alimentación descentrada permite también utilizar un subreflector de mayores dimensiones, que interceptará una porporción muy elevada de la radiación del lóbulo principal del radiador primario, sin que ello implique la desventaja de un gran bloqueo de la abertura.

1.3 *Influencia del bloqueo y de la difracción*

El radiador primario o el subreflector situado en la abertura de una antena de reflector, junto con sus soportes, tiene un importante efecto en el diagrama de lóbulos laterales de la antena, ya que, al bloquear la abertura de la antena, alteran el diagrama de iluminación de abertura y, por consiguiente, el diagrama de radiación [Boithias y Béhé, 1971; Kreutel, 1976]. Pueden reducirse los efectos de este bloqueo disminuyendo la superficie bloqueada de la abertura o utilizando tipos de antenas que no presenten características importantes de bloqueo físico, tales como antenas de bocina o de reflectores descentrados [Mizuguchi y otros, 1976].

Los bordes del subreflector y del reflector principal pueden difractar la energía de microondas en ángulos muy abiertos, dependiendo la magnitud de este efecto del nivel de iluminación en los bordes de esos reflectores. Puede reducirse este efecto fijando un absorbedor de microondas en los bordes del subreflector y del reflector principal, lo que influye muy poco en la temperatura de ruido de la antena.

1.4 *Influencia de la dispersión*

Una onda plana emitida a partir del reflector principal de una antena simétrica es dispersada por el radiador primario o el subreflector y sus soportes, produciendo lóbulos laterales determinados por la posición y orientación de estos soportes. Si los soportes están incluidos dentro del reflector principal, una onda esférica que tiene su origen en el foco del reflector principal se dispersa también debido a los soportes. Se ha observado que estructuras circulares y elípticas producen un número menor de cresta de lóbulos laterales que las estructuras de polígonos sólidos y de rejilla periódica [Claydon y Dang, 1982]. La dispersión puede reducirse por tratamiento de la superficie de las estructuras para aleatorizar la dispersión, curvando aquéllas o añadiéndoles absorbedores de microondas, aunque esta última medida tendería a aumentar la temperatura de ruido de la antena.

1.5 *Influencia de la distorsión de fase en el diagrama del alimentador*

La distorsión de fase en la distribución del campo en la abertura de un reflector parabólico se traduce en una expansión del lóbulo principal y en un aumento de nivel de los lóbulos laterales. Esta distorsión de fase puede producirse si el sistema de alimentación carece de un centro de fase puntual y, por consiguiente, de onda de fase esférica.

En las antenas Cassegrain, la distorsión de fase que se produce en la bocina del alimentador puede compensarse modificando la forma del reflector principal. Debe observarse que esa distorsión de fase puede dar lugar a una deflexión del haz en sistemas con varios alimentadores del reflector.

1.6 *Influencia de las tolerancias de superficie del reflector principal*

Las imperfecciones de la superficie debidas a las tolerancias de fabricación, al viento, a las diferencias de temperatura y a la gravedad producen un aumento de los niveles de los lóbulos laterales.

La deformación debida al peso de las mitades superior e inferior del reflector principal produce un error cúbico de fase a lo largo de la abertura. Este error de fase origina una asimetría del lóbulo lateral en el plano de elevación.

1.7 *Polarización*

Algunas de las mencionadas contribuciones al nivel de los lóbulos laterales de las antenas en el plano principal de polarización pueden también dar lugar a niveles de los lóbulos laterales en otros planos de polarización. El Informe 555 contiene información adicional sobre la polarización en los lóbulos laterales.

2. Contribuciones cuantitativas de las principales fuentes

Los niveles de los lóbulos laterales, según un ángulo determinado en una gran antena Cassegrain, son la suma de los componentes del campo radiados simultáneamente por distintas partes del sistema de antena. En la fig. 1 se dan ejemplos de las contribuciones relativas de esas partes.

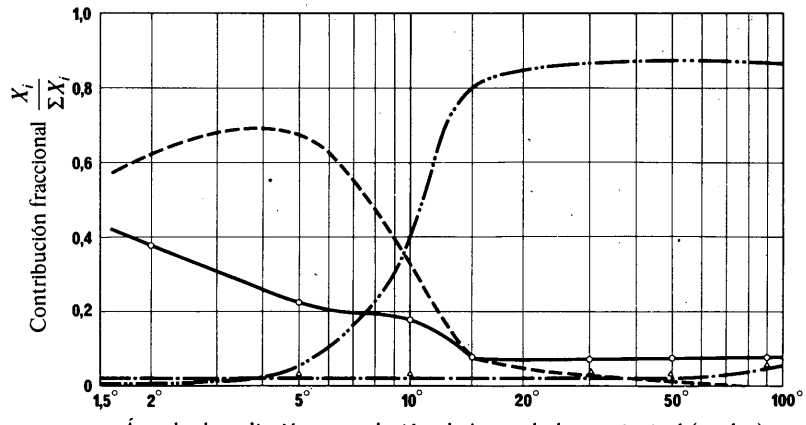


FIGURA 1 — *Contribución relativa de diversas partes de una antena Cassegrain de 600 λ a la envolvente de la ganancia con gran abertura angular*

——— Ganancia debida a la abertura anular del reflector principal

—··— Ganancia debida a los largueros en el plano principal

—·— Ganancia debida al alimentador (incluida la difracción alrededor del subreflector)

— — — Ganancia debida a los largueros en el plano normal al principal

3. Comparaciones de tipos de antenas de estaciones terrestres

3.1 *Comparación entre tipos de antenas diferentes*

Para comparar las características relativas de los lóbulos laterales, se efectuaron mediciones en los Estados Unidos de América de los diagramas de radiación de antenas en servicio, de los siguientes tipos:

- Cassegrain,
- con alimentación en el foco principal,
- de reflector excéntrico,
- bocina-reflector con alimentador de bocina cónica,
- alimentador Cassegrain (Casshorns).

A efectos comparativos, la fig. 2 muestra los diagramas de radiación medidos de las distintas antenas enumeradas. La envolvente de esos diagramas puede describirse mediante una ecuación general del tipo:

$$\frac{G(\varphi)}{G} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\varphi}{\varphi_0}\right)^n} \qquad \text{para} \quad 2 < \frac{\varphi}{\varphi_0} < 100 \tag{3}$$

representando G la ganancia en la dirección del haz principal de la antena. (Para $n = 2{,}5$, esta fórmula muestra el mismo índice de reducción del nivel de los lóbulos laterales en función de φ, ángulo con respecto al eje del haz principal, que la fórmula correspondiente al diagrama de radiación de referencia, $G(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi$). Los diagramas se han normalizado con relación a la anchura del haz para potencia mitad, es decir, φ/φ_0, siendo φ el ángulo con respecto al eje, y $2\,\varphi_0$ la anchura del haz para potencia mitad.

La mejora del reflector con alimentación excéntrica y de los reflectores de bocina se debe sobre todo al hecho de que en estas antenas no hay prácticamente nada que obstruya la abertura, lo que hace que se reduzca con relación a las antenas Cassegrain la radiación directa del alimentador en el sector frontal. Los aspectos del diseño de antenas de estaciones terrenas pequeñas se examinan detenidamente en el Informe 998.

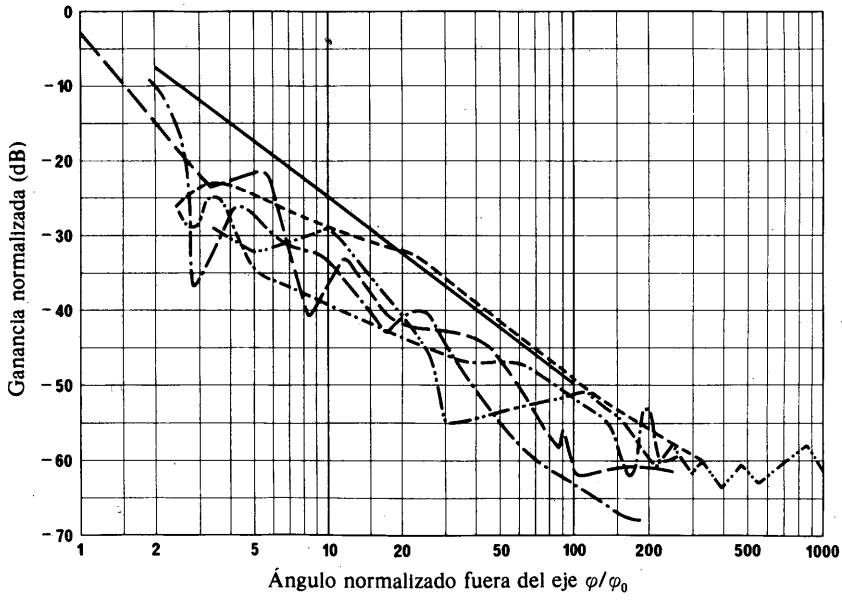


FIGURA 2 — *Diagramas medidos de varios tipos de antenas*

——— $G(\varphi) = \left[1 + \left(\frac{\varphi}{\varphi_0}\right)^{2,5}\right]^{-1}$

– – – – – Antena Cassegrain $D = 600\ \lambda$

—·—·— Antena con alimentador en el foco principal $D = 600\ \lambda$

—·—·—·— Antena con reflector excéntrico $D = 100\ \lambda$

—·— Bocina-reflector con alimentador cónico $D = 250\ \lambda$

— — — Bocina-reflector con alimentador Cassegrain $D = 128\ \lambda$ (Casshorn)

3.2 *Técnica de reducción de los lóbulos laterales debidos a la radiación dispersada por los soportes del reflector secundario*

La radiación dispersada se presenta con intensidad en ángulos determinados por la posición y orientación de los soportes, debido a que la fase de la corriente inducida en los soportes coincide con la dirección de estos ángulos. Por tanto, la degradación de los lóbulos laterales en ángulos específicos puede reducirse si la onda que incide en los soportes es dispersada aleatoriamente en todas las direcciones [Ogawa y otros 1977; Matsunaka y otros, 1981]. En la fig. 3 se ilustra un ejemplo de la reducción alcanzable de los lóbulos laterales como resultado de la disminución de la dispersión de los soportes con material de dispersión de microondas.

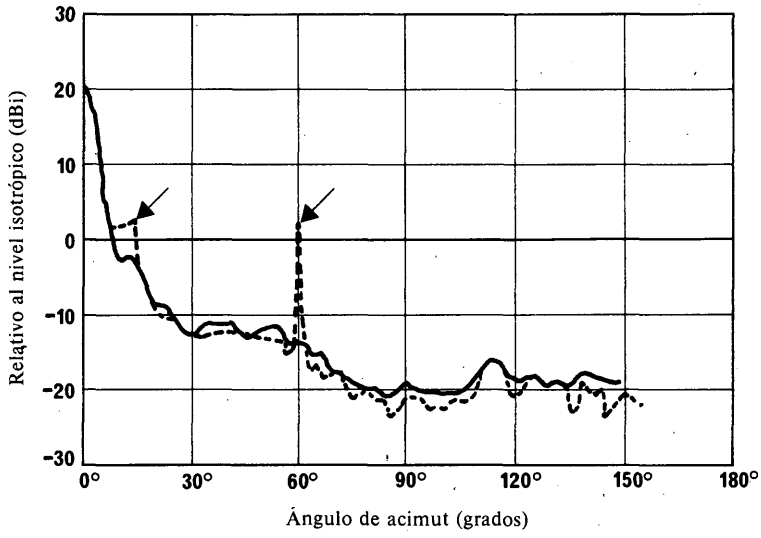


FIGURA 3 – *Efecto de reducción de la radiación dispersada por el metal ondulado*

(Polarización lineal. 29,5 GHz)

——— Con chapas metálicas especialmente curvadas

– – – – Sin chapas metálicas especialmente curvadas

En la fig. 4 se muestran algunos resultados de una investigación experimental realizada con una antena Cassegrain simétrica de 3 m en 36,25 GHz. Una combinación adecuada de estructuras curvadas y una estructura de dispersión debidamente diseñada en ella, produjeron los mejores resultados.

4. Características de los campos de radiación de antena que presentan especial interés

4.1 *Campos de radiación cerca de la antena de la estación terrena*

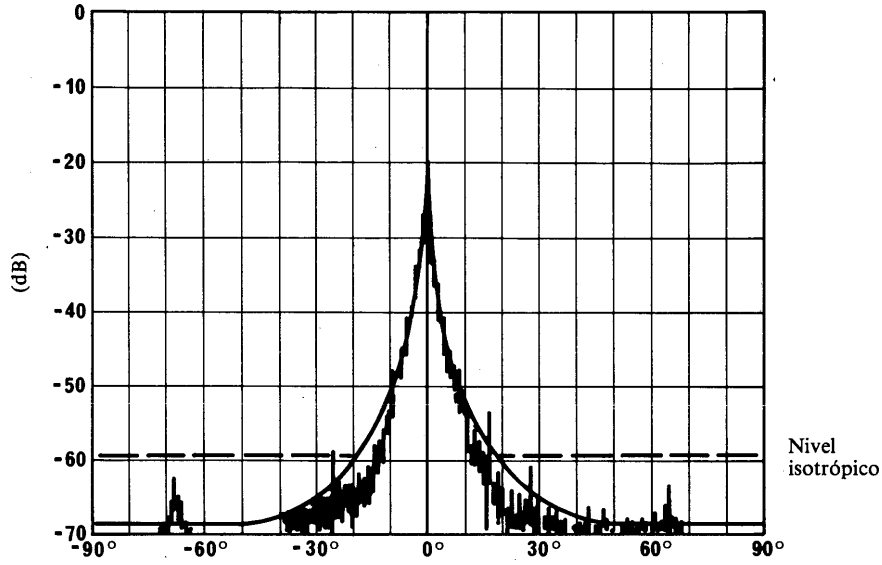
Para evaluar la posibilidad de reutilizar las frecuencias de las estaciones terrenas para sistemas terrenales, tiene especial interés conocer la naturaleza de los campos de radiación situados detrás y en las proximidades de la antena de la estación terrena.

Se han efectuado cálculos teóricos de estos campos, y se han trazado diagramas para confirmarlos. Se ha procedido a la medición de niveles de señal en el sector posterior de una antena de tipo Cassegrain con una relación entre un diámetro y la longitud de onda, D/λ, del orden de 600. La fig. 5 muestra la ganancia de la antena, relativa a la ganancia isotrópica, para un arco situado a una distancia de unos 30 m detrás de la antena. La fig. 6 muestra la ganancia aparente medida en línea recta en la parte posterior de la antena y en el plano que contiene el eje del haz principal. (La ganancia aparente se obtiene a partir de la intensidad de campo medida y corregida para tener en cuenta la pérdida en el espacio libre; se expresa en dB por encima de la ganancia de una antena isotrópica.)

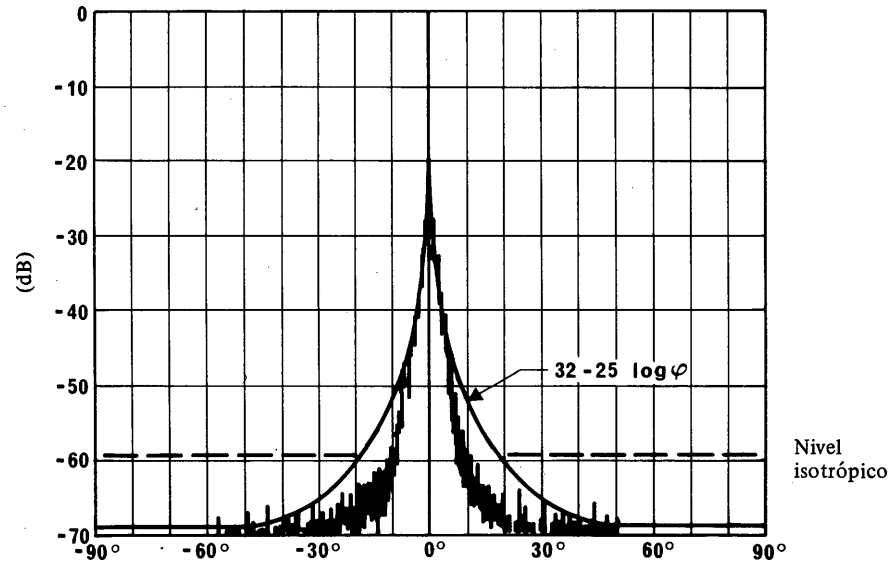
Esos valores medidos se aproximaron a los obtenidos por cálculo teórico del campo cercano y por los diagramas de radiación del campo lejano de esas antenas.

4.2 *Protección del emplazamiento mediante obstáculos situados en el campo próximo o en el campo lejano*

Puede seleccionarse el emplazamiento de la estación terrena para que tenga cierta protección contra las emisiones no deseadas, aprovechando obstáculos situados en el campo próximo o en el campo lejano de la antena. Puede definirse el factor de protección del emplazamiento como la diferencia, expresada en dB, entre la atenuación debida al obstáculo y la atenuación para la misma distancia sin obstáculo.



a) Estructuras rectas



b) Estructuras curvadas con superficies de dispersión especial

FIGURA 4 – *Mejora de la característica de lóbulos laterales de una antena simétrica utilizando una configuración de soporte optimizada*

En un caso, se efectuó una excavación alrededor de una antena de 10 m de diámetro destinada a funcionar con satélites situados en un arco de la órbita de los satélites geoestacionarios. Se ha determinado mediante mediciones el efecto de esta protección en las bandas de 4 y 6 GHz atribuidas al servicio fijo por satélite. La fig. 7 muestra los resultados de las mediciones en estas bandas con satélites situados en distintos puntos del arco de la órbita. Se comprobó que con una antena protegida, el nivel de la señal era 25 dB inferior al valor medido con una antena no protegida.

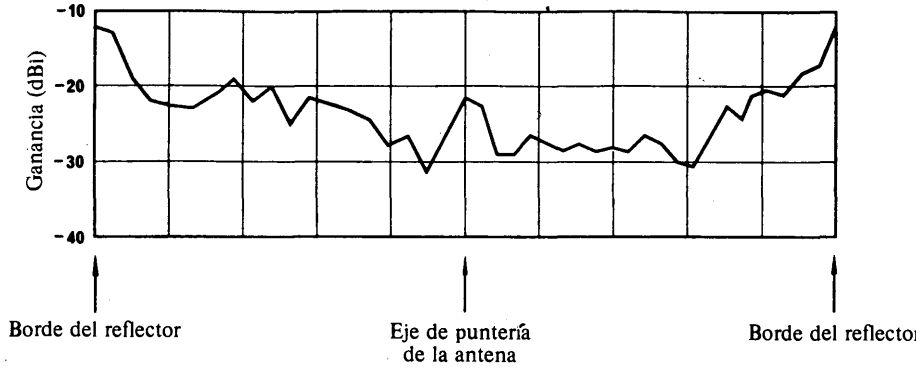
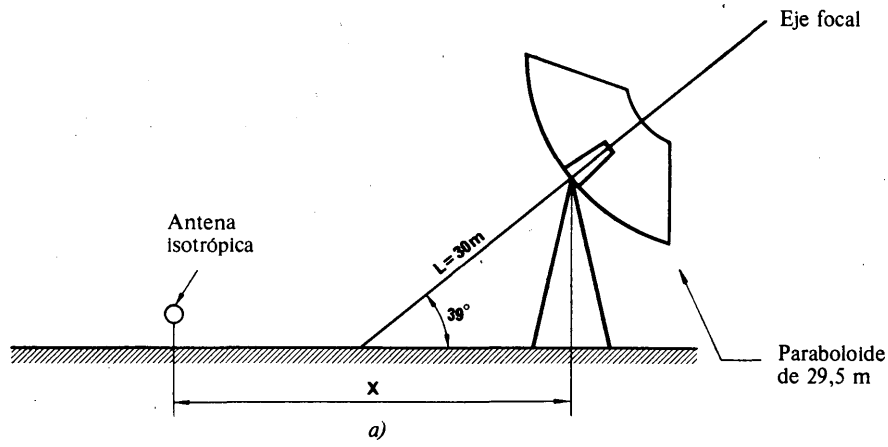
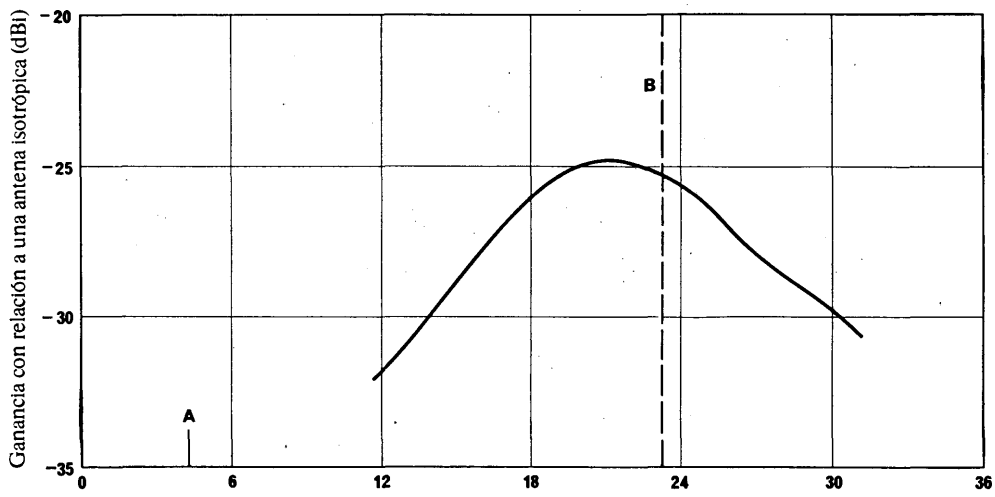


FIGURA 5 – *Valores medidos del nivel del suelo sobre un arco a unos 30 m detrás de la antena*



a)



b)

FIGURA 6 – *Ganancia aparente de la antena en la parte posterior de una antena de estación terrena de 29,5 m*

A: Base de la torre B: Intersección aproximada del eje focal con el suelo, L = 30 m

f = 6403 MHz

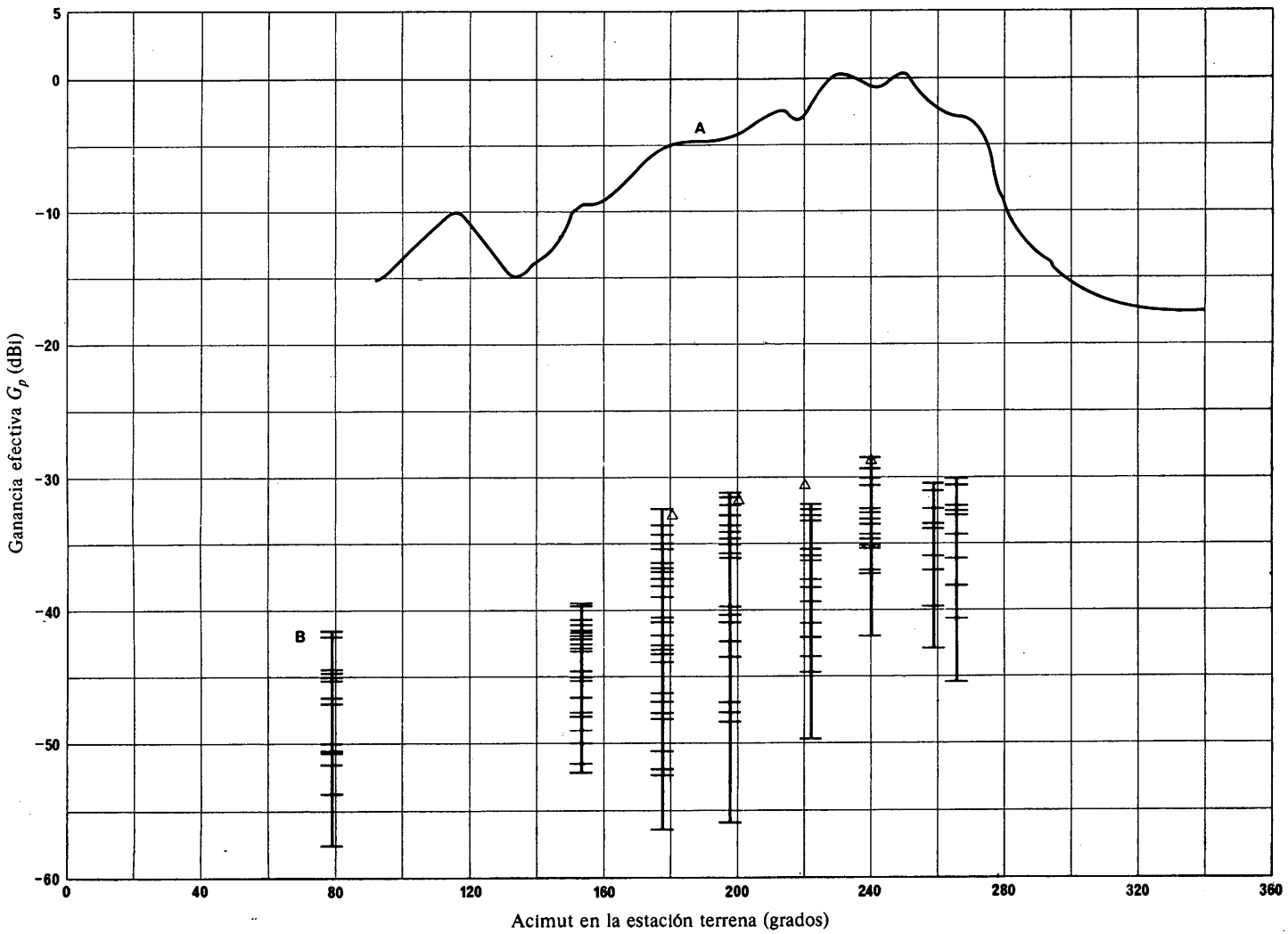


FIGURA 7 – *Diagrama de la ganancia horizontal efectiva para distintas posiciones del satélite (4 y 6 GHz)*

A: Ganancia máxima en el plano horizontal para una antena de 10 m sin apantallamiento
B: Valores de ganancia (medidos y calculados) de la combinación antena/excavación (△: valores calculados)

Para determinar el factor de protección del emplazamiento, se puede seguir un método consistente en calcular la atenuación causada por la difracción en la arista del obstáculo, pero no es exacto cuando se aplica a obstáculos situados en el campo próximo de la antena. En consecuencia, se ha realizado un estudio por computador basado en los principios fundamentales [Dalgleish, 1975; Streete y Shinn, 1974] sobre el efecto causado por la difracción sobre una arista en forma de filo de cuchillo, en el campo próximo de una antena funcionando a 4 GHz, y los resultados concuerdan bastante con las pruebas prácticas que llegan hasta 9 GHz.

Cabe indicar también que puede efectuarse una simple modificación de la fórmula de la difracción básica causada por obstáculos en arista para tener en cuenta la ganancia prevista de los lóbulos laterales de la antena. Esta modificación permite calcular los factores de protección del emplazamiento debidos a obstáculos cercanos con ciertas limitaciones (en particular, que los obstáculos rebasan la distancia Rayleigh que, por definición, es $D^2/2\lambda$, en donde D es el diámetro de la antena y λ la longitud de onda).

El factor calculado de protección del emplazamiento se convierte entonces en:

$$20 \log \left(\frac{\pi^2 \theta}{90} \sqrt{\frac{d}{\lambda}} \right) + 25 \log \left(1 - \frac{\theta}{\alpha} \right) \quad \text{dB} \tag{4}$$

donde los otros símbolos tienen la significación que se indica en el texto de la fig. 8. La primera parte de la expresión determina la atenuación básica de la interferencia debida a obstáculos en forma de arista y la segunda parte es la corrección que hay que introducir para tener en cuenta el cambio en la dirección de llegada de la interferencia.

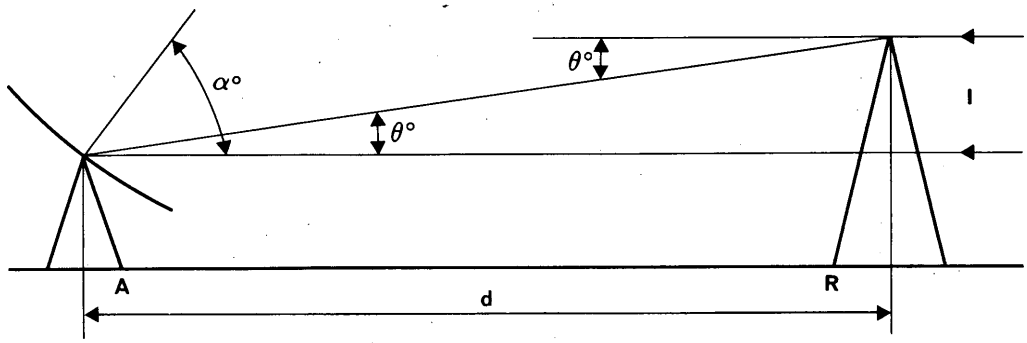


FIGURA 8 – *Protección del emplazamiento para antenas de estaciones terrenas*

α: Ángulo de elevación de la antena, en grados
θ: Ángulo de difracción, en grados
d: Distancia entre la antena y el borde del obstáculo, en metros
A: Antena
R: Borde del obstáculo
I: Dirección de la interferencia

5. Canceladores de interferencia

Las características de rechazo de interferencia de una estación terrena pueden modificarse por medios electrónicos (véase el Informe 875). Según este método, se combina la señal recibida por una antena de referencia con la recibida por la antena principal, en la fase y amplitud apropiadas para que la ganancia en la dirección del lóbulo lateral se reduzca efectivamente a cero en la dirección de la señal no deseada. Se suprime así eficazmente la señal interferente.

Durante algún tiempo se ha hecho un uso limitado de esos dispositivos, pero todavía no han sido perfeccionados para que pueda confiarse en ellos en la explotación. Conviene fomentar su perfeccionamiento en interés de la economía del espectro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOITHIAS, L. y BEHE, R. [1971] Directivité maximale en dehors de l'axe des ouvertures rayonnantes équiphases. *Ann. des Télécomm.*, Vol. 26, **9-10**, 325-340.

CLAYDON, B. y DANG, N. [septiembre de 1982] The choice of sub-reflector support geometry for earth station antennas. 12th European Microwave Conference, Helsinki, Finlandia.

DALGLEISH, D. I. [7 de abril de 1975] The influence of interference on the siting of earth stations. IEE Conf. Publ. 126, International Conference on Satellite Communication Systems Technology, Londres, Reino Unido.

KREUTEL, R. W. [1976] Wide-angle sidelobe envelopes of a Cassegrain antenna. *COMSAT Tech. Rev.*, Vol. 6, **1**, 71-88.

MATSUNAKA, N., BETSUDAN, S. y KATAGI, T. [junio de 1981] Side-lobe level reduction by improvement of strut shape. IEEE Antennas and Propagation Society (AP-S) International Symposium and URSI, Los Angeles, Ca., Estados Unidos de América.

MIZUGUCHI, Y., AKAGAWA, M. y YOKOI, H. [octubre de 1976] Offset dual reflector antenna. IEEE Antennas and Propagation Society (AP-S) International Symposium, Mass., Estados Unidos de América.

OGAWA, E., HORI, T., TAKANO, T. e ISHIDA, N. [1977] Some studies on 20/30 GHz band Cassegrain antenna for the domestic communication system earth station. Paper Tech. Group on Antenna Propagation, Institute of Electronics Communication Engineers of Japan, AP77-22 (1977-06).

STREETE, M. A. y SHINN, D. H. [1974] Site shielding for earth-station antennae. *Electron. Lett.*, **8**, 120-121.

BIBLIOGRAFÍA

GOULD, R. G. y SCHMITT, C. [28-30 de junio de 1977] Interference reduction techniques for earth stations. 2nd Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Montreux, Suiza, 285-292.

IEE [abril de 1975] Interference cancellation to an earth station. IEE Conf. Publ. No. 126, International Conference on Satellite Communication Systems Technology, Londres, Reino Unido.

ANEXO II

CONTRIBUCIÓN A LA TEMPERATURA DE RUIDO DEBIDA A FUENTES EXTRATERRESTRES

1. Introducción

En las frecuencias que interesan al servicio fijo por satélite puede despreciarse la contribución a la temperatura de ruido de la antena aportada por la componente del ruido de fondo constituido por el ruido cósmico; únicamente se deben considerar las fuentes discretas. Estas fuentes discretas, como el Sol, la Luna y algunas de las nebulosas de radiación más intensa, como Casiopea A, Tauro A, Cisne A y Orión A se encuentran repartidas en toda la esfera celeste, pero sus dimensiones angulares son pequeñas y la antena receptora de una estación terrena las intercepta raramente.

En la práctica, únicamente el Sol y la Luna aportan una contribución importante a la temperatura de ruido de la antena de una estación terrena. En lo que concierne al Sol, su temperatura aparente (la temperatura aparente depende de la temperatura solar aparente y de la fracción del haz de la antena que interviene) es muy elevada, y el ruido recibido en los lóbulos laterales de la antena de la estación terrena puede asimismo ser importante.

La temperatura de ruido aparente del Sol en calma varía, a la frecuencia de 4 GHz, entre 23 000 K para el mínimo de actividad solar y 90 000 K para el máximo. Con una antena de 13 m de diámetro, se han registrado temperaturas de la región en calma de 12 000 y 9200 K, en 12 y 18 GHz, respectivamente, siendo el diámetro aparente del Sol de 0,6° de arco. La temperatura media del disco solar varía unos 3 dB con respecto al valor del estado en calma a 9,4 GHz, y menos de 1 dB a 17 GHz para la actividad máxima, siendo su variación de sentido inverso al de la frecuencia.

Además, las erupciones radioeléctricas solares pueden originar un aumento de la temperatura de ruido. Estas erupciones se producen frecuentemente en periodo de actividad solar máxima en el que, durante el 1% del tiempo, en la frecuencia de 4 GHz, la temperatura de ruido aparente será un 50% superior aproximadamente a la observada en periodo de Sol en calma. Durante porcentajes de tiempo inferiores, el aumento de la temperatura de ruido aparente será considerablemente mayor.

El ruido proveniente de la Luna puede aumentar la temperatura de ruido del sistema a lo sumo en unos 250 K a 4 GHz.

2. Aparición de interferencias producidas por el ruido solar

La República Federal de Alemania ha estudiado con detalle, en el caso de órbitas ecuatoriales de satélites, la aparición de interferencias de origen solar en el sistema receptor de una antena de estación terrena [CCIR, 1963-66].

La zona de interferencia definida en este estudio depende de la anchura angular de la fuente, del diagrama de radiación de la antena y del aumento de temperatura de rudio admisible para la antena receptora de la estación terrena, del orden de unos 15 dB. Esta zona es de forma aproximadamente circular, con más o menos 1,0° de diámetro angular aparente si se recibe con una antena típica de 30 m en 4 GHz. Las interferencias se producen cuando el Sol radioeléctrico entra en la zona de interferencia. El diámetro angular indicado se calculó para el caso de un sol en calma en periodo de mínima actividad solar (26 000 K a 4 GHz). La actividad solar conducirá a una extensión de la zona de interferencia.

Para satélites en órbitas ecuatoriales de altitudes iguales o superiores a 10 400 km, ninguna estación terrena está exenta de interferencias de origen solar. Para las estaciones situadas en el hemisferio norte, las interferencias se producen durante los seis meses que transcurren entre los equinoccios de otoño y de primavera; para las estaciones situadas en el hemisferio sur, las interferencias se producen únicamente en el transcurso de los otros seis meses. En cualquier estación, las interferencias se producen en dos periodos de este intervalo de seis meses; cada uno de estos periodos puede ser de varios días consecutivos. Para los satélites geoestacionarios, la interferencia se produce una vez por día.

Es posible calcular la diferencia de hora a la que se producirán las interferencias en dos estaciones terrenas diferentes, cuando se conoce la posición del satélite y las coordenadas de la estación terrena. La diferencia de hora en que se observan las interferencias en estaciones terrenas situadas en el mismo hemisferio es de 35 minutos, aproximadamente como máximo y, para satélites sincrónicos y una amplia gama de valores, apenas varía con la longitud del satélite.

Es posible deducir la duración de una interferencia si se conoce la dimensión de la zona de interferencia y las velocidades angulares del Sol y del satélite con relación a la estación terrena. La máxima duración de la interferencia para un diámetro angular de 1,0° de la zona de interferencia es aproximadamente de 4 min para satélites geoestacionarios.

La duración anual esperada de interferencia solar cuando se trabaja con satélites síncronos puede obtenerse aplicando los siguientes procedimientos con referencia a las figs. 9 a 11:

- utilizar la fig. 9 para hallar el aumento máximo de la temperatura de ruido con arreglo a su frecuencia de funcionamiento y al diámetro de la antena de la estación terrena. Obsérvese que la fig. 9 se basa en una temperatura de ruido con sol en calma de 26 000 K a 4 GHz. Habrá que hacer correcciones si la temperatura de ruido solar real excede de este valor;
- determinar el aumento admisible de la temperatura de ruido del sistema con arreglo a la calidad requerida de la señal;
- a partir de la relación entre el aumento permisible y el máximo de la temperatura de ruido, utilizar la fig. 10 para deducir el tamaño de la zona de interferencia con arreglo al valor de D/λ de la estación terrena;
- con respecto al tamaño de la anterior zona de interferencia, utilizar la fig. 11 para hallar la duración anual esperada de la interferencia solar teniendo en cuenta la latitud de la estación terrena.

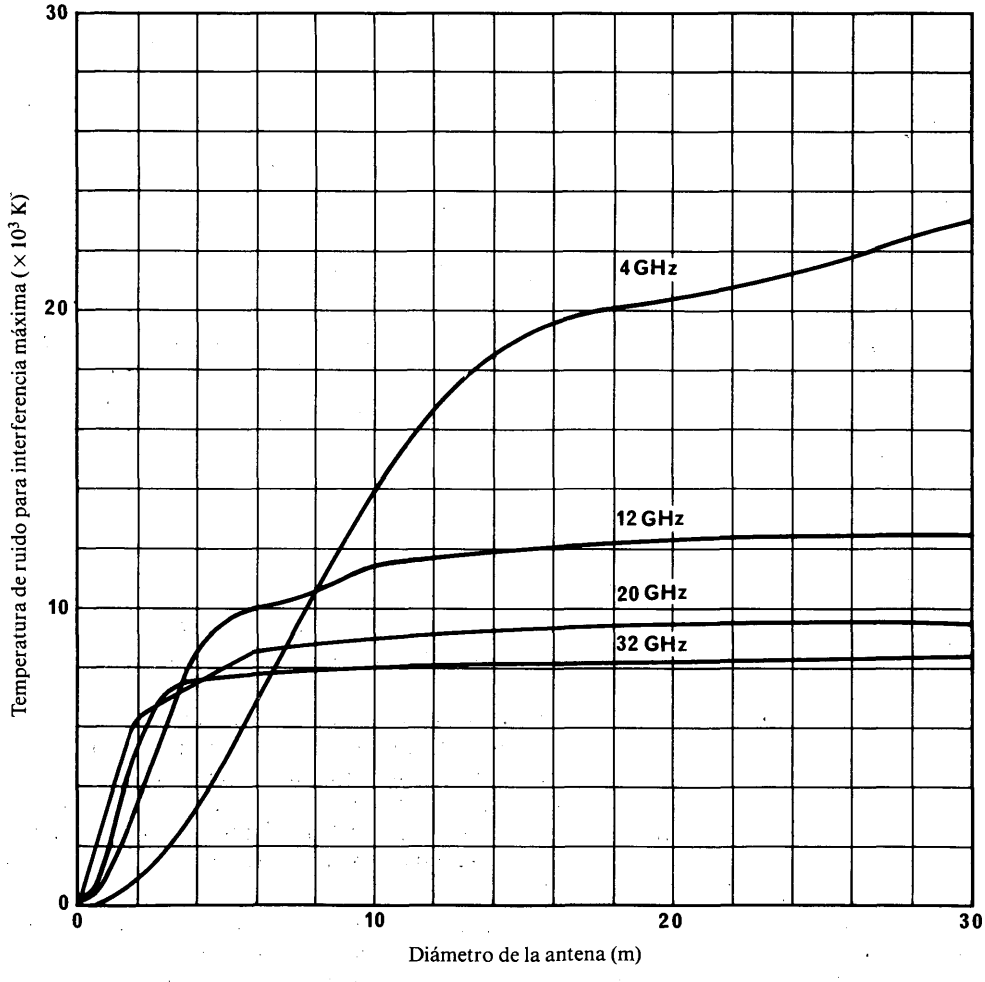


FIGURA 9 – *Aumento máximo de la temperatura de ruido debido a la interferencia solar*

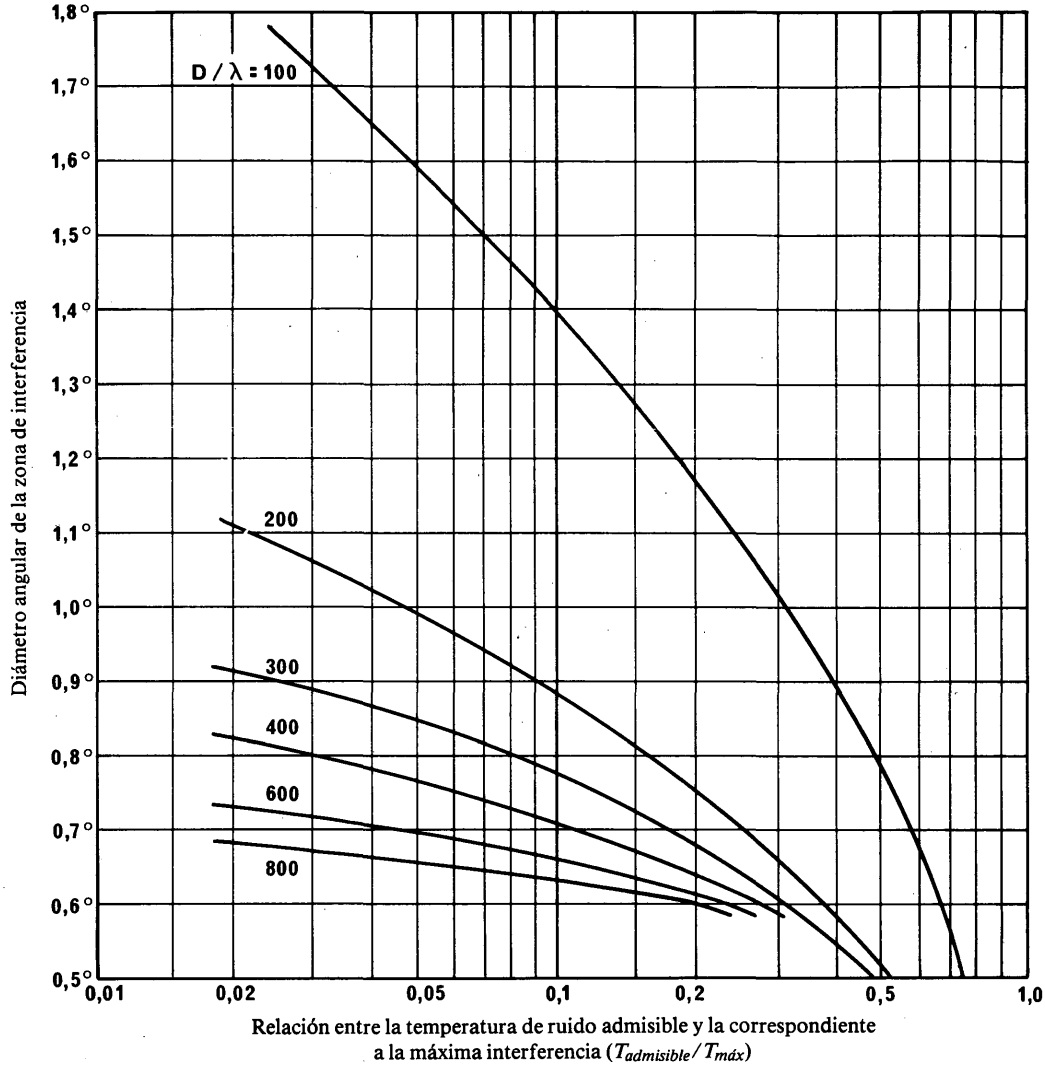


FIGURA 10 – *Extensión de la zona de interferencia solar*

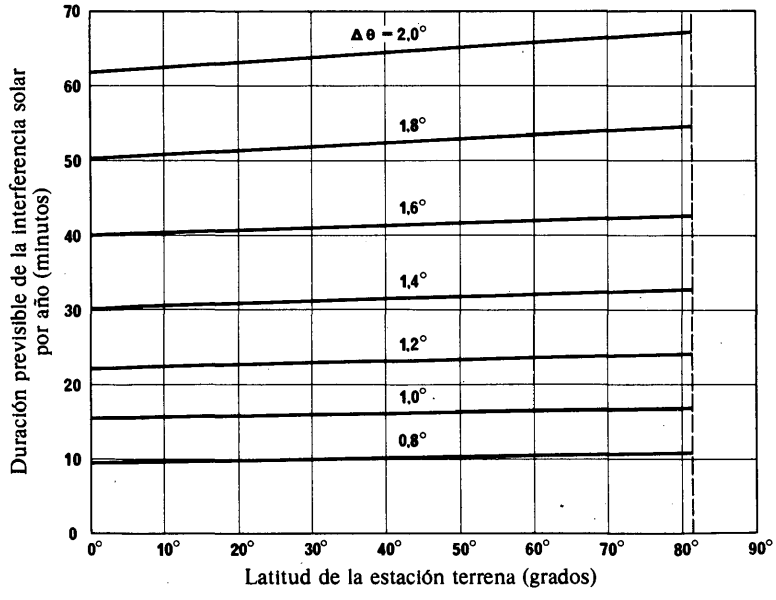


FIGURA 11 – *Duración previsible de la interferencia causada por el Sol para un satélite en órbita geoestacionaria*

$\Delta\theta$: Diámetro angular de la zona de interferencia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos del CCIR
[1963-66]: IV/223 (República Federal de Alemania).

ANEXO III

MEDICIÓN DE LA RELACIÓN GANANCIA/TEMPERATURA DE RUIDO CON AYUDA DE FUENTES RADIOELÉCTRICAS ESTELARES

1. Introducción

Conviene establecer un método práctico para medir con gran precisión la relación ganancia/temperatura de ruido (G/T), a fin de poder comparar los valores medidos en las distintas estaciones. En el presente anexo, se describe un método que permite medir directamente la relación G/T con ayuda de fuentes radioeléctricas estelares. No obstante, debe señalarse que, en ciertos casos, el método que utiliza fuentes radioeléctricas estelares no resulta práctico, y se puede utilizar otro método para la medición directa de la relación G/T utilizando una onda portadora transmitida desde un satélite, como se describe en [Sion, 1981]. El empleo de este método pudiera ofrecer ventajas desde el punto de vista de la operación, ya que no es tan complicado como el método que se sirve de fuentes radioeléctricas estelares, pero se debe tomar la precaución de no rebasar la densidad máxima admisible de flujo de potencia especificada en el Reglamento de Radiocomunicaciones cuando se están realizando las mediciones. Este método debe verificarse en la práctica.

2. Método de medida

La relación G/T puede calcularse mediante la fórmula siguiente, una vez medida la relación r de las potencias de ruido a la salida del receptor:

$$\frac{G}{T} = \frac{8\pi k\,(r-1)}{\lambda^2\,\Phi\,(f)} \tag{5}$$

donde

k: constante de Boltzmann;

λ: longitud de onda (m);

$\Phi(f)$: densidad espectral de flujo de radiación de la fuente radioeléctrica estelar (unidad: $Wm^{-2}\,Hz^{-1}$) en la frecuencia (f) en el momento de efectuarse la medición;

$r =$ $(P_n + P_{st})/P_n$;

P_n: potencia de ruido correspondiente a la temperatura de ruido de sistema T;

P_{st}: potencia de ruido suplementaria cuando la antena está en alineación exacta con la fuente radioeléctrica estelar.

G (ganancia de la antena) y T (temperatura de ruido del sistema) están referidas a la entrada del receptor.

En la ecuación (5), se ha tenido en cuenta que la radiación estelar está generalmente polarizada de manera aleatoria y que sólo se recibe una parte de ella, correspondiente a la polarización de recepción. La densidad espectral de flujo de radiación $\Phi(f)$ se obtiene mediante mediciones radioastronómicas.

Este procedimiento tiene una ventaja fundamental en comparación con el cálculo de la relación G/T a partir de valores de G y T medidos por separado. En lugar de dos medidas absolutas, basta con una sola medida relativa para determinar la relación.

3. Fuentes radioeléctricas estelares adecuadas

Las fuentes radioeléctricas discretas Casiopea A, Cisne A y Tauro A parecen ser las más adecuadas para medir la relación G/T por las estaciones terrenas. En ciertos casos, no obstante, la densidad de flujo de Cisne A puede resultar insuficiente.

Dada la declinación de estas fuentes radioeléctricas estelares, no todas resultan perfectamente adecuadas para las estaciones terrenas situadas en ciertas latitudes australes.

En el cuadro I se indican valores provisionales de la densidad de flujo de las fuentes de ruido mencionadas [Satoh y Ogawa, 1982].

Para mediciones en frecuencias superiores a 10 GHz, es ventajoso emplear las radiaciones provenientes de los planetas, por ejemplo, de Venus, así como de las fuentes radioeléctricas estelares anteriormente mencionadas. Las ondas radioeléctricas provenientes de los planetas presentan la ventaja de que las densidades de flujo aumentan con la frecuencia y de que su ángulo sólido es muy pequeño, lo que entraña errores de corrección despreciables debidos a la extensión angular. La densidad de flujo $\Phi(f)$ viene expresada por:

$$\Phi(f) = \frac{4\pi k\, Tb(f)}{\lambda^2} (1 - \cos \psi) \tag{6}$$

donde:

$Tb(f)$: temperatura de brillo de un planeta (K),

ψ : semidiámetro.

CUADRO I — *Densidades de flujo de las fuentes radioeléctricas estelares*

Fuente radioeléctrica	Casiopea A	Tauro A	Cisne A
$\Phi(4)$ Densidad de flujo a 4 GHz ($Wm^{-2}\,Hz^{-1}$)	$1\,067 \times 10^{-26}$ (1)	679×10^{-26}	483×10^{-26}
$\Phi(f)$ Densidad de flujo a f GHz	$\Phi(4)\left(\frac{f}{4}\right)^{-0,792}$ (1) (2)	$\Phi(4)\left(\frac{f}{4}\right)^{-0,287}$ (2)	$\Phi(4)\left(\frac{f}{4}\right)^{-1,198}$ (3)

(1) Valor para enero de 1965 (véase el punto 4.3).
(2) f comprendida entre 1 y 16 GHz. Las fórmulas pueden utilizarse provisionalmente hasta 32 GHz.
(3) f comprendida entre 2 y 16 GHz.

En la ecuación (5), se sustituye el valor de $\Phi(f)$, deducido de la ecuación (6), para obtener el valor de G/T de una estación terrena. El valor de ψ puede encontrarse en el American Ephemeris and Nautical Almanac (US Government Printing Office, Washington DC 20402, Estados Unidos de América). Para el planeta Venus, se supone que los valores de $Tb(f)$ son de unos 580 K y 506 K para 15,5 y 31,6 GHz, respectivamente [Yokoi y otros, 1974]. Como los valores de $Tb(f)$ se basan en un número limitado de datos de medición en las dos frecuencias mencionadas, y no se han determinado todavía para otras frecuencias, se insta a las administraciones a que efectúen estudios y envíen contribuciones sobre los resultados de los mismos, en lo que respecta a los valores de $Tb(f)$ en función de la frecuencia para la más extensa gama de frecuencias posible, a fin de confirmar y ampliar los resultados que aquí se indican.

4. Factores de corrección y evaluación de los errores

El valor corregido de la relación G/T viene dado por:

$$(G/T)_c = G/T + C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \tag{7}$$

donde:

C_1 : corrección debida a la absorción atmosférica;

C_2 : corrección debida a la extensión angular de las fuentes radioeléctricas estelares;

C_3 : corrección debida a la variación del flujo con el tiempo;

C_4 : corrección debida a la variación del flujo con la frecuencia.

Todos estos factores han de expresarse en dB.

4.1 *Absorción atmosférica*

Una corrección sencilla debida a la absorción atmosférica para ángulos de elevación superiores a 5°, viene dada por:

$$C_1 = A/\text{sen}\ \alpha \tag{8}$$

donde

A : absorción en un solo sentido para un trayecto vertical, en dB;

α : ángulo de elevación.

A 4 GHz, A = 0,036 dB; la fig. 12 da el valor de A para otras frecuencias.

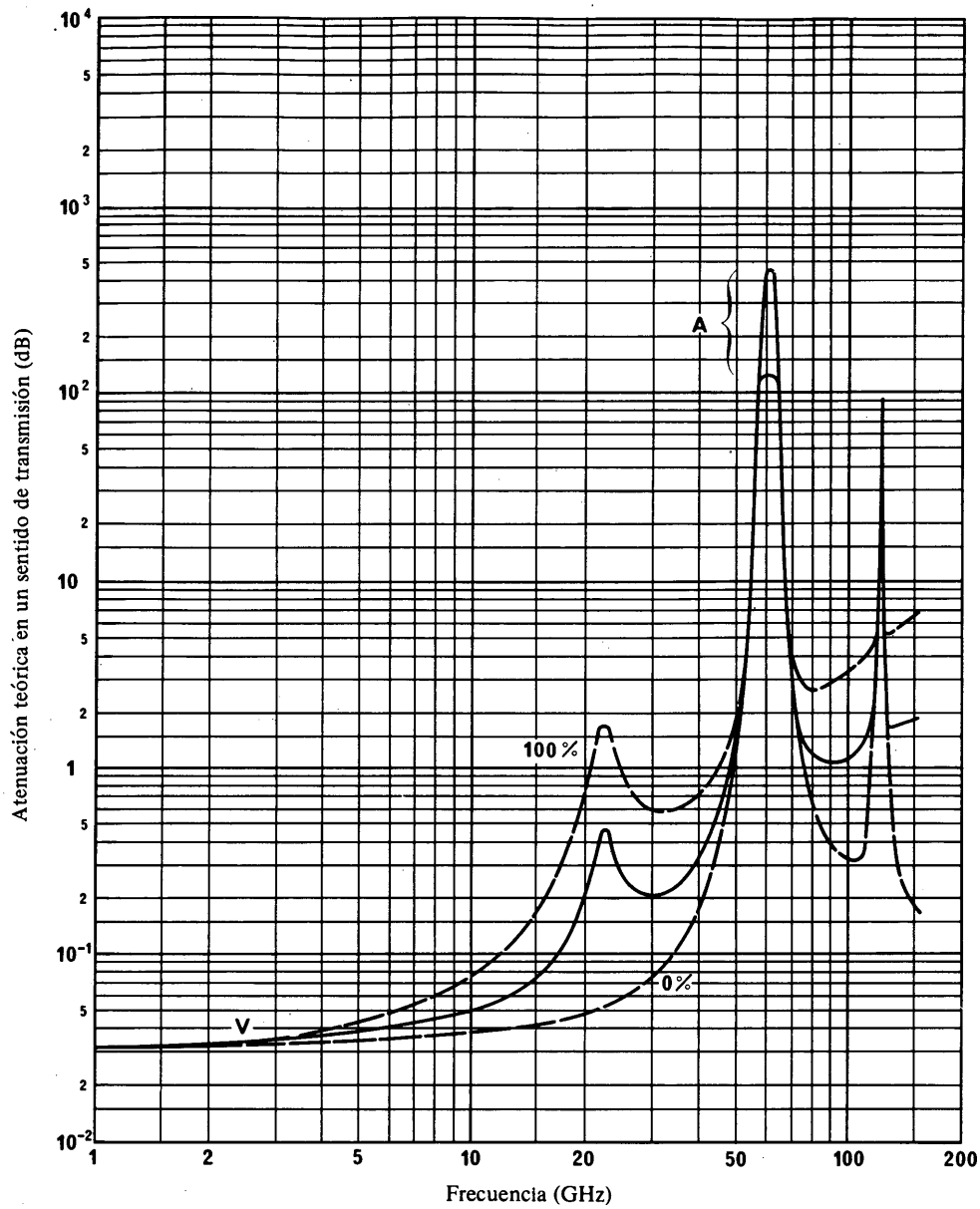


FIGURA 12 – *Atenuación teórica en un sentido, para un trayecto vertical a través de la atmósfera (calculada por medio de la atmósfera normalizada de Estados Unidos de América para el mes de julio, a 45° de latitud Norte). Las líneas de trazo continuo corresponden a una atmósfera moderadamente húmeda. Las líneas de trazo interrumpido para la atenuación vertical representan los límites para humedades relativas de 0 y de 100%*

A: Región de incertidumbre V: Vertical

4.2 *Extensión angular de las fuentes radioeléctricas estelares*

Si la extensión angular de la fuente radioeléctrica estelar es importante comparada con la anchura del haz de la antena, es preciso efectuar una corrección. Esta corrección, C_2, se indica en la fig. 13.

La curva correspondiente a Casiopea A se calcula [Kanda, 1976] por convolución numérica del mapa de intensidades de brillo observadas [Rosenberg, 1970] con el diagrama de potencia de la antena, aproximado por una función (sen x)/x. La distribución del brillo de Casiopea A puede representarse adecuadamente mediante un modelo anular, con un diámetro interno de 0,044°, un diámetro externo de 0,071° y una relación de 0,391 entre el brillo interno y el brillo externo. Empleando este modelo puede también calcularse fácilmente el factor de corrección combinando dos modelos de disco para los cuales el factor de corrección puede expresarse por una fórmula convencional. Los resultados obtenidos con ese modelo concuerdan con los del cálculo detallado efectuado por Kanda, con un margen de error de 0,06 dB.

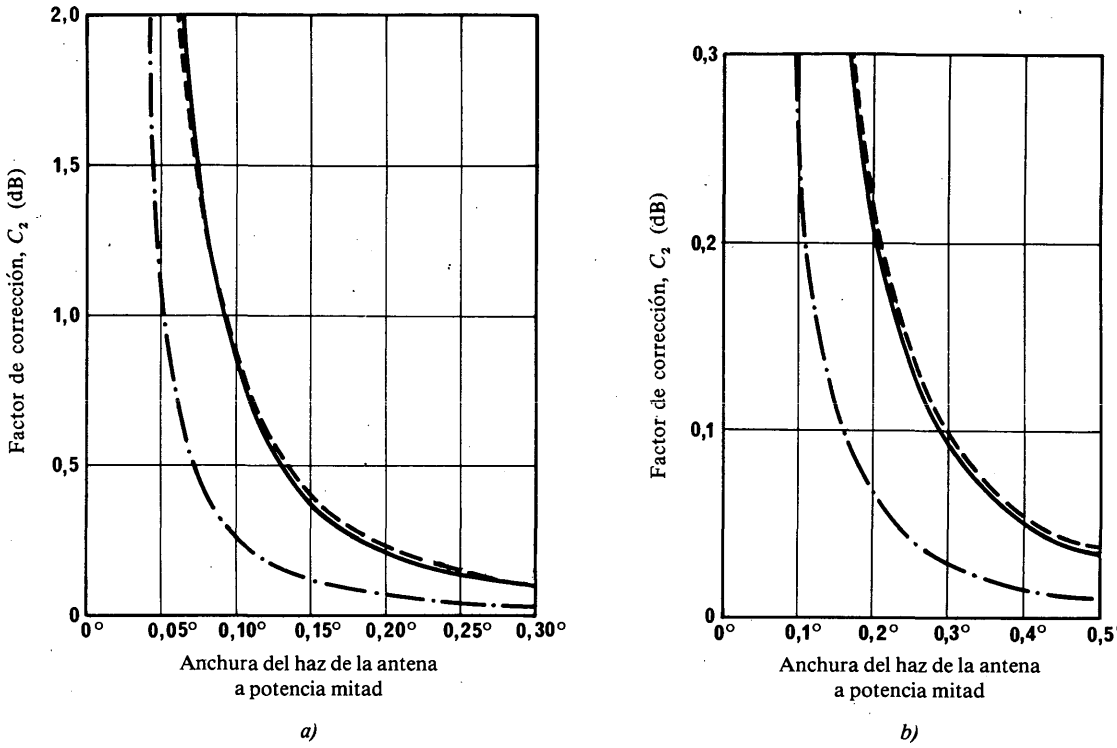


FIGURA 13 – *Factor de corrección para tener en cuenta la extensión angular de las fuentes radioeléctricas estelares*

Casiopea A
Tauro A
Cisne A

La curvas correspondientes a Tauro A y Cisne A se han obtenido por el mismo método que se utilizó para la curva correspondiente a Casiopea A. Los cálculos se basaron en los mapas de la distribución del brillo de elevada resolución obtenidos por observaciones en 5 GHz para Tauro A [Wilson, 1972], y en 5 GHz para Cisne A [Hargrave y Ryle, 1974].

La distribución del brillo medido para Cisne A puede describirse adecuadamente por un modelo de doble columna, cada una de ellas con un diámetro de 0,02 min de arco y separadas angularmente entre sí 2,06 min de arco.

La adopción del modelo anular para Casiopea A y de doble columna para Cisne A permite determinar un factor de corrección suficientemente aproximado. Tales modelos pueden ser también de utilidad para medir la anchura del haz de la antena entre puntos a potencia mitad, mediante la observación de la abertura correspondiente de la curva de deriva a la intensidad mitad. De ello se infiere que puede determinarse el factor de corrección para la extensión angular de fuentes radioeléctricas estelares a partir de la propia curva de deriva observada, sin necesidad de conocer la abertura del haz de la antena entre puntos a potencia mitad.

4.3 *Variación del flujo con el tiempo*

Casiopea A se caracteriza por una disminución del flujo con el tiempo en función de la frecuencia [Dent y otros, 1974]. Esta corrección puede efectuarse con el término:

$$C_3 = (0{,}042 - 0{,}0126 \log f)n \quad \text{dB} \tag{9}$$

donde:

n: número de años transcurridos, con $n = 0$ en enero de 1965;

f: frecuencia (GHz).

4.4 *Variación del flujo con la frecuencia*

La variación del flujo con la frecuencia se indica también en el cuadro I.

4.5 *Efectos de la polarización*

Tauro A está polarizado elípticamente, por lo que es preciso utilizar la media de dos lecturas tomadas en dos direcciones ortogonales. Cuando se efectúan las mediciones con ayuda de Casiopea A o Cisne A, estas precauciones no son necesarias.

4.6 *Evaluación de los errores*

El error relativo máximo viene dado por:

$$\frac{\Delta(G/T)}{G/T} = \frac{\Delta\Phi(f)}{\Phi(f)} + \frac{\Delta r}{r} \times \frac{r}{(r-1)} \qquad (10)$$

en que se tienen en cuenta los errores de $\Phi(f)$ y de r.

El error relativo resultante de la medición de la relación de potencia r se manifiesta netamente cuando el ruido de la fuente radioeléctrica estelar (P_{st}) no es lo suficientemente elevado, con relación al ruido del sistema (P_n), ya que $r/(r-1) \rightarrow \infty$ cuando $r \rightarrow 1$. La precisión de la medición se reduciría considerablemente si r fuera inferior a 2 dB, como sería el caso para los siguientes valores de G/T:

Casiopea A	36 dB(K^{-1})
Tauro A	37 dB(K^{-1})
Cisne A	39 dB(K^{-1})

Si $r = 2{,}5$ (4 dB), por ejemplo, r ha de medirse con una precisión de $\pm$ 0,01 (0,05 dB) en los casos en que el error no ha de exceder de 0,02 (0,1 dB aproximadamente).

El error introducido por:

$$\frac{\Delta\Phi(f)}{\Phi(f)}$$

es de unos 0,02. Subsiste una incertidumbre suplementaria de $\pm$ 0,01 en las correcciones aplicadas. Por consiguiente, el error máximo total para grandes ángulos de elevación es de unos 0,05, es decir $\pm$ 0,2 dB, aproximadamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DENT, W. A., ALLER, H. D. y OLSEN, E. T. [febrero de 1974] The evolution of the radio spectrum of Cassiopeia A. *Astrophys. J.*, Vol. 188, L11-L13.

HARGRAVE, P. J. y RYLE, M. [1974] Observations of Cygnus A with 5-km radio telescope. *Monthly Notices Roy. Astron. Soc. (GB)*, Vol. 166, 305-327.

KANDA, M. [septiembre de 1976] An error analysis for absolute flux-density measurements of Cassiopeia A. *IEEE Trans Instr. and Meas.*, Vol. IM-25, **3**, 173-182.

ROSENBERG, I. [1970] Distribution of brightness and polarization in Cassiopeia A at 5.0 GHz. *Monthly Notices Roy. Astron. Soc. (G.B.)*, Vol. 151, 109-122.

SATOH, T. y OGAWA, A. [enero de 1982] Exact gain measurements of large aperture antennas using celestial radio sources. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-30, **1**, 157-161.

SION, A. [1981] New method for direct G/T measurement using satellite signals. *Electron. Lett.*, Vol. 17, **23**, 883-885.

WILSON, A. S. [1972] The structure of Crab Nebula at 2.7 and 5 GHz-I. *Monthly Notices Roy. Astron. Soc. (GB)*, Vol. 157, 229-253.

YOKOI, H., YAMADA, M., AKAGAWA, M., OGAWA, A. y MIZUGUCHI, Y. [marzo de 1974] Flux-densities of celestial radio sources at 15.5 and 31.6 GHz. *Trans. Inst. Electron. and Comm. Engrs. Japan*, Vol. 57-B, **3**, 184-190.

BIBLIOGRAFÍA

BAARS, J. W. M., GENZEL, R., PAULINY-TOTH, I. I. K., y WITZEL, A. [abril de 1977] The absolute spectrum of CAS A; an accurate flux density scale and a set of secondary calibrators. *Astron. and Astrophys.*, Vol. 61, 99-106.

ANEXO IV

ASPECTOS DEL PROBLEMA DE LA SEGURIDAD CONTRA LAS RADIACIONES RADIOELÉCTRICAS PROCEDENTES DE ANTENAS DE ESTACIONES TERRENAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

Este anexo contiene información que permite calcular las densidades máximas de flujo de potencia previsibles procedentes de antenas de estaciones terrenas de tipo parabólico, con relación a la potencia radiada por el alimentador de la antena.

Se han evaluado las densidades máximas de flujo de potencia correspondientes a las tres zonas siguientes:

– zona del campo lejano, que se define como la comprendida entre el infinito y $(2\ D^2)/\lambda$,

siendo

D: diámetro de la antena, en m;

λ : longitud de onda, en m;

– zona del campo próximo, limitada por la abertura de la antena y $(2\ D^2)/\lambda$;
– zona limitada por el reflector primario del alimentador (y el secundario, en su caso) y la abertura de radiación.

Las reflexiones en tierra pueden tener un efecto significativo en la densidad de flujo de potencia observada en ciertas localidades, y, al calcular la densidad de flujo de potencia previsible, se ha supuesto que el flujo efectivo puede ser hasta cuatro veces superior, comparado con el campo en el espacio libre. Ello significa que los resultados de los cálculos serán muy conservadores.

Para ilustrar el empleo de la información que contiene este anexo, se ha efectuado un ejercicio de cálculo en el que se ha supuesto una densidad máxima de flujo de potencia de 10 mW/cm^2. Los resultados obtenidos se presentan en la fig. 14 en la que, para un determinado diámetro de la antena, se indica la potencia máxima radiada por el alimentador para:

– el campo lejano;
– el centro del plano de la abertura;
– el valor de cresta del campo próximo.

En la fig. 14 no se representa el campo de la zona limitada por el alimentador y la abertura de radiación. Este campo será muy elevado en ciertas direcciones, y es poco probable que sea interceptado por las personas encargadas de la estación terrena durante el funcionamiento de la misma.

Aunque en el ejemplo mencionado se haya empleado el valor de 10 mW/cm^2, pueden acomodarse en la fig. 14 otros valores de densidad de flujo de potencia de seguridad, mediante el simple desplazamiento de la escala de ordenadas. A este respecto, las administraciones emplearán el valor de densidad de flujo de potencia que consideren más apropiado.

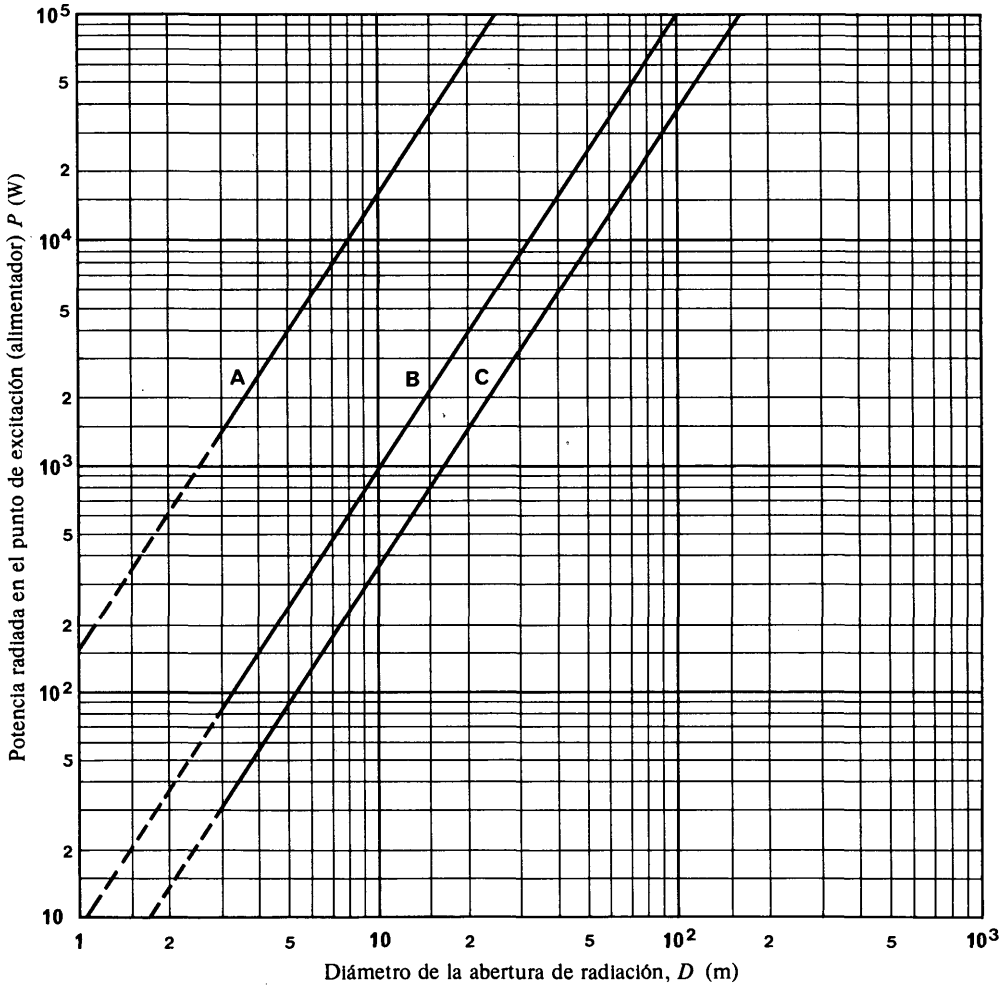


FIGURA 14 – *Riesgos de las radiaciones en radiofrecuencias. Niveles de potencia radiada calculados para el caso de una densidad de flujo de potencia admisible de 10 mW/cm^2, considerada como inofensiva en la dirección del eje del haz principal*

A: Límite del campo lejano
B: Centro del plano de la abertura
C: Valor de cresta del campo próximo

Nota. — Si se marca un punto para representar sobre el diagrama un determinado diámetro y a una determinada potencia radiada de la antena que se considera, y éste se encuentra a la izquierda de una curva (o curvas), la densidad de flujo de potencia máxima supuesta como inofensiva (10 mW/cm^2) se rebasa en la zona correspondiente a la letra que designa la curva (o en las zonas correspondientes a las letras que designan las curvas) a la derecha del punto.

ANEXO V

CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS DE HAZ ORIENTABLE PARA ESTACIONES TERRENAS

Una antena de haz orientable que pueda tener acceso a satélites geoestacionarios sin desplazar el reflector principal tiene las siguientes características:

- sistema de reflector principal fijo sin cojinetes ni mecanismo de arrastre pesados;
- operatividad en condiciones de viento fuerte;
- la precisión de la superficie no varía a pesar del cambio del ángulo de elevación del haz de la antena;
- capacidad de formar varios haces para funcionar con varios satélites.

Se construyó una antena de estación terrena de haz orientable utilizando un reflector toroidal. Este sencillo sistema de reflector único quizás no pueda aplicarse a una antena de gran tamaño, dado que el reflector reduce la ganancia de antena y la anchura de banda como consecuencia de los errores de fase causados por la aberración esférica [Kreutel, 1980]. Además, la asimetría debida a la alimentación descentrada degrada las características de polarización cruzada.

Recientemente se ha logrado un modelo de escala reducida de una antena de reflector esférico con alimentador descentrado de características eléctricas satisfactorias [Watanabe y otros, 1984]. La antena está compuesta de un reflector principal esférico con alimentador descentrado, dos subreflectores y una bocina de alimentación. Tanto la aberración esférica del reflector principal como la asimetría debida al alimentador descentrado se compensan con éxito utilizando varios subreflectores de formas especiales. Se ha construido una antena de modelo experimental de 2,8 m × 1,9 m en 52/34 GHz lo que corresponde a la clase de antenas de 20 m en 6/4 GHz. Se han experimentado con éxito ángulos de exploración de ± 12° en la dirección del acimut. Además, los lóbulos laterales alejados del eje principal están de 10 a 15 dB por debajo del diagrama de radiación de referencia de la Recomendación 465.

Puede situarse en el suelo la bocina de alimentación de una antena de haz orientable utilizando un subsistema de alimentación por guía de haz similar al que utiliza una antena Cassegrain convencional con un alimentador por guía de haz de cuatro reflectores. Mediante experimentos llevados a la práctica, se ha demostrado que un subsistema de alimentación por guía de haz consistente en tres reflectores, apenas degrada las características eléctricas de la antena de haz orientable. Además, la alimentación por guía de haz también puede aplicarse a una antena con haces múltiples.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KREUTEL, R. [1980] The multiple-beam torus earth station antennas. IEEE International Conference on Communications (ICC' 80), 8-12 de junio, Seattle, WA., Estados Unidos de América. Conf. Record 25.4.

WATANABE, F., MIZUGUCHI, Y. y YAMADA, M. [1984] A beam-steerable antenna with an offset spherical reflector for earth station. AIAA 10th Communications Satellite Systems Conference, AIAA-84-0672.

INFORME 998

CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS DE ESTACIÓN TERRENA PEQUEÑAS EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 1/4 y Programa de Estudios 1A/4)

(1986)

1. Introducción

La interferencia entre redes debida a la radiación proveniente de los lóbulos laterales de antenas de estaciones terrenas y a su recepción a través de dichos lóbulos secundarios es uno de los factores dominantes que determinan la separación mínima entre satélites. Una reducción en la separación mínima requerida podría incrementar considerablemente el número de redes que podrían utilizar la órbita de los satélites geoestacionarios.

El CCIR ha estudiado ampliamente los diagramas de radiación de grandes antenas de estaciones terrenas; véase el Informe 391. Actualmente se comprenden bien las características de funcionamiento que pueden obtenerse de un diseño cuidadoso con una antena Cassegrain con alimentación axisimétrica. La Recomendación 580 indica el objetivo de diseño para la ganancia en la dirección de los lóbulos laterales. Existen menos datos sobre antenas más pequeñas y a menudo se hace la suposición de sus características de lóbulos laterales son peores que las de las antenas mayores. Sin embargo, esto no es necesariamente cierto; se pueden desarrollar con mayor facilidad técnicas para mejorar las características de lóbulos laterales en el diseño de antenas pequeñas.

En un momento en el que está aumentando rápidamente la demanda de comunicaciones espaciales nacionales, es importante que se tomen en consideración urgentemente medios por los cuales puedan obtenerse buenas características de lóbulos laterales de antenas pequeñas. Los factores pertinentes que contribuyen a las características de lóbulos laterales se enumeran en este Informe y se señala especialmente la atención sobre los efectos limitativos que tienen estos factores cuando las dimensiones eléctricas de las superficies reflectoras son pequeñas.

2. Antenas axisimétricas

Existen varios factores que afectan a las características de lóbulos laterales de una antena. Pueden resumirse en:

- función de la iluminación de la abertura;
- iluminación en el borde de los reflectores principal y secundario:
- difracción en el borde de los reflectores principal y secundario:
- efectos de bloqueo;
- desbordamiento del alimentador;
- errores de fase.

La envolvente de lóbulos laterales producida por la función de iluminación de la abertura constituye la base de la envolvente completa de la antena. Si se suprimieran eficazmente los demás factores como el desbordamiento, la difracción en el borde y el bloqueo de abertura, la función de iluminación determinaría entonces el nivel de supresión de lóbulos laterales.

Por ejemplo, para una abertura circular de 100 longitudes de onda de diámetro con una función de iluminación decreciente de -15 dB en el borde, las diversas distribuciones de abertura prácticas producen envolventes de radiación ideales diferentes, es decir:

Distribución	*Envolvente de lóbulos laterales*
Parabólica	$25 - 36 \log \varphi$
Parabólica cuadrática	$17 - 24 \log \varphi$
Gaussiana	$20 - 28 \log \varphi$
Bessel con inflexión	$17 - 22 \log \varphi$
Hansen unidimensional	$21 - 30 \log \varphi$

Como referencia, la envolvente de lóbulos laterales con una iluminación uniforme sería $31 - 30 \log \varphi$.

En la fig. 1a se muestran las formas de estas distribuciones de abertura. Estos resultados están confirmados en [Rusch y Potter, 1970] que también muestra que la envolvente de radiación para un ángulo grande depende únicamente del decremento gradual de iluminación en el borde de la abertura, mientras que para lóbulos laterales muy próximos influye el factor de pendiente.

Se han realizado otros estudios teóricos de casos prácticos de antenas axisimétricas [James, 1980]. En la fig. 1b, se muestran cuatro distribuciones de la abertura típicas: en el caso «A» es uniforme, obteniéndose una ganancia máxima, y en el caso «D» es el tipo clásico Cassegrain con una variación gradual hasta el borde de -15 dB. Se muestran también dos distribuciones intermedias, la «B» y la «C». El efecto de la iluminación de la abertura en el nivel del primer lóbulo lateral, se resume en el cuadro I (véase también [James, 1980]). Los datos del diagrama de radiación que aquí se muestran se obtuvieron con un programa de computador basado en la teoría expuesta en [James, 1980]. Los primeros lóbulos laterales se han calculado mediante la integración de las corrientes del reflector principal y los lóbulos laterales alejados estuvieron determinados por la teoría geométrica de la difracción, teniendo en cuenta las contribuciones de la difracción en los bordes tanto del reflector principal como del reflector secundario. Aparece también en este cuadro el aumento de nivel debido al bloqueo central para la antena axisimétrica. Obsérvese la rápida deterioración del nivel de lóbulos laterales al aumentar el bloqueo para el diseño de un nivel de lóbulo lateral bajo. Otros efectos tales como el error de superficie del reflector, el desbordamiento del alimentador y la difracción del reflector secundario tendrán una repercusión similar en el nivel de lóbulos laterales de los diseños de niveles bajos de lóbulos laterales. En la fig. 2 se observa el nivel del primer lóbulo lateral con relación al nivel isotrópico para una antena axisimétrica con relación $d/D = 0{,}1$ para $D/\lambda = 150$, 75 y 50 con las iluminaciones de abertura indicadas en la fig. 1b.

De la fig. 2 se desprende que habrá que emplear iluminación decreciente de la abertura para que el nivel del primer lóbulo lateral esté por debajo de la curva especificada propuesta.

La fig. 3 representa el diagrama de lóbulos laterales calculado para una antena axisimétrica, $D/\lambda = 75$, $d/D = 0{,}1$ y una iluminación de la abertura de tipo «B». El diagrama está entre los planos de los soportes y se ha despreciado la componente de radiación del error de superficie. Los puntos indican las crestas de los lóbulos laterales calculadas a partir de las corrientes del reflector. El alejamiento de una disminución gradual del nivel para cada lóbulo lateral consecutivo, se debe al bloqueo central. Para φ 550 (λ/D), predominan los efectos (curvas continuas) de desbordamiento del alimentador y difracción en los bordes del reflector. Al comparar las dos curvas se observa que cuando se reduce la iluminación decreciente en los bordes del reflector secundario de -15 dB a -20 dB, el nivel de esta contribución disminuye en aproximadamente 3 dB. Sin embargo, la alimentación debe diseñarse con todo detalle para que la fase siga siendo esencialmente constante hasta el nivel de -20 dB.

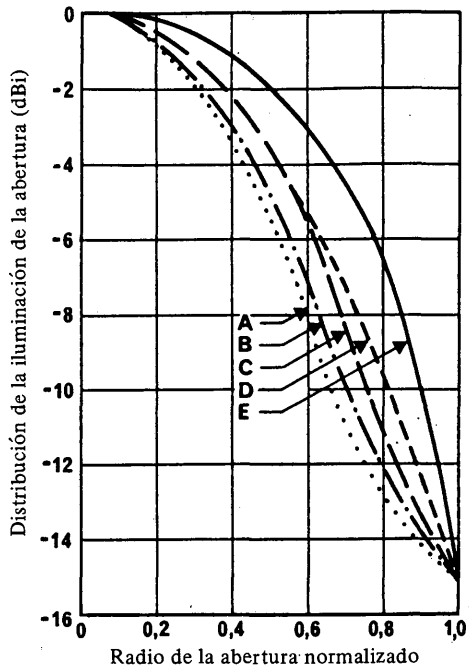


FIGURA 1a – *Diversas distribuciones de iluminación de abertura*

Curvas A Hansen unidimensional
B Bessel con inflexión
C Parabólica cuadrática
D Gaussiana
E Parabólica

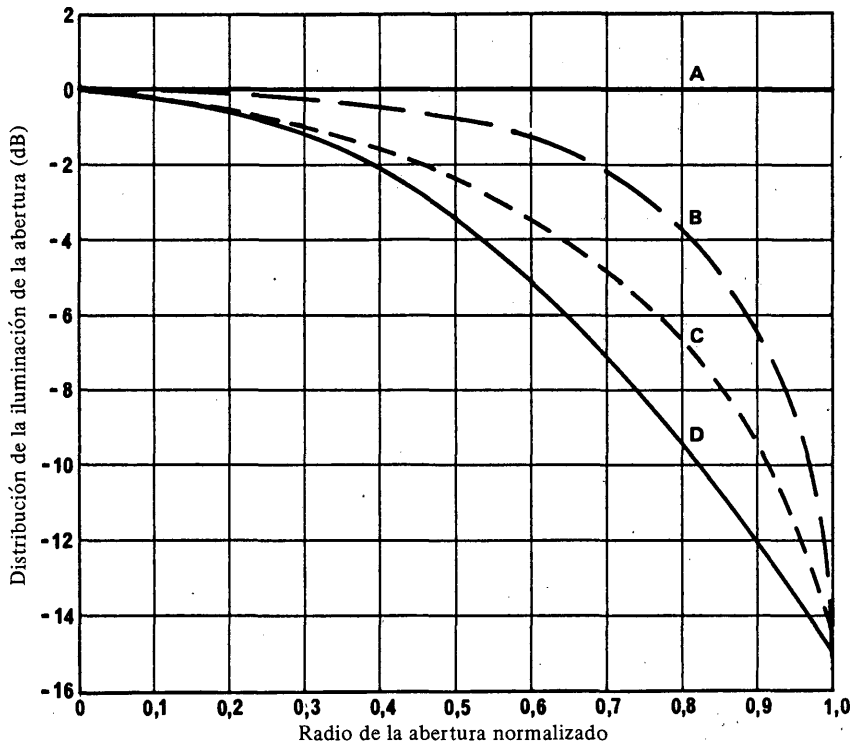


FIGURA 1b – *Cuatro distribuciones de la abertura típicas*

Casos «A» : Uniforme, que da la ganancia máxima
«B» y «C» : Distribuciones que se consideran prácticamente realizables utilizando el método de la bocina única
«D» : Cassegrain clásica

CUADRO I – *Efecto de la distribución de la abertura en la ganancia y en el nivel del primer lóbulo lateral*

Distribución (véase la fig. 1b)	Ganancia relativa (dB)	Aumento necesario de las dimensiones del reflector para restablecer la ganancia al caso uniforme «A»		Nivel relativo del primer lóbulo lateral (dB)		
				Dimensiones del reflector secundario (d/D)		
		Diámetro	Superficie	0	0,1 (1)	0,15 (1)
«A» (uniforme)	0	0	0	−17,5	−17	−16
«B»	−0,4	5%	10%	−20,5	−19	−17,5
«C»	−0,6	7%	15%	−23	−21	−19
«D» (clásica)	−1,0	12%	25%	−29	−24	−21,5

(1)En el plano de tirantes, se aumenta el nivel del primer lóbulo lateral aproximadamente en 1 dB en el caso «A» y en 2 dB en el caso «D».

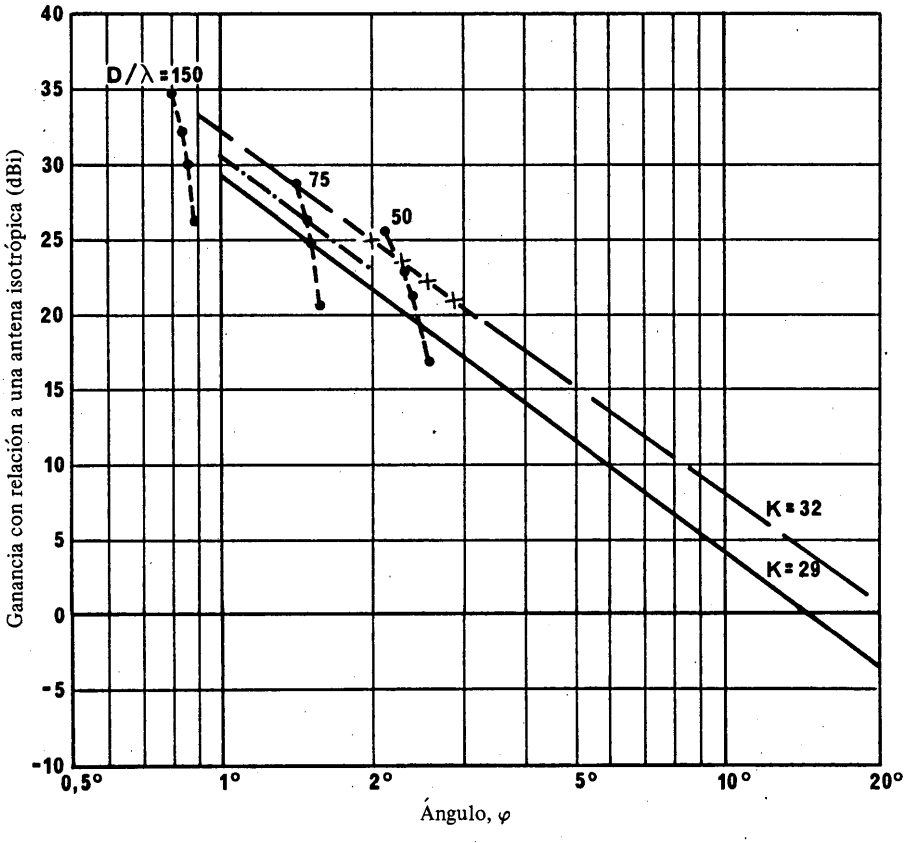


FIGURA 2 – *Intensidad del nivel del primer lóbulo lateral respecto de la antena isótropa para tres diámetros de antena, D/λ = 150, 75 y 50*

— — — $K = 32$

——— $K = 29$

·—·—·— $K = 49 - 10 \log (D/\lambda)$, $D/\lambda = 75$

×—×—×— $K = 49 - 10 \log (D/\lambda)$, $D/\lambda = 50$

• Antena axisimétrica con $d/D = 0{,}1$. Cada punto corresponde a las cuatro distribuciones («A», «B», «C» y «D») de la abertura que se muestran en la fig. 1 b.

Se indican también los posibles límites de los lóbulos laterales, donde se define K por $G = K - 25 \log \varphi$.

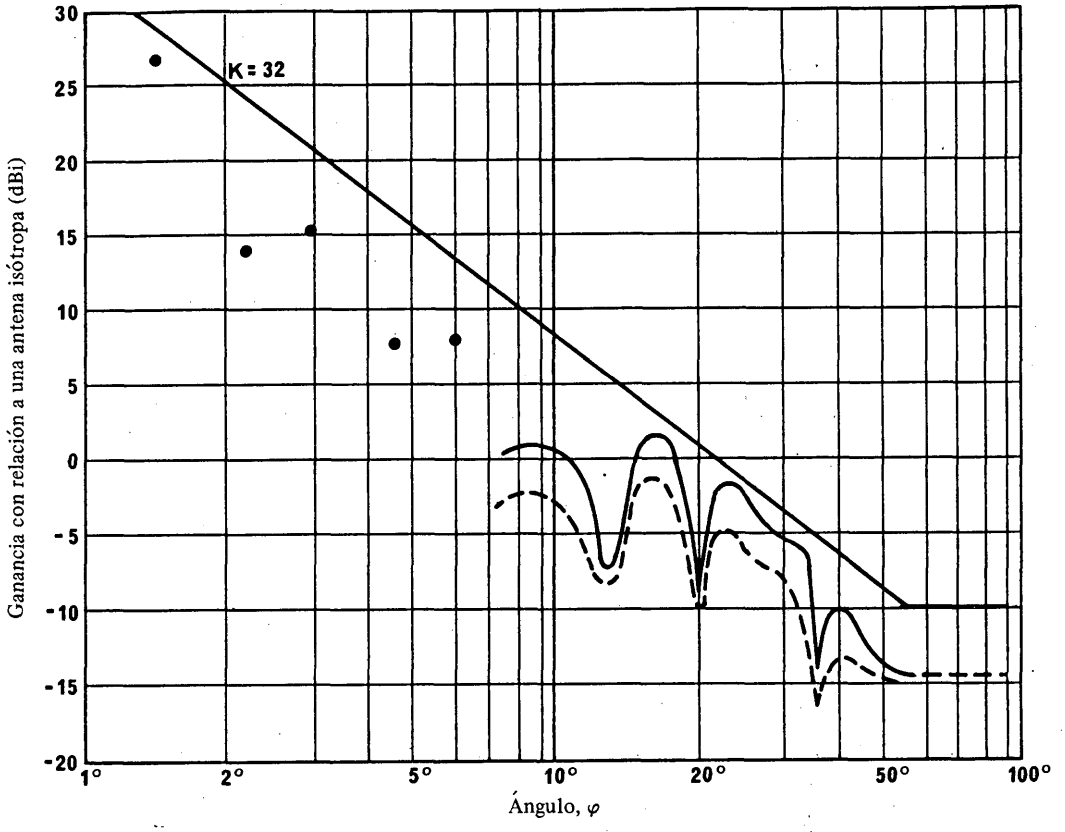


FIGURA 3 – *Diagrama de radiación teórico de una antena axisimétrica con $D/\lambda = 75$, $d/D = 0{,}1$ y distribución de la iluminación de la abertura del tipo «B»*

Contribuciones del desbordamiento del reflector secundario y de la difracción en los bordes del reflector principal y secundario:

——— Iluminación en los bordes del reflector secundario –15 dB

– – – – Iluminación en los bordes del reflector secundario –20 dB

● Ubicaciones de los lóbulos laterales cercanos (a partir de la integración de la corriente del reflector)

Estas distribuciones de iluminación tienen, por supuesto, su influencia en el área efectiva de captura de la antena. Si se precisa supresión de lóbulos laterales, se tiende a entrar en conflicto con el deseo de un alto rendimiento de la abertura. Sin embargo, la degradación en el rendimiento de la abertura es sólo una función que varía relativamente despacio. La fig.4 ilustra la degradación en el rendimiento de la abertura en función del primer nivel de lóbulos laterales para las diversas distribuciones de iluminación.

Podría parecer que escogiendo la función de iluminación correcta, se podría conseguir casi cualquier envolvente de radiación. Sin embargo se demostrará que el bloqueo de la apertura que aparece en sistemas axisimétricos es un factor limitativo.

Típicamente, para un reflector secundario de diámetro «*d* longitudes de onda» y un reflector principal de diámetro «*D* longitudes de onda», se genera un diagrama cuya ganancia en el eje [Rusch y Potter, 1970] viene dada por:

$$G_B = 20 \log \left(\Pi \cdot \frac{d^2}{D} \right) \qquad \text{dBi}$$

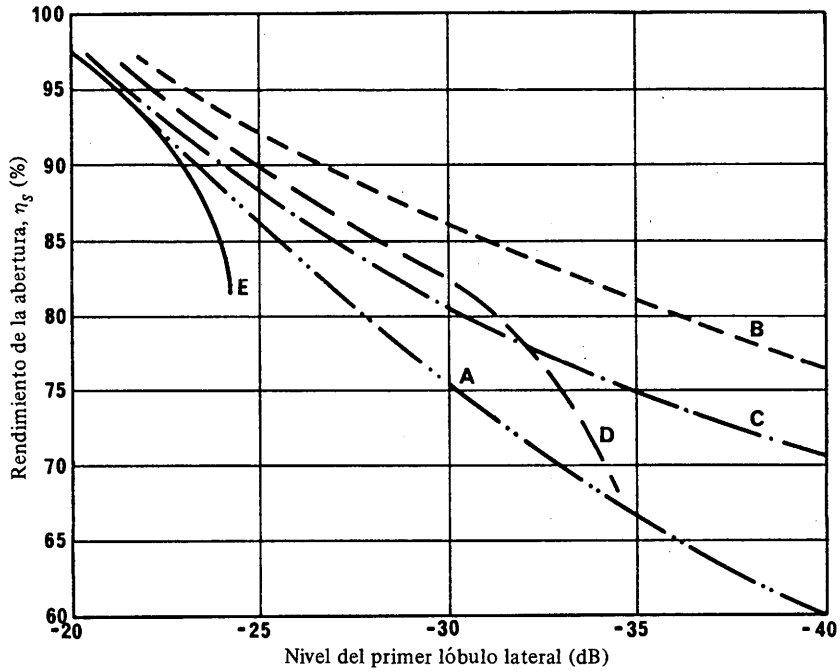
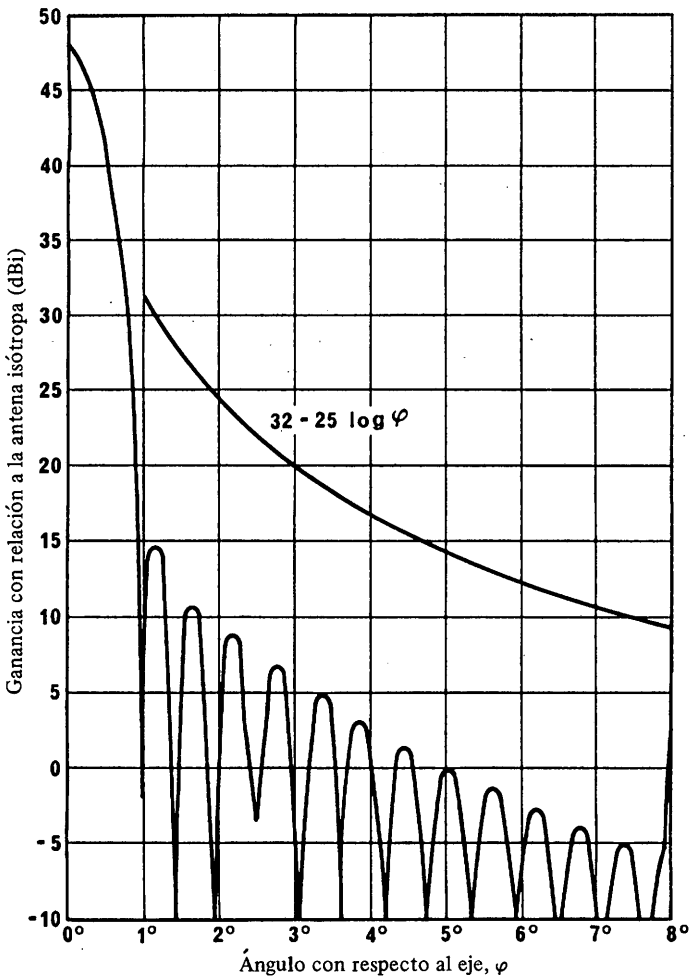


FIGURA 4 – *Variación del rendimiento de la abertura para diferentes niveles del primer lóbulo lateral y diversas funciones de iluminación*

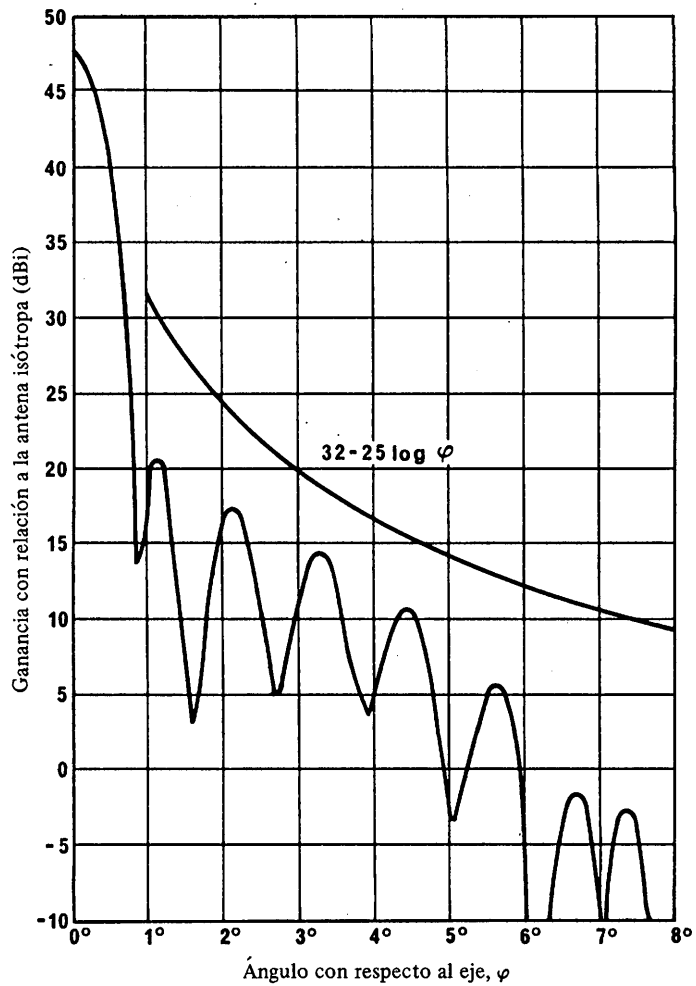
Curvas A Hansen unidimensional
B Bessel con inflexión
C Parabólica cuadrática
D Gaussiana
E Parabólica

El diagrama generado por este bloqueo del reflector secundario es el de una abertura uniformemente iluminada. Puesto que, en general, los reflectores secundarios son mucho más pequeños que el reflector principal, este diagrama de bloqueo es mucho más ancho que el diagrama del reflector principal. Los dos diagramas pueden así combinarse en fase y en desfase, reforzándose y anulándose. Dependiendo de los detalles exactos del sistema, este efecto genera las envolventes descritas en la fig. 5 para una iluminación parabólica cuadrática en la abertura. El efecto se resume en la fig. 6 (para reflectores con diámetros de 100 y 200 longitudes de onda). Como puede verse, la diferencia principal es la pendiente de caída de la envolvente que se hace mucho más suave al disminuir el diámetro del reflector (ya que el diagrama de bloqueo es ahora más ancho). En consecuencia, pueden destacarse las observaciones siguientes:

- Los niveles de los lóbulos laterales pueden reducirse utilizando diferentes funciones de iluminación de abertura y decrementos graduales de la iluminación en el borde.
- Para la misma reducción gradual hacia el borde, aunque difieran los niveles del primer lóbulo lateral, la pendiente de caída es casi constante para cualquier función de iluminación.
- En los sistemas axisimétricos, el bloqueo de abertura es el factor dominante que afecta a cualquier reducción en el nivel de las distribuciones de lóbulos laterales, ya que da lugar a su propio diagrama de radiación. En general, para ángulos cercanos al eje de puntería, este bloqueo limita la envolvente de lóbulos laterales, puesto que existe un tamaño mínimo en la práctica para reflectores secundarios. Este diagrama de bloqueo impide alcanzar la actual curva de referencia del CCIR en unos 5 dB como se indica en la fig. 6.



a) Sin bloqueo central



b) Con bloqueo central de 0,1

FIGURA 5 – *Diagrama de radiación secundario con iluminación de abertura parabólica cuadrática que tiene –15 dB de reducción gradual hacia el borde, D = 100 λ, η_S = 0,8*

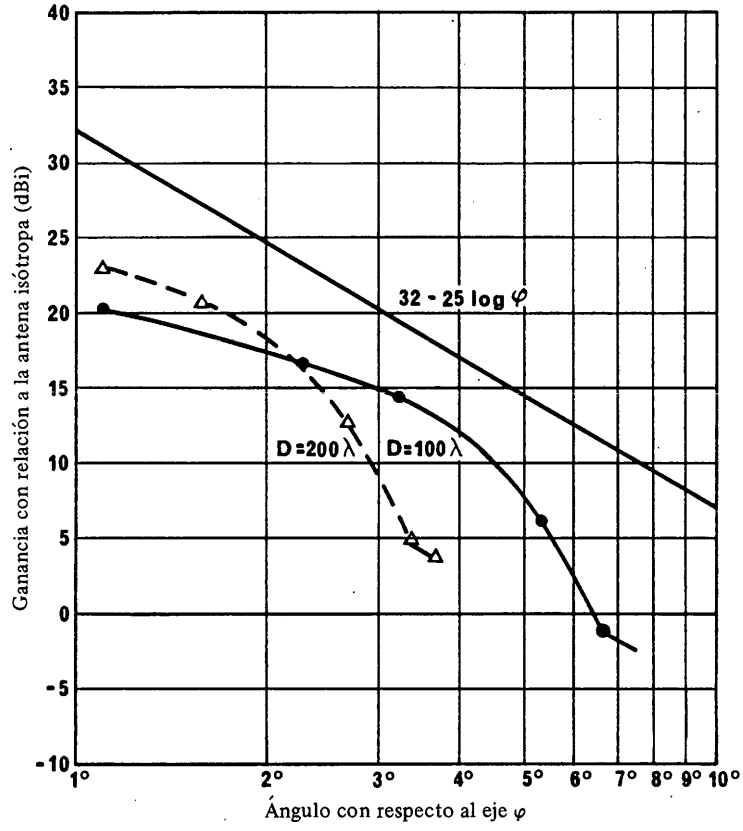


FIGURA 6 – *Envolventes de lóbulos laterales para una iluminación parabólica cuadrática con -15 dB de reducción gradual hacia el borde y bloqueo central de 0,1, $\eta_s = 0,8$*

Aunque los errores de fase también influyen en las características de radiación de las antenas, su efecto no es un factor limitativo en este estudio. Se han publicado análisis detallados a lo largo de muchos años, por ejemplo [Harris, 1978], y se conoce bien cómo controlar los errores de fase. En principio hay poca diferencia entre los mecanismos que actúan en el ámbito de las antenas más grandes y los que se consideran aquí.

En resumen por tanto, para conseguir una mejora superior a 5 dB en la envolvente de lóbulos laterales cercana al eje de puntería puede ser necesario emplear configuraciones que conduzcan a una abertura sin bloqueo. Este tipo de disposición se encuentra en las antenas con reflectores descentrados que se tratan a continuación.

3. Antenas asimétricas (descentradas)

Aunque la geometría de una antena asimétrica o descentrada es más compleja que la del reflector axisimétrico, la eliminación de todos los efectos de bloqueo implica mejoras importantes en las características de lóbulos laterales, tanto en las zonas angulares muy cercanas, como en las muy alejadas. Una ventaja suplementaria de la configuración descentrada es que la influencia del reflector sobre el alimentador primario puede reducirse a un nivel muy bajo.

La configuración descentrada tiene problemas de polarización cruzada especialmente en diseños alimentados frontalmente. Cuando se ilumina con un alimentador situado en el foco principal y polarizado linealmente, el reflector descentrado genera una componente contrapolar en el campo de radiación. En el caso de polarización circular, la relación de fase de este efecto produce una recombinación de los campos radiados linealmente en una componente polarizada circularmente con el mismo sentido. El efecto da como resultado un gradiente de fase a través de la abertura y por lo tanto una desviación del haz hacia un lado u otro del eje de puntería dependiendo del sentido de la polarización circular.

Por estas razones, el problema de la asimetría mecánica, y por consideraciones de costes se han descuidado en cierta medida en el pasado las antenas descentradas. En los apartados siguientes se muestra que las ventajas de esta configuración son aprovechables y los inconvenientes pueden evitarse, para superar las limitaciones de los sistemas axisimétricos para los diámetros más pequeños.

3.1 *Tipos de antenas descentradas*

Como su homólogo axisimétrico, el reflector parabólico descentrado puede utilizarse como un reflector único alimentado desde las proximidades de su foco principal o dispuesto como un sistema de reflector doble en el que el reflector principal es iluminado mediante una combinación de un alimentador primario y de un reflector secundario. En ambos sistemas descentrados Gregory y Cassegrain, pueden considerarse dos tipos de diseño de antena, uno que utiliza secciones cónicas y otro reflectores conformados.

3.2 *Características de lóbulos laterales de los diseños de sección cónica*

Si se requiere una reducción de los niveles de lóbulos laterales para ángulos próximos y lejanos es preferible emplear una antena con alimentador descentrado. Con esta configuración no existe bloqueo de apertura y el empleo de un radiador primario con bajo nivel de lóbulos laterales, reduce ulteriormente el nivel global de lóbulos laterales en las regiones angulares próxima y lejana.

En la fig. 7 se muestra la envolvente de lóbulos laterales de una antena Gregory descentrada de relación $D/\lambda = 66$. Para reducir la difracción en los bordes y la dispersión, origen de algunos lóbulos laterales de la antena, puede instalarse un absorbedor de microondas en los bordes exteriores del reflector y en la estructura soporte. Esta técnica puede producir una mejora apreciable en los niveles de lóbulos laterales para ángulos con respecto al eje superiores a unos 50° y el aumento de la temperatura de ruido debido al absorbedor puede considerarse inferior a 4,4 K para cualquier ángulo de elevación. En [Mizuguchi y otros, 1976] se expresa la envolvente de lóbulos laterales de esta antena como:

$44 - 10 \log (D/\lambda) - 33 \log \varphi$ para $1{,}5° < \varphi < 25°$

y

-22 dBi para $\varphi > 25°$

Un sistema de 100 longitudes de onda equivalente cumpliría $26 - 33 \log \varphi$ para $1° < \varphi < 25°$.

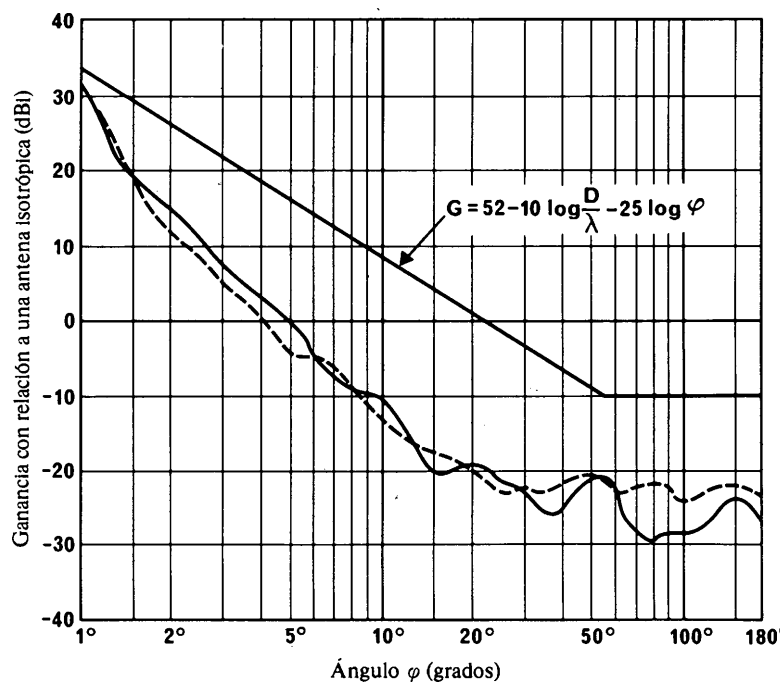
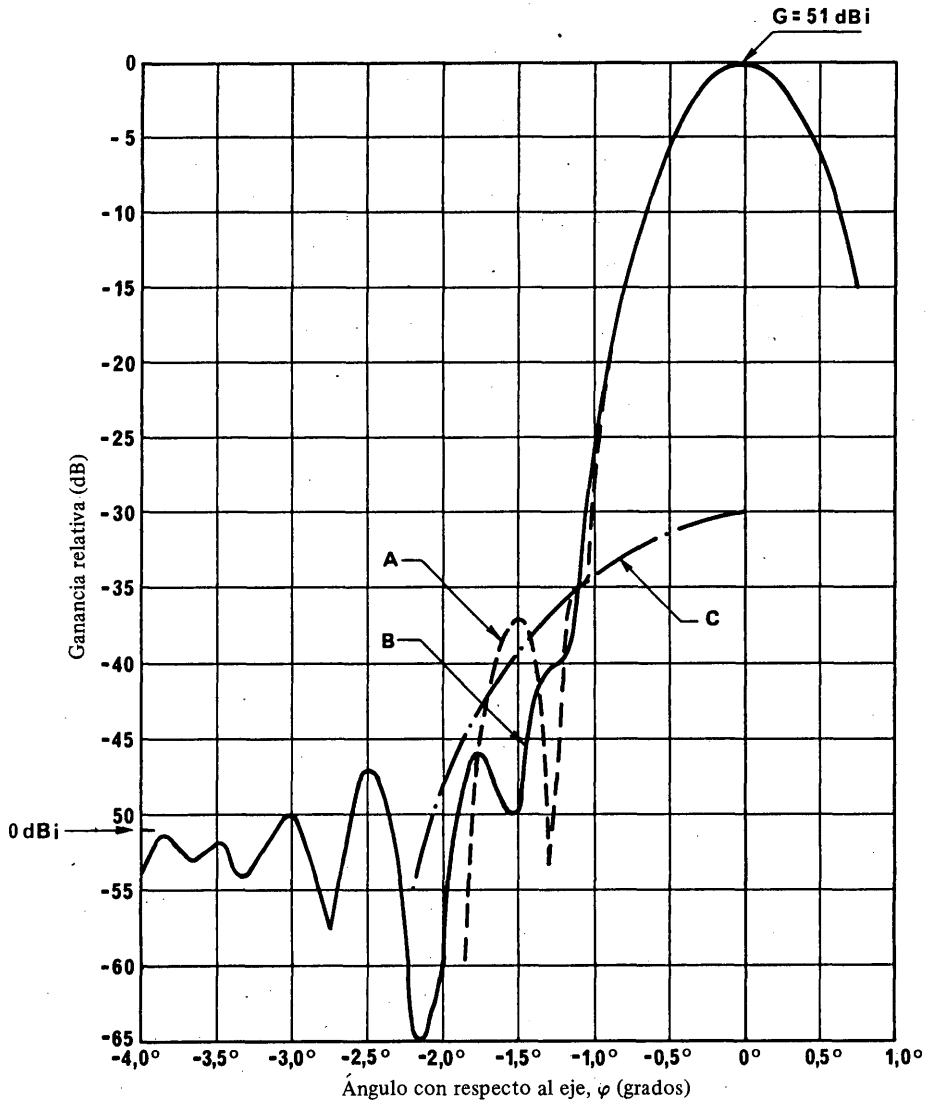


FIGURA 7 – *Diagrama de la envolvente de cresta de una antena Gregory de alimentador descentrado sin absorbedor de microondas ($D/\lambda = 66$; frecuencia = 25 GHz)*

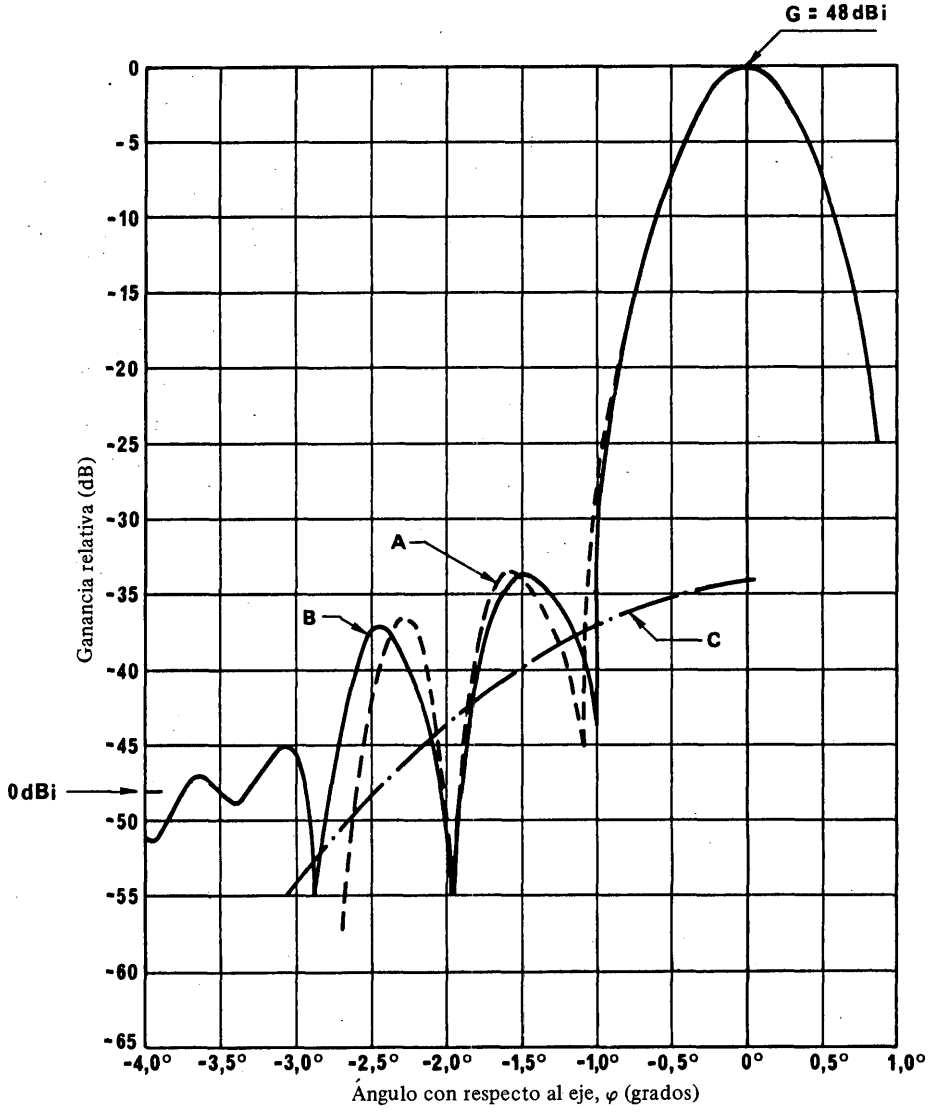
——— Plano E

– – – – Plano H

Se ha presentado otro reflector doble descentrado [Burdine y Wilkinson, 1980] para que funcione en las bandas de 6/4 GHz. Éste tiene un reflector principal de 7,6 m con una disposición óptica Gregory. La distribución de la abertura del reflector principal tiene una reducción gradual hacia el borde de -20 dB con absorbedor situado alrededor del reflector secundario. La fig. 8 muestra los lóbulos laterales más próximos y la fig. 9 la envolvente de los lóbulos laterales más separados. Ésta se aproxima a $32 - 50 \log \varphi$ a partir de 5° y a $32 - 40 \log \varphi$ a partir de 16°. Para ángulos mayores que 40° a partir del eje de puntería, el nivel máximo de radiación de los lóbulos laterales es de unos -25 dBi.



a) Banda de transmisión



b) Banda de recepción

FIGURA 8 – *Diagramas de lóbulos laterales muy próximos para una antena Gregory descentrada de doble reflector*

Curvas A : Diagrama predicho a partir de la distribución en la apertura

B : Diagrama medido

C : Valor medio de ganancia de los lóbulos laterales, generados por errores en la superficie de 3,5 mm, con un intervalo de correlación de 1 m

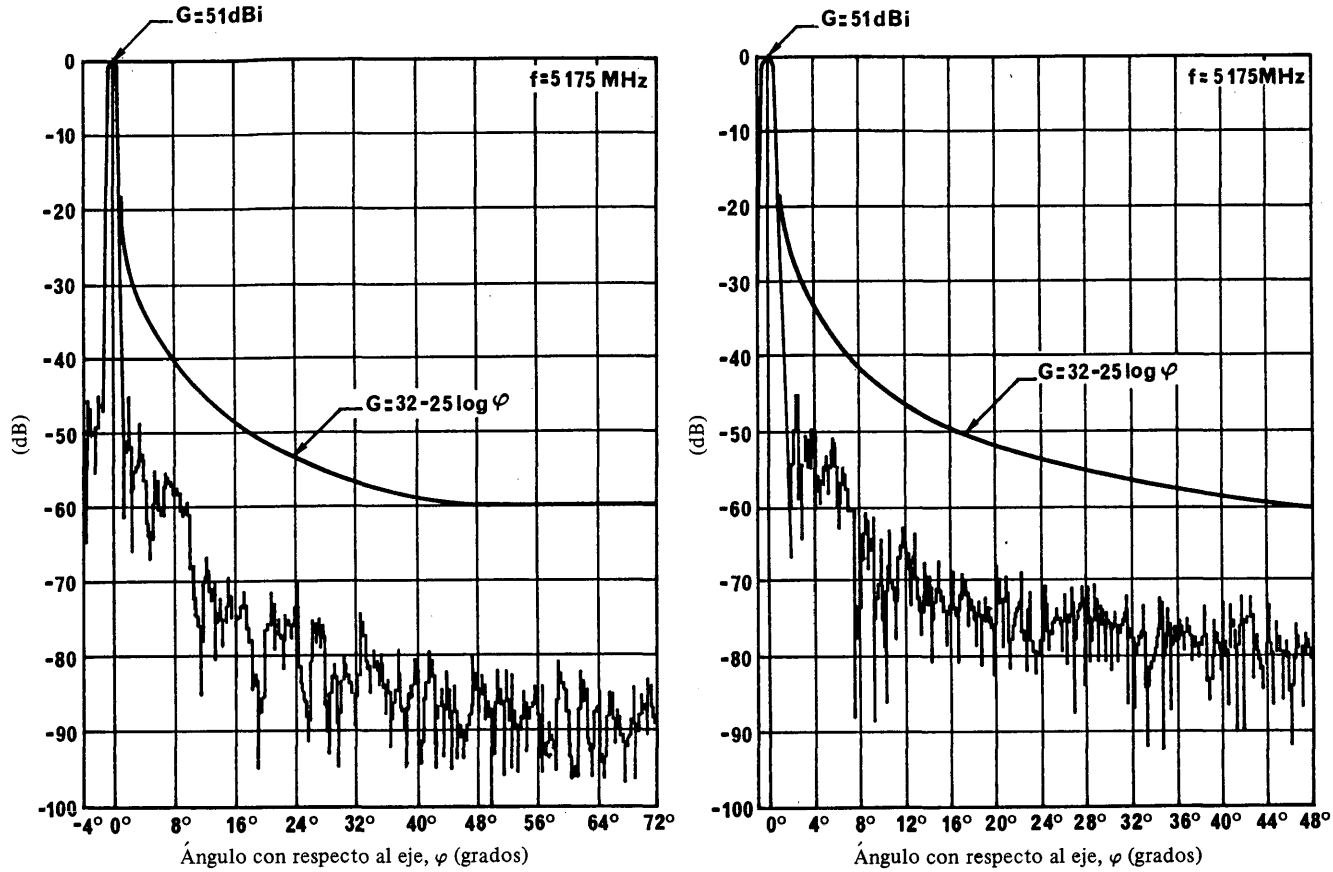


FIGURA 9 – *Diagramas de radiación medidos en la banda de transmisión para una antena Gregory descentrada de doble reflector*

Estos ejemplos demuestran las ventajas de un sistema sin bloqueo y los apartados siguientes describen los planteamientos teóricos que pueden aplicarse para soslayar los inconvenientes mencionados anteriormente y para mejorar los diagramas de radiación de los diseños básicos.

3.3 *Característica de polarización de los diseños de sección cónica*

Sin embargo, en una antena reflectora excéntrica, el campo inclinado tendrá un componente de polarización cruzada en el sistema coordenado del reflector, aunque es una polarización pura en el sistema coordenado orientado hacia su propio eje. Se ha demostrado [Rudge y Adatia, 1975; Jacobsen, 1977] que para una antena de un solo reflector, un mejor diseño del dispositivo de alimentación puede reducir o eliminar la componente de polarización cruzada indeseable y excluir el ángulo de barrido del haz en una antena excéntrica de polarización circular.

En el caso del sistema de doble reflector, se logra un grado de libertad adicional en la configuración geométrica. Para estos sistemas, en su forma más simple, los ejes del reflector principal y del subreflector son colineales. En consecuencia, para un alimentador prefectamente polarizado linealmente, con esta disposición puede establecerse mediante cálculo vectorial que las líneas de campo en la abertura del alimentador se distribuyen según una familia de líneas curvas en la abertura de la antena con una presencia implícita de componentes contrapolares (véase la fig. 10). Esta curvatura del campo debe, por lo tanto, eliminarse para producir una distribución simétrica del campo en la abertura puramente polarizada.

Mizuguchi y otros [1976] establecieron una relación geométrica para permitir optimizar un sistema de reflector doble con características contrapolares bajas. La relación viene dada por:

$$\cos \psi_0 \text{ (grados)} = \frac{(1 - B^2) \operatorname{sen} \alpha}{(1 + B^2) \cos \alpha - 2B}$$

donde B es la inversa de la excentricidad del reflector secundario. Los demás parámetros se muestran en la fig. 11.

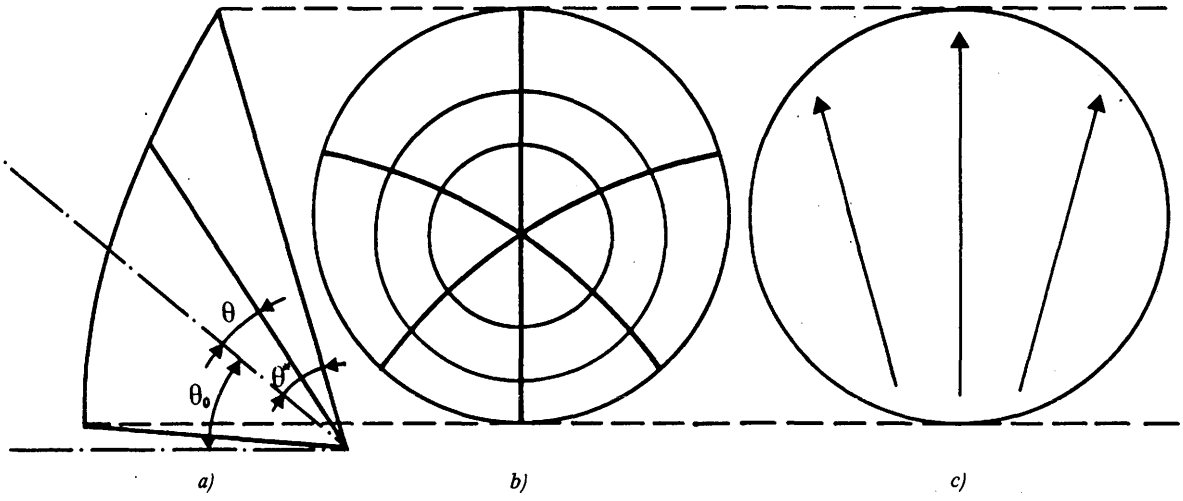


FIGURA 10

a) Abertura proyectada de un reflector parabólico descentrado
b) Proyección de círculos concéntricos en el plano de la abertura
c) Líneas de campo de la abertura para un alimentador primario polarizado linealmente

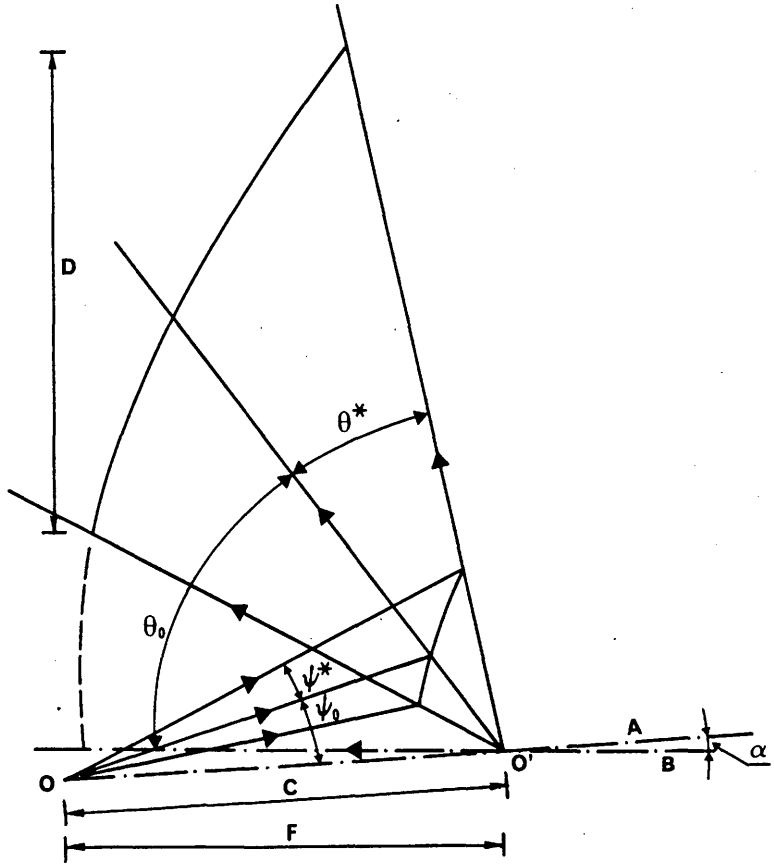


FIGURA 11 – *Geometría de la antena descentrada de doble reflector y parámetros*

A : Eje de la hipérbola
B : Eje de la parábola

3.4 *Característica de los diseños de reflector conformado*

Se ha demostrado [Westcott y Brickell, 1978] que no sólo se pueden diseñar las superficies de los reflectores para eliminar la componente contrapolar, sino que al mismo tiempo se puede ejercer un control sobre la distribución de iluminación de la abertura en el plano descentrado de la antena.

Diversos autores [Mittra y otros, 1982; Westcott y Brickell, 1978; Bjøtegaard y Pettersen, 1983], han publicado diferentes enfoques. Todos ellos formulan el problema en términos de ecuaciones diferenciales no lineales, simultáneas en derivadas parciales. Desde este punto existen diversos caminos para llegar a una solución. Un método utiliza integración numérica y presupone que no existe una solución general, si bien consigue soluciones aproximadas en casos importantes. Otro método adopta el enfoque de la solución exacta y resuelve una ecuación diferencial no lineal de segundo orden del tipo Monge-Ampere. En general los métodos pueden conducir a diseños descentrados tanto de tipo Cassegrain como Gregorian a partir de secciones cónicas básicas.

El procedimiento de síntesis para el diseño de antenas con reflectores dobles de alimentador descentrado [Bjøntegaard y Pettersen, 1983], permite conseguir una distribución prescrita de la iluminación de la apertura manteniendo una simetría rotacional de los frentes de fase, es decir una polarización cruzada despreciable. Este método se ha aplicado al diseño y fabricación de pequeñas antenas de estación terrena para las bandas 11-12 GHz y 14 GHz. Actualmente se dispone de antenas con diámetros de abertura de 1,8 m y 3,3 m, de gran eficacia, lóbulos laterales reducidos y una elevada discriminación por polarización cruzada. En la fig. 12 se muestra una diagrama de radiación acimutal típico medido.

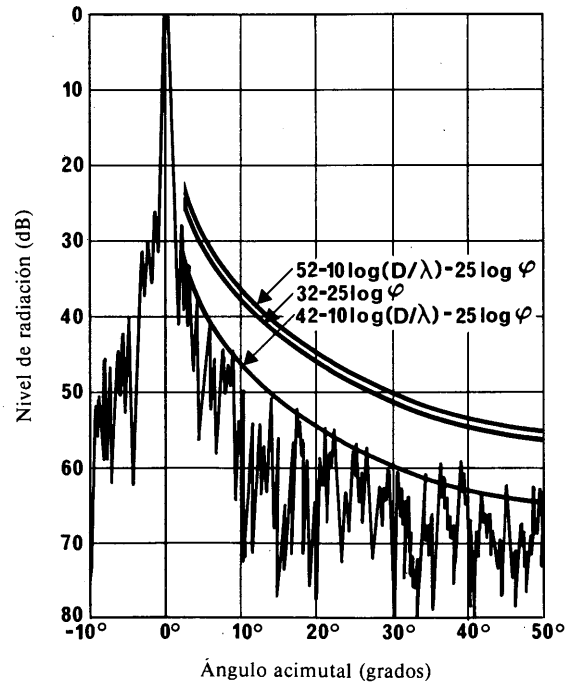


FIGURA 12 – *Diagrama de radiación acimutal de una antena Gregory conformada con alimentador descentrado (f = 12 GHz, D = 1,8 m, D/λ = 72)*

En la fig. 13 se muestra un ejemplo de diagrama de lóbulos laterales de una antena Cassegrain con alimentador descentrado en la cual se ha aplicado la técnica de conformación del reflector al subreflector y al reflector alimentado por guiaondas [Takano y otros, 1980a y 1980b].

Lee y otros [1979] y Westcott y Brickell [1978] describen cálculos que siguen los planteamientos anteriores con soluciones prácticas en todos los casos.

Con estos métodos de optimización es posible conseguir diseños que dan unas características muy buenas de polarización cruzada, y es evidente que en la mayoría de los casos las características limitativas serán las de la bocina de alimentación.

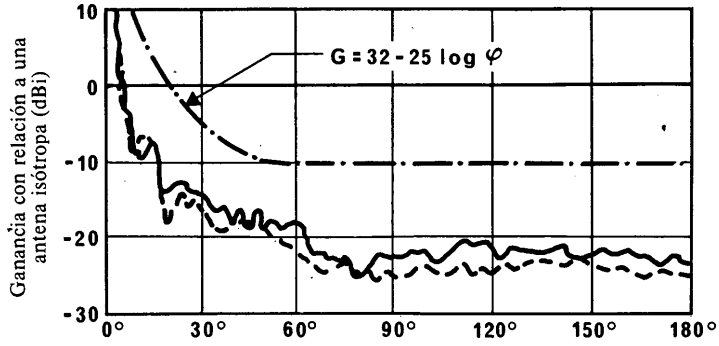


FIGURA 13 – *Diagramas de la envolvente de las crestas, medidos en una antena Cassegrain con alimentador descentrado (D = 11,5 m)*

——— f = 19,5 GHz (D/λ = 748)

— — — — f = 29,5 GHz (D/λ = 1131)

(Plano acimutal)

4. Resumen y conclusiones

Si se requiere que los niveles de lóbulos laterales, especialmente los cercanos al eje del haz, se hallen más de 5 dB por debajo del valor teórico dado por (32 – 25 log φ) para antenas cuyo diámetro sea menor que 150 longitudes de onda, entonces la configuración de doble reflector axisimétrica sufre limitaciones importantes debido al bloqueo de la abertura por el reflector secundario, la bocina del alimentador principal y los tirantes de sujeción. Sólo una atención muy cuidadosa para diseñar los detalles en estas zonas permitirá que tales antenas consigan características satisfactorias.

Aunque la geometría de cualquier sistema de doble reflector descentrado o asimétrico es más compleja que la de los sistemas anteriores, la supresión de todos los efectos de bloqueo proporciona mejoras fundamentales en las características de lóbulos laterales. Es más, es evidente que existen técnicas de diseño que pueden superar las limitaciones de las características de polarización cruzada hasta ahora experimentadas con las configuraciones descentradas. Estudios recientes de diseño y trabajos experimentales en antenas asimétricas han demostrado que se podría alcanzar el objetivo de la Recomendación 580 mediante antenas con diámetros menores que 150 longitudes de onda, con un margen apreciable [Claydon y otros, 1983; Bjøntegaard y Pettersen, 1983].

En el empeño de promover un uso eficaz de la órbita geoestacionaria es necesario llamar la atención de las administraciones sobre las limitaciones de las antenas pequeñas en lo que respecta a sus envolventes de lóbulos laterales. Para aliviar los problemas de compartición y coordinación de frecuencias con sistemas terrenales es muy deseable que las administraciones estimulen el desarrollo de antenas con mejores características de lóbulos laterales con respecto al eje.

Se invita a las administraciones a presentar datos sobre las características de antenas de estaciones terrenas pequeñas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BJØNTEGAARD, G. y PETTERSEN, T. [1983] An offset dual-reflector antenna shaped from near-field measurements of the feed horn: theoretical calculations and measurements. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-31, **6**, 973-977.

BURDINE, B. H. y WILKINSON, E. J. A. [noviembre de 1980] Low sidelobe earth station antenna for the 4/6 GHz bands. *Microwave J.*, Vol. II, 53-58.

CLAYDON, B., STEVENS, F. A., BUTCHER, M. E. y MEHLER, M. J. [abril de 1983] A low sidelobe offset Gregorian antenna for small earth stations. IEE Conf. Publ. No. 219, Part 1. IEE Third International Conference on Antennas and Propagation (ICAP'83), University of East Anglia, Norwich, Reino Unido.

HARRIS, A. B. [1978] The contribution of the reflector profile errors to antenna sidelobe radiation. *Electron. Lett.*, Vol. 114, **11**, 343-345.

JACOBSEN, J. [1977] On the cross polarization of asymmetric reflector antennas for satellite applications. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-25, 276-283.

JAMES, G. L. [1980] Analysis of Radiation Pattern and G/T for Shaped dual-reflector antennas. *Proc. IEE*, Vol. 127, Pt. H, 52-60.

LEE, J. J., PARAD, L. I. y CHU, R. S. [marzo de 1979] A shaped offset fed dual reflector antenna. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-27, **2**, 165-171.

MITTRA, R., HYJAZIE, F. y GALINDO-ISRAEL, V. [1982] Synthesis of offset dual reflector antennas transforming a given feed illumination pattern into a specified aperture distribution. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-30, **2**.

MIZUGUCHI, Y., AKAGAWA, M. y YOKOI, H. [octubre de 1976] Ofsset dual reflector antenna, IEEE Antennas and Propagation Society (AP-S) International Symposium, Mass., Estados Unidos de América.

RUDGE, A. W. y ADATIA, N. A. [27 de noviembre de 1975] New class of primary-feed antennas for use with offset parabolic-reflector antennas. *Electron. Lett.*, Vol. II, 597-599.

RUSCH y POTTER [1970] *Analysis of Reflector Antennas.* Academic Press, 96.

TAKANO, T., OGAWA, E., HORI, T. y SHINJI, M. [junio de 1980a] Offset Cassegrain earth station antenna for the Japanese domestic satellite communication system. *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-28, **6**, 883-889.

TAKANO, T., OGAWA, E., BETSUDAN, S. y SATO, S. [julio de 1980b] High efficiency and low sidelobe design for a large aperture offset reflector antenna *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-28, **4**, 460-466.

WESCOTT, B. S. y BRICKELL, F. [noviembre de 1978] Geometrical optics shaping of dual offset reflector for zero cross polarisation. IEE Conf. Publ. No. 195. IEE International Conference on Antennas and Propagation, Londres, Reino Unido.

BIBLIOGRAFÍA

WESCOTT, B. S. STEVENS, F. A. y BRICKELL, F. [febrero de 1981] GO synthesis of offset dual reflectors. *Proc. IEE*, Vol. 128, Pt H, **1**, 11-18.

INFORME 868-1 *

CONTRIBUCIONES A LA TEMPERATURA DE RUIDO DE UNA ANTENA RECEPTORA DE ESTACIÓN TERRENA

Mediciones de la temperatura de ruido de una antena

(Cuestión 13/4)

(1982-1986)

1. Introducción

La temperatura de ruido de una antena de estación terrena es uno de los factores que contribuyen a la temperatura de ruido de un sistema receptor y puede incluir contribuciones debidas a elementos atmosféricos tales como el vapor de agua, las nubes y las precipitaciones, así como el ruido procedente de fuentes extraterrestres, es decir, el ruido solar y el ruido cósmico. A la temperatura de ruido de la antena de estación terrena pueden contribuir asimismo el terreno y otras características del lugar en que ésta se encuentra ubicada, el ruido artificial y las señales interferentes, así como el ruido térmico generado por el sistema receptor que puede estar presente en los terminales de la antena. Muchos de los factores que contribuyen al ruido de la antena, particularmente los que dependen de las condiciones meteorológicas, no son estables, por lo que el ruido resultante mostrará cierta forma de distribución estadística en el tiempo. El debido conocimiento de esos factores y de su variación prevista ayudaría considerablemente a los proyectistas de estaciones terrenas, razón por la cual es necesario recoger información sobre las características de ruido de las antenas de las estaciones terrenas existentes bajo una forma que facilite su interpretación en caso de uso futuro.

El presente Informe consigna los resultados de las mediciones de la temperatura de ruido de antenas efectuadas a 11,45 GHz, 11,75 GHz y 17,6 GHz, 18,4 GHz, 18,75 GHz y 31,65 GHz. De los resultados medidos a 17,6 GHz y 11,75 GHz se ha derivado la distribución acumulativa de la temperatura y la relación entre la temperatura de ruido con cielo despejado y el ángulo de elevación.

2. Equipo de medición

Las mediciones de la temperatura de ruido de la antena se han efectuado en los Países Bajos utilizando una serie de radiómetros equipados con una antena Cassegrain de 10 m alimentada por una bocina corrugada. Estas mediciones se han realizado también en Japón utilizando radiómetros del tipo de adición de ruido y del tipo Dicke equipados con antenas Cassegrain de 13 m y de 10 m y de una antena Cassegrain de 11,5 m con alimentador descentrado.

En la República Federal de Alemania se efectuaron mediciones de ruido con una antena de 18,3 m de diámetro, utilizando el método de factor *y*, con cielo despejado.

---

* Este Informe debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 5.

3. Resultados de las mediciones

La fig. 1 muestra la distribución acumulativa en el tiempo de la temperatura de ruido de la antena medida en 11,75 GHz y 17,6 GHz. La temperatura de ruido indicada en la fig. 1 es el valor medido en el borde de salida de la bocina de alimentación.

La principal contribución a la temperatura de ruido de la antena es debida a la atenuación atmosférica. Otras contribuciones son las debidas a los efectos cósmicos y a la radiación procedente del suelo.

Las mediciones presentadas en la fig. 1 se han efectuado con un ángulo de elevación de la antena de 30°. El periodo de medición es el comprendido entre agosto de 1975 y junio de 1977. Las condiciones durante el periodo de medición pueden considerarse como típicas del régimen de precipitaciones en ese lugar.

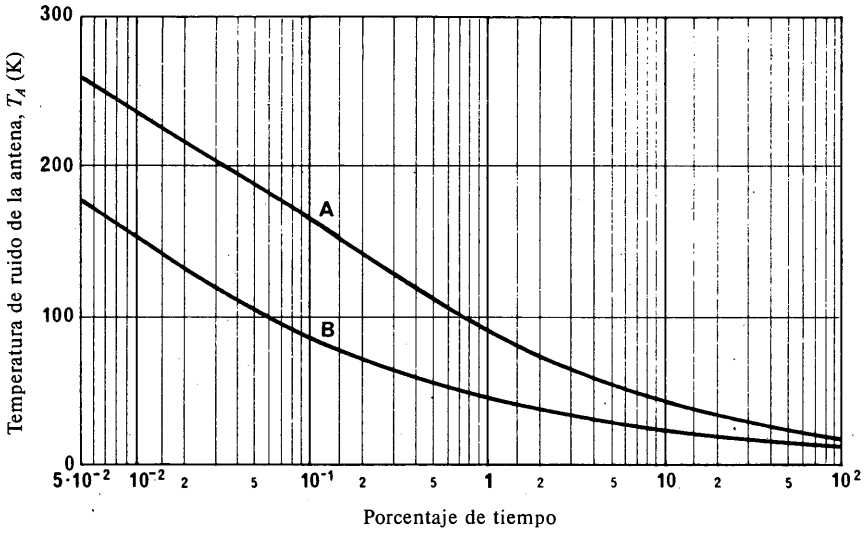


FIGURA 1 – *Temperatura de ruido de la antena medida como función del porcentaje de tiempo en que se ha rebasado cada nivel*

Curvas A: 17,6 GHz, 7200 horas
B: 11,75 GHz, 8100 horas
Ángulo de elevación: 30°

La fig. 2 muestra la dependencia de la temperatura de ruido de la antena con relación al ángulo de elevación en condiciones de cielo despejado. El valor de la temperatura de ruido de la antena de la fig. 2 corresponde al indicado en el fig. 1 para un porcentaje del 50% del tiempo. El análisis de los resultados de las mediciones indicados en la fig. 2 ha demostrado que la temperatura de ruido de la antena está constituida por una parte que depende del ángulo de elevación y un componente aproximadamente constante.

Este componente constante está constituida por:

- radiación cósmica de fondo en microondas cuyo valor alcanza unos 2,8 K [Penzias, 1968];
- ruido producido por la radiación de la tierra. Esta contribución varía ligeramente con el ángulo de elevación de la antena como consecuencia de las características de los lóbulos laterales del diagrama de radiación. De esta contribución se espera un valor comprendido entre unos 4 a 6 K;
- contribución de ruido debida a pérdidas óhmicas del sistema de antena, que es del orden de 0,04 dB. Se prevé que este componente dé un valor comprendido entre 3 y 4 K.

La parte de la temperatura de ruido de la antena que depende del ángulo de elevación tiene por causa las pérdidas debidas al agua y al oxígeno en la atmósfera y, a fin de estimar esta parte dependiente del ángulo de elevación, puede procederse a la aproximación de las curvas de puntos medidos de la fig. 2 mediante la siguiente función (véase el Informe 720) que ofrece una exactitud del 1% para ángulos de elevación mayores de 15°:

$$T_A = T_c + T_m (1 - \beta_o^{\operatorname{cosec} \alpha}) \qquad (1)$$

en donde:

T_A: temperatura de ruido de la antena,

T_c: parte constante de la temperatura de ruido,

T_m: temperatura media de radiación del medio absorbente,

β_o: coeficiente de transmisión de la atmósfera en la dirección del cénit,

α: ángulo de elevación de la antena.

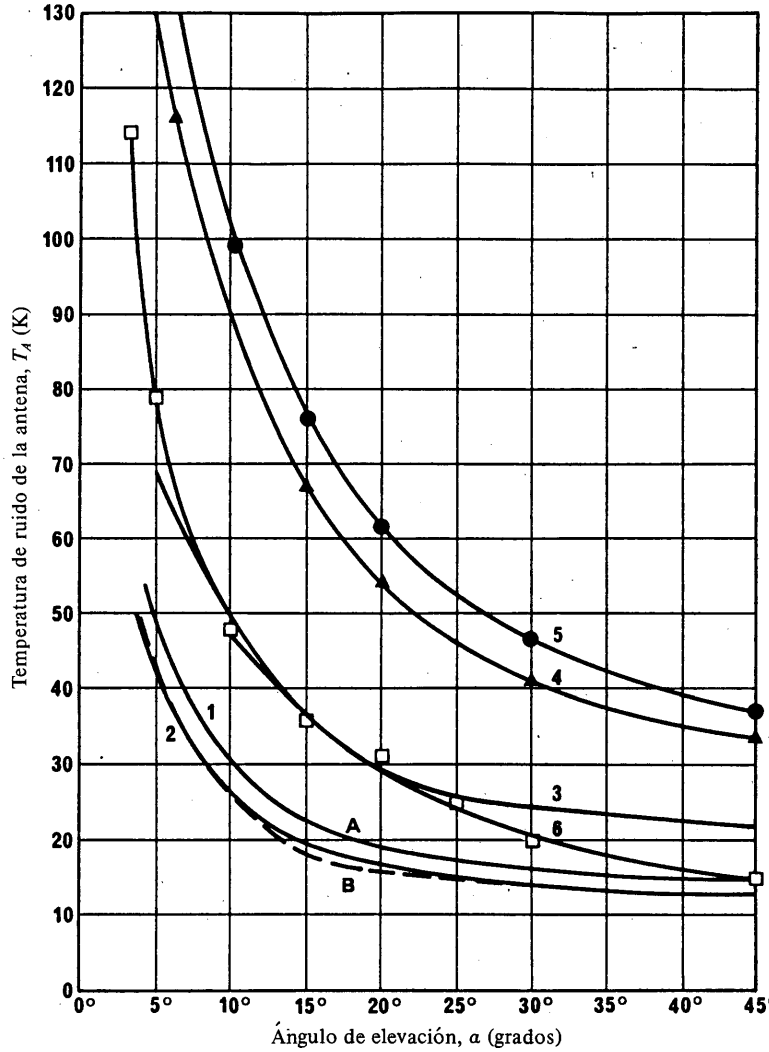


FIGURA 2 – *Temperatura de ruido de la antena (T_A) en función del ángulo de elevación (α) de la antena en condiciones de cielo despejado*

Nota 1. – Las curvas 1 a 6 se identifican con referencia al cuadro I.

Nota 2. – Las condiciones de medición fueron las siguientes:

Características	Temperatura (K)	Humedad relativa (%)	Humedad absoluta (g/m^3)	Presión barométrica (mbar)
Curvas 1 y 3	279	82	6	1016
Curva 2 A: Calculada B: Medida	294	51	10	1018
Curva 4 ▲: Medida	296	50	10	1006
Curva 5 ●: Medida	290	49	7	1013
Curva 6 □: Medida	281,5	66	6	1017

En la gama de ángulos de elevación comprendida entre 5° y 90°, las constantes de la función T_A son las indicadas en el cuadro I.

CUADRO I

Ref. N.° (véase la fig. 2)	Frecuencia (GHz)	Diámetro de la antena (m)	T_c (K)	β_0	Técnicas de medición	Estación de referencia
1	11,75	10	8,3	0,9858	Radiómetro	10 m OTS Países Bajos
2	11,45	18,3	7,3	0,988	Factor *y*	18,3 m OTS/IS-V República Federal de Alemania
3	17,6	10	8,3	0,9738	Radiómetro	10 m OTS Países Bajos
4	18,4	13	9,3	0,940	Radiómetro	13 m CS Japón
5	31,65	10	11,5	0,934	Radiómetro	10 m ECS Japón
6	18,75	11,5	4,5	0,970	Radiómetro	11,5 m CS Japón

Sobre la base de las constantes indicadas en el cuadro I, para $\alpha = 90°$ en la ecuación (1), el segundo término de esta expresión indica la temperatura del cielo en dirección del cénit debida a la atenuación atmosférica. La temperatura cenital de brillo puede obtenerse adicionando la temperatura cenital del cielo y la temperatura de ruido cósmico de fondo en microondas. En este caso particular, en el que las pérdidas atmosféricas son muy reducidas, se permite una adición simple.

La temperatura cenital del cielo puede también calcularse utilizando la humedad de la superficie terrestre como parámetro de entrada (véase el Informe 720). Los resultados de este cálculo y el valor encontrado por medición se resumen en el cuadro II.

CUADRO II

Frecuencia (GHz)	Temperatura del cielo en dirección del cénit		Mediciones de la temperatura cenital de brillo (K)
	Cálculo (K)	Medición (K)	
11,75	3,2	3,9	6,7
17,6	7,8	7,2	10,0
18,4	14,7	16,7	19,5
31,65	14,3	18,3	21,1

Nota. – Se invita a las administraciones a presentar mayores datos sobre la temperatura de ruido de las antenas receptoras de estación terrena en una forma que permita atender la Cuestión 13/4.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PENZIAS, A. A. [septiembre de 1968] Measurements of cosmic microwave background radiation. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. MTT-16, **9**, 608-611.

INFORME 553-3

EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTACIONES TERRENAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 20/4)

(1974-1978-1982-1986)

1. Introducción

Además de una adecuada organización responsable de la explotación y mantenimiento de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite, son necesarios medios técnicos para el ajuste y mantenimiento de los enlaces por satélite y del equipo de telecomunicaciones instalado en las estaciones terrenas.

Para efectuar las mediciones necesarias en los enlaces por satélite, con un solo destino o con destinos múltiples, es necesaria una estrecha colaboración entre las estaciones terrenas. Tendrán que efectuarse mediciones detalladas de extremo a extremo al ponerse en servicio los enlaces, y también durante la explotación del sistema.

Los medios técnicos aludidos consisten en aparatos de medida y de prueba, con características basadas en las necesidades de explotación y en los objetivos de calidad especificados para el sistema del servicio fijo por satélite de que se trate.

Por razones de economía, puede ser conveniente diseñar estaciones terrenas que funcionen sin personal técnico de supervisión durante periodos que oscilen de unas horas al día a varios meses. Dichas estaciones terrenas están ya en explotación en las redes regionales.

2. Compatibilidad de los equipos

Para efectuar las mediciones con la precisión exigida y poder interpretar y comparar correctamente sus resultados, se requieren aparatos de medida compatibles en todas las estaciones terrenas de un mismo sistema. Además, en circunstancias especiales, por ejemplo, cuando una portadora no pueda recibirse en bucle desde el satélite, sería muy útil un dispositivo de «retransmisión automática» de los resultados de medida, lo que requeriría también la compatibilidad de métodos y de equipos.

Para obtener tal compatibilidad, las características de los aparatos de medida se han incluido en algunos casos en las Recomendaciones del CCIR y del CCITT (por ejemplo, la Recomendación 482). Se ha llegado también a un acuerdo internacional acerca de otros equipos, por ejemplo, analizadores de enlaces de microondas como los utilizados en el sistema INTELSAT. Además, se hace referencia a la Publicación 510 de la CEI, en la que se definen métodos de medición para estaciones terrenas de satélite.

Es importante que las administraciones faciliten documentos técnicos para poder preparar las mejores especificaciones posibles basadas en consideraciones económicas y técnicas. Por ejemplo, en el anexo I se exponen las razones en que se funda la especificación de los filtros descritos en la Recomendación 482 y el anexo II trata la compatibilidad de procedimientos y equipos para efectuar mediciones de parámetros de transmisión en FI y en banda de base.

3. Utilización del equipo

El problema de la adquisición y almacenamiento de aparatos de medida en las estaciones terrenas podría simplificarse si fuera posible reducir al mínimo los aparatos necesarios. Por consiguiente, puede pensarse en la utilización de instrumentos multifunciones, sin descuidar lo que concierne a la fiabilidad y disponibilidad de tales instrumentos. Por ejemplo, al considerar los aparatos de medida de señales de video para uso en los enlaces intercontinentales del servicio fijo por satélite, es conveniente que estos aparatos puedan utilizarse para mediciones en sistemas de televisión en blanco y negro 525/60 y 625/50, y en sistemas de televisión en color NTSC 525/60, PAL 625/50 o SECAM 625/50.

Sería posible la utilización óptima de los aparatos de medida en una estación terrena si la adquisición de esos aparatos se hiciese con arreglo a especificaciones uniformes internacionales. Se evitarán así inversiones considerables en equipo de medida que puede quedar anticuado al cabo de un corto periodo de uso.

4. Equipo automático de medida

Al ir ampliándose el sistema, es de esperar que las numerosas mediciones necesarias para facilitar su explotación requieran aparatos de medida que:

- reduzcan considerablemente el tiempo de medición;
- disminuyan sensiblemente los errores humanos durante las mediciones;
- requieran un mínimo de control manual.

En consecuencia, cada vez tendrán mayor importancia en las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite los aparatos automáticos de medida, ya que por lo general se prestan tanto para la utilización automática como manual.

Debiera ser posible el transporte y empleo de estos aparatos de medida por el personal técnico encargado de efectuar las operaciones normales de mantenimiento de las estaciones explotadas sin supervisión. Los equipos de medida modernos satisfacen estas condiciones. Ello se demostró en una prueba práctica realizada entre dos estaciones terrenas, según se indica en el anexo III.

5. Lista de equipos

Por lo que respecta a los sistemas MDF-MF-AMDF, se han preparado listas típicas de equipo para ciertos sistemas específicos [INTELSAT, 1971].

6. Diseño de estaciones terrenas explotadas sin supervisión (no atendidas)

Una manera de abordar el diseño de estaciones terrenas explotadas sin supervisión consiste en:

- diseñar desde un principio los equipos para que respeten las características nominales durante el funcionamiento normal, sin necesidad de introducir una cadena redundante como reserva pasiva;
- cuidar de que una avería en un elemento cualquiera de un subconjunto no dé lugar a una interrupción total de la función de este subconjunto, sino solamente a una degradación de sus características;
- clasificar determinados parámetros de manera que se asegure la continuidad del servicio a pesar de las averías que puedan producirse en algunos subconjuntos;
- reducir al mínimo los elementos de telemando y de control, y diseñarlos de modo que tengan una fiabilidad bastante superior a la de los elementos corrientes de la estación.

El análisis de los objetivos de disponibilidad y de calidad de servicio requeridos debiera determinar la cantidad y el tipo de los elementos de telemando y de control de una estación explotada sin supervisión.

Guillarme y Penicaud [1975], Lombard y Viana [1972] sugieren posibles modificaciones de los parámetros de transmisión para poder mantener el servicio en condiciones de degradación del equipo, en tanto que Plottin [1975] examina brevemente métodos que pueden utilizarse para detectar averías, formular instrucciones y asegurar la supervisión a distancia de las características esenciales de transmisión.

Si una pequeña estación terrena no atendida carece de equipo independiente para la transmisión de señales de comprobación a la estación central o para la recepción desde esa estación, puede utilizarse el propio enlace por satélite para la comprobación y el control a distancia de las estaciones desde un centro de control mediante un canal telefónico activado intermitentemente. Esto es técnicamente factible sin grandes problemas, pero los requisitos de gran disponibilidad pueden implicar la necesidad de redundancia de todas las unidades funcionales esenciales y la conmutación automática en el caso de avería.

Un ejemplo del sistema de verificación y control es el concebido para la red de estaciones terrenas del sistema intra-empresa TELECOM-1. Esas estaciones terrenas se instalarán en las proximidades inmediatas de los locales del usuario y no requerirán personal, efectuándose la supervisión desde centros regionales. Una estación terrena dispone de un robot local de gestión que comprende un microprocesador con las correspondientes unidades de memoria, que permite extraer los parámetros de gestión necesarios y presentarlos en pantalla local o remotamente en un centro de gestión. Por ejemplo, potencia de entrada y salida de los amplificadores de gran potencia, alarmas, funcionamiento o no del equipo, proporción de bits erróneos, etc. El centro de gestión está provisto de un minicomputador que almacena y procesa los datos sobre el estado en que se encuentra las estaciones que controla, y produce datos logísticos de la estación necesarios para su mantenimiento y servicios de apoyo. Esos equipos de gestión permiten instalar redes que comprenden un gran número de estaciones terrenas explotadas sin supervisión, y las importantes economías realizadas en los costos de explotación compensan considerablemente los gastos adicionales que entraña esa instalación en las estaciones terrenas.

Los modernos sistemas de comprobación técnica basados en el empleo de microcomputadores ofrecen la posibilidad de comprobar de manera permanente o temporal estaciones terrenas no atendidas desde una estación central de control. La experiencia obtenida con las estaciones de RAISTING 4 y 5 y USINGEN 1 ha demostrado que los sistemas de comprobación técnica multinivel con ayuda de microcomputadores son particularmente adecuados para esta finalidad. El diseño modular, por ejemplo, de los sistemas de 3 niveles proporciona suficiente flexibilidad para la adaptación a los requisitos operacionales y permite una división razonable de tareas entre el centro y las estaciones terrenas asociadas.

Las siguientes funciones pudieran ser realizadas por los diferentes niveles:

El primer nivel es el nivel de equipo. Proporciona alarmas e informes sobre las condiciones del equipo, instrucciones de conmutación y de ajuste y recibe interrogación sobre las condiciones del equipo.

El segundo nivel es el nivel de estación terrena en el que se obtiene y evalúa información más amplia sobre las condiciones del equipo a partir de los informes de cada unidad. Las alarmas o modificaciones de las condiciones relativas a los equipos están registradas en este nivel por medio de una impresora.

El tercer nivel representa la estación central para el telecontrol de varias estaciones terrenas asociadas. La estación central supervisa los servicios (relaciones de tráfico) encaminados por satélite y cumple otras funciones, tales como conmutación de servicio, que se prestan a la centralización. Las instrucciones de conmutación o control de equipos pueden realizarse también desde este nivel.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GUILLARME, P. y PENICAUD, E. [11-13 de noviembre de 1975] Organisation d'un module d'interface AMRT à accès numérique réalisant la concentration de circuits par interpolation de la parole. Troisième Colloque international sur les télécommunications numériques par satellite. Kyoto, Japón.

INTELSAT [1971] Satellite system operations guide. Vol. II.

LOMBARD, D. y VIANA, O. [28-30 de noviembre de 1972] Concentration de la parole et accès multiple. Deuxième Colloque international sur les télécommunications numériques par satellite. París, Francia.

PLOTTIN, G. [1975] Systèmes de réception à faible bruit et d'amplification de puissance pour stations terriennes sans surveillance. *Rev. des Télécomm.*, **50**, 160.

ANEXO I

ELECCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS FILTROS PARA LAS MEDICIONES DE LA CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO QUE UTILIZAN SEÑALES DE PRUEBA DE RUIDO BLANCO

Al considerar las especificaciones de los filtros utilizados para las mediciones de la calidad de funcionamiento con ruido blanco, deben tenerse en cuenta dos criterios principales:

- la frecuencia central;
- las características de la anchura de banda.

1. Al elegir la frecuencia central hay que averiguar si se ha generalizado ya el uso de la frecuencia adecuada a la capacidad de canales de que se trata (véase el cuadro II de la Recomendación 482-2).

Cuando hayan de elegirse frecuencias centrales no especificadas aún, las frecuencias preferidas deben ser las que puedan utilizarse para el mayor número posible de capacidades de canales. De necesitarse una nueva frecuencia de medida más elevada, y si no se ha recomendado ninguna frecuencia en la gama comprendida entre 0,9 y 0,965 de la frecuencia de corte efectiva, deberá elegirse una frecuencia de medida que sea el 0,95 aproximadamente de la frecuencia de corte efectiva del filtro de paso bajo.

2. Al especificar las características de anchura de banda de los nuevos filtros, habrá de elegirse entre filtros de inductancia y capacidad o filtros de cuarzo. Para frecuencias superiores a 3886 kHz, parece conveniente el uso de filtros de cristal de cuarzo.

La fig. 1 muestra la anchura de banda (± kHz) de los distintos filtros de banda eliminada enumerados en el cuadro II de la Recomendación 482. Las curvas representadas muestran que con una serie de curvas generalizadas pueden obtenerse los diferentes valores y que, por consiguiente, pueden leerse directamente cualesquiera especificaciones de nuevos filtros en el diagrama. Por ejemplo, trazando una línea vertical desde la frecuencia central del filtro de 185 kHz, se cortarán las curvas en puntos que definen las siguientes anchuras de banda: ± 17, ± 5, ± 2,2, ± 1,8 y ± 1,5 kHz. Estos son precisamente los valores que pueden leerse, de derecha a izquierda, en el cuadro II.

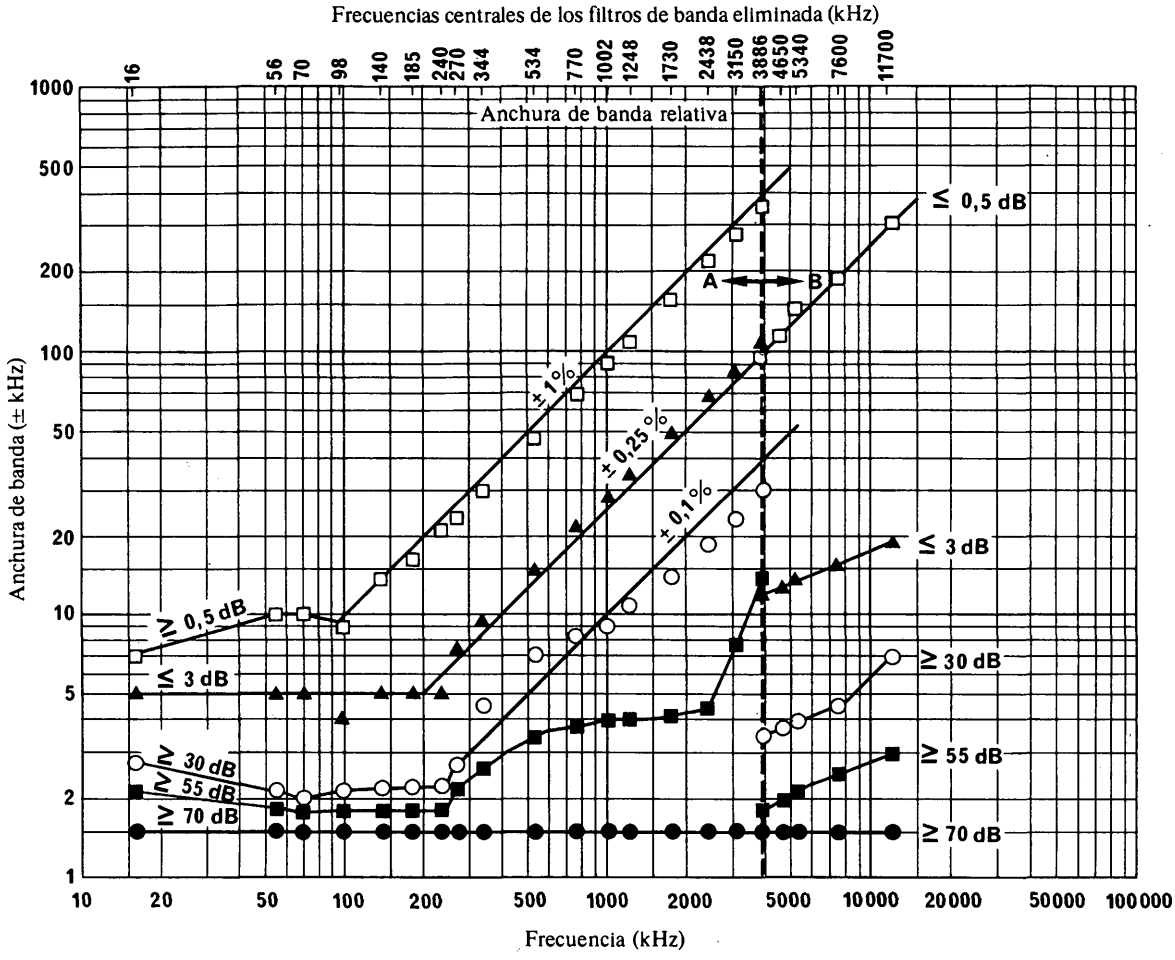


FIGURA 1 — *Anchura de banda (en ± kHz) de los filtros de banda eliminada mencionados en el cuadro II de la Recomendación 482*

A: Filtros del tipo inductancia-capacidad
B: Filtros de cristal de cuarzo

ANEXO II

COMPATIBILIDAD DE PROCEDIMIENTOS Y DE EQUIPOS UTILIZADOS PARA MEDIR PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN EN FI Y EN BANDA DE BASE EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

1. Introducción

Es necesario medir los parámetros de transmisión o las distorsiones tanto de una sola parte como de todo el sistema de transmisión, siendo lo segundo la medición de un enlace con inclusión de uno o varios satélites. Esto significa que el equipo de medición utilizado a este fin y producido por diferentes fabricantes debe ser compatible con los procedimientos de medición y parámetros importantes, tales como las frecuencias.

2. Compatibilidad de los procedimientos de medida

Durante varios años, el Subcomité 12E de la CEI se ha esforzado en normalizar los procedimientos de medida correspondientes a todos los niveles de frecuencia: en banda de base, frecuencia intermedia (FI) y radiofrecuencias (RF).

La Publicación 510 de la CEI describe los métodos de medida para equipos radioeléctricos utilizados en las estaciones terrenas de satélite. La Publicación 487 trata de los métodos de medida para equipos utilizados en radioenlaces terrestres. Estas publicaciones definen los mismos procedimientos de medida para ambos grupos de usuarios, asegurando su compatibilidad.

3. Compatibilidad de las frecuencias

Los procedimientos de medida de distorsión mencionados anteriormente utilizan una baja frecuencia de barrido, f_S, y varias frecuencias de modulación, f_M, más altas. Las medidas del enlace pueden llevarse a cabo únicamente si se utilizan las mismas frecuencias de barrido y de modulación para el transmisor y el receptor.

3.1 *Normas existentes*

La compatibilidad de los equipos de medida fabricados por las diferentes empresas para la zona cubierta por el sistema INTELSAT, se aseguró por medio de las siguientes definiciones, indicadas en el cuadro I.

CUADRO I – *Frecuencias de INTELSAT*

Frecuencia	Valor	Tolerancia	Parámetros medidos
Frecuencia de barrido	18 Hz	±5%	–
Frecuencia de modulación	92,5926 kHz 277,778 kHz	$\pm 20 \times 10^{-6}$ $\pm 20 \times 10^{-6}$	Distorsión no lineal y de retardo de grupo

Se han aceptado por INTELSAT las dos frecuencias subportadoras de crominancia de uso corriente.

La frecuencia central utilizada para las medidas en FI es de 70 MHz.

A lo largo de varias generaciones de equipos de medida para sistemas de relevadores radioeléctricos se han preferido determinadas frecuencias de medición y sería provechoso ampliar estas frecuencias para cubrir los sistemas de telecomunicaciones por satélite. Las frecuencias preferidas se indican en el cuadro II.

CUADRO II – *Frecuencias de medición utilizadas en los sistemas de relevadores radioeléctricos terrenales*

Frecuencia de barrido	Frecuencias de modulación	Frecuencias centrales de FI
70 Hz	83,333; 250; 500 kHz 2,4; 5,6; 8,2; 12,39 MHz 3,58 ó 4,43 MHz (opcionales)	35; 70; 140 MHz

3.2 *Ampliación de las normas de frecuencia existentes*

Mientras que para los sistemas de radioenlaces terrenales se dispone de un número suficiente de frecuencias de modulación, para los sistemas de satélite se necesitan dos frecuencias adicionales, a saber:

- frecuencias de modulación altas para las medidas de fase y ganancia diferencial;
- una frecuencia de modulación baja definida, por debajo de 60 kHz, para las medidas de no linealidad y distorsión por retardo de grupo de los sistemas más recientes de 12 canales.

Se proponen los valores preferidos para los sistemas de satélite que figuran en el cuadro III.

CUADRO III – *Frecuencias propuestas por el sistema INTELSAT y frecuencias adicionales del cuadro II*

Frecuencia	Valor	Tolerancia	Parámetros medidos
Frecuencia de barrido	18 Hz, 70 Hz	±5%	–
Frecuencias de modulación	55,5556 kHz 92,5926 kHz 277,778 kHz	$\pm 20 \times 10^{-6}$ $\pm 20 \times 10^{-6}$ $\pm 20 \times 10^{-6}$	Distorsión no lineal y de retardo de grupo
Frecuencias de modulación opcionales	3,58 MHz 4,43 MHz 8,2 MHz	$\pm 20 \times 10^{-6}$ $\pm 20 \times 10^{-6}$ $\pm 20 \times 10^{-6}$	Ganancia y fase diferenciales

Se señala que para los sistemas que tienen bandas muy estrechas conviene utilizar fracciones enteras de las frecuencias de modulación definidas anteriormente.

Para los transpondedores cuya anchura de banda excede de 36 MHz puede resultar necesario disponer de una frecuencia intermedia más alta. Con este propósito parece conveniente utilizar la frecuencia de 140 MHz definida en la Recomendación 403.

ANEXO III

AJUSTE POR COMPUTADOR DE UN RADIOENLACE DE SATÉLITE

En el punto 7 del Volumen II del Manual de INTELSAT «Satellite Systems Operations Guide» (SSOG) se describe una prueba típica de ajuste.

El cuadro IV muestra las pruebas que deben realizarse entre dos estaciones terrenas (puntos 7.2.2 a 7.2.9).

CUADRO IV – *Pruebas de ajuste y equipo necesario*

Punto del SSOG	Título	Tipo de equipo de prueba (1)	Observaciones
7.2.1	Frecuencia de la portadora de RF, función de dispersión de energía, p.i.r.e. y (C/N)		Prueba en la estación con equipo de comprobación técnica
7.2.2 7.2.3	Respuesta en frecuencia FI-FI Respuesta en retardo de grupo FI-FI	Un aparato para efectuar mediciones en el radioenlace (analizador de enlace de microondas (AEM))	Pruebas de estación terrena a estación terrena
7.2.4 7.2.5	Desviación del tono de prueba y nivel de la banda de base Nivel de la señal piloto de continuidad a 60 kHz	Un aparato de medición del nivel	
7.2.6	Respuesta en no linealidad BB-BB	Un aparato para efectuar mediciones en el radioenlace (analizador de enlace de microondas (AEM))	
7.2.7 7.2.8	Respuesta en frecuencia BB-BB Espectro de ruido BB-BB	Un aparato de medición del nivel	
7.2.9	Carga de ruido blanco	Un aparato de medición del ruido blanco	

(1) Todos los equipos han de ser controlables a distancia mediante un circuito ómnibus que responda a las normas CEI 625 o IEEE 488.

Configuración y procedimiento para las pruebas prácticas en julio de 1984.

La fig. 2 es un diagrama de bloques que muestra las configuraciones de la prueba, idénticas en las dos estaciones terrenas de Raisting (República Federal de Alemania) y Ceduna (Australia).

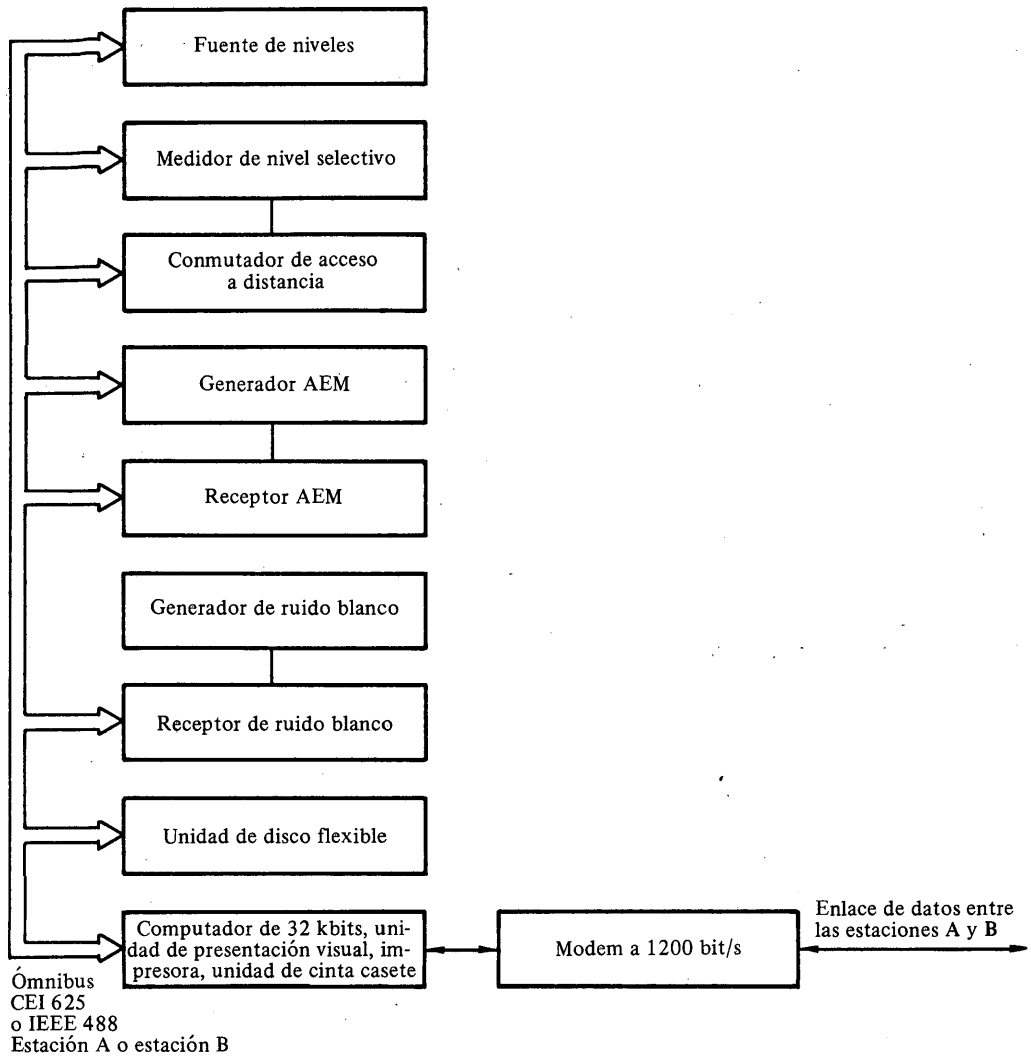


FIGURA 2 – *Configuraciones de prueba en ambas estaciones terrenas (A y B)*

En cualquier momento, una estación actuaba de estación directora y la otra de subordinada, o viceversa. La estación directora era siempre la estación receptora y la subordinada, la estación de origen.

Todas las calibraciones iniciales de los instrumentos de las estaciones directora y subordinada fueron efectuadas por el computador de la estación directora.

Todo el sistema funcionó con un diálogo amplio en «texto claro» con el computador de la estación directora. En ambos computadores (director y subordinado), figuraban instrucciones claras en cuanto a las operaciones manuales que debía efectuar el operador en cada fase particular del proceso de medición.

Los computadores se comunicaban entre sí mediante un enlace de datos a 1200 bit/s.

Para conectar el sistema de medición con los puntos de prueba del sistema de telecomunicaciones, así como para conmutar la señal piloto de continuidad, los circuitos de preacentuación y desacentuación y la función de dispersión de energía, se utilizaron métodos manuales, que se utilizarán también en el futuro.

Además de un ahorro de tiempo considerable, se logró una notable seguridad de las mediciones, lo que constituye una ventaja adicional. Era prácticamente imposible cometer errores en los ajustes ya que todos ellos se realizaban automáticamente según instrucciones de diálogo y, en casos críticos, por medio también de un bucle de control (en la estación) con el envío de una señal de acuse de recibo al computador de la estación directora.

RECOMENDACIÓN 481-2

MEDICIONES DE RUIDO EN TRÁFICO REAL PARA SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE PARA TELEFONÍA CON MULTIPLAJE POR DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA

(Cuestión 20/4)

(1974-1978-1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que las mediciones por medio de un generador que produzca un ruido blanco (véase la Recomendación 482) sólo son posibles si el canal radioeléctrico considerado no se halla en explotación;

b) que no pueden retirarse del servicio a voluntad, para las mediciones, los sistemas que transmiten telefonía multicanal;

c) que no se dispone de canales de reserva, semejantes a los utilizados en los sistemas terrenales de relevadores radioeléctricos, para fines de mantenimiento;

d) que las mediciones de mantenimiento relativas al ruido total (ruido térmico y ruido de intermodulación) son útiles para determinar la calidad de funcionamiento de un sistema y deben hacerse durante la explotación;

e) que para efectuar estas mediciones conviene situar los canales de medida fuera de la banda total de la señal multicanal;

f) que, cuando estos canales de medida están situados fuera de la banda total de la señal multicanal, deben estar lo más cerca posible de las frecuencias límite de esta banda, a fin de poder medir los productos de intermodulación debidos a la no linealidad del sistema;

g) que, además, para facilitar la construcción de los filtros y hacerla más económica, los canales de medida no deben estar demasiado cerca de estos límites;

h) que las mediciones efectuadas en canales situados un 10%, aproximadamente, por encima del límite superior de la banda total de la señal multicanal están, por lo general, influenciados por las variaciones del ruido térmico y de intermodulación debidas a los circuitos de los equipos que funcionan en radiofrecuencia y en frecuencia intermedia;

j) que, por regla general, hay que emplear filtros supresores de banda a la entrada del sistema para reducir el ruido proveniente del circuito de entrada en las bandas ocupadas por los canales de medida de ruido, y que será necesario especificar la calidad mínima de funcionamiento de estos filtros, tanto en la banda atenuada como en los extremos de la banda total de la señal multicanal,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que el ruido que aparece en los enlaces del servicio fijo por satélite en condiciones de tráfico real, se mida a la salida del sistema en bandas relativamente estrechas situadas inmediatamente por encima de la banda total de la señal multicanal.

2. Que las frecuencias centrales de estos canales de medida sean las indicadas en el cuadro I.

3. Que la atenuación del filtro de banda eliminada, a la entrada del sistema, exceda de 50 dB en una banda mínima de $\pm$ (0,005 f + 2) kHz (siendo f la frecuencia central en kHz del canal de medida), y que la atenuación suplementaria originada por la inserción de los filtros de banda eliminada en el extremo superior de la banda total de la señal multicanal no sea más de 0,3 dB superior a la atenuación suplementaria causada en el centro de la banda de dicha señal.

4. Que la banda efectiva de los filtros de paso de banda del equipo de recepción sea lo suficientemente estrecha para que pueda emplearse con el filtro de banda eliminada anteriormente indicado.

5. Que, siempre que se utilicen bandas de frecuencias distintas o que los métodos de medición sean distintos, se celebren acuerdos particulares entre las administraciones interesadas que utilicen los mismos sistemas espaciales del servicio fijo por satélite.

CUADRO I

Capacidad del sistema (número de canales)	Límites de la banda ocupada por los canales telefónicos (kHz)	Frecuencias centrales, *f*, de los canales de medida del ruido (kHz)
12	12- 60	66
24	12- 108	116
36	12- 156	172
48	12- 204	224
60	12- 252	277
72	12- 300	331
96	12- 408	448
132	12- 552	607
192	12- 804	884
252	12-1 052	1 157
312	12-1 300	1 499
372	12-1 548	1 730
432	12-1 796	1 976
492	12-2 044	2 248
552	12-2 292	2 438
612	12-2 540	2 794
792	12-3 284	3 612
972	12-4 028	4 430
1 092	12-4 892	5 381
1 200	12-5 340	5 874
1 332	12-5 884	6 300
1 872	12-8 120	8 932

RECOMENDACIÓN 482-2

MEDICIÓN DE LA CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO MEDIANTE UNA SEÑAL DE ESPECTRO CONTINUO UNIFORME EN SISTEMAS PARA TELEFONÍA CON MULTIPLAJE POR DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 20/4)

(1974-1978-1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que conviene medir la calidad de funcionamiento de los enlaces del servicio fijo por satélite para telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia en condiciones lo más cercanas posible a las de explotación;

b) que las propiedades estadísticas de una señal de espectro continuo uniforme (ruido blanco) son análogas a las de una señal múltiplex cuando el número de canales no es demasiado reducido;

c) que está ya muy generalizado el empleo de una señal de espectro continuo uniforme para medir la calidad de funcionamiento de tales enlaces;

d) que es necesario normalizar las frecuencias y las anchuras de banda de los canales de medida que han de emplearse para esas mediciones;

e) que, por razones de compatibilidad internacional, es necesario normalizar la atenuación mínima y la anchura de banda de los filtros de banda eliminada que pueden requerirse en el generador de ruido blanco;

f) que, para la planificación de circuitos telefónicos, el CCITT ha indicado el valor medio de la potencia de las señales vocales en una banda de base de un sistema telefónico multicanal que ha de tenerse en cuenta durante la hora cargada (Recomendación G.223 del CCITT, *Libro rojo*, Vol. III.2),

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que la medición de la calidad de funcionamiento de los enlaces del servicio fijo por satélite para telefonía con multiplaje por distribución de frecuencia se efectúe por medio de una señal de espectro continuo uniforme en la banda de frecuencias utilizada para los canales telefónicos.

2. Que el nivel de la potencia nominal de la señal de prueba de espectro uniforme esté en consonancia con la carga convencional especificada en la Recomendación G.223 * del CCITT.

2.1 Que el transmisor permita obtener, a la salida de un filtro de banda eliminada intercalado, un nivel de carga de por lo menos +10 dB con relación al nivel de potencia nominal indicado anteriormente.

2.2 Que, en la anchura de banda correspondiente a la banda de base del sistema objeto de medida, la variación de la tensión eficaz del espectro de ruido blanco, medida en una banda de unos 2 kHz, no exceda de ± 0,5 dB. Este grado de uniformidad del espectro debiera obtenerse en una gama de niveles de hasta +6 dB con relación al nivel de potencia nominal.

2.3 Que, a la salida del equipo transmisor, el factor de cresta de la señal de medida de ruido blanco sea de unos 12 dB con relación al valor eficaz.

3. Que las frecuencias nominales efectivas de corte (frecuencias de corte de filtros teóricos con características de corte rectangulares ideales y que transmitan la misma potencia que los filtros reales), y las tolerancias para los filtros limitadores de banda propuestos para las distintas anchuras de banda de los sistemas que han de medirse, sean las especificadas en el cuadro I. (Con el fin de reducir el número de filtros necesarios, se han adoptado en algunos casos soluciones de compromiso entre la frecuencia de corte nominal efectiva y la frecuencia límite de la anchura de banda de los sistemas. Las tolerancias garantizan que los errores de calibrado no excederán de ± 0,1 dB y que los errores en la medición del ruido de intermodulación no excederán de ± 0,2 dB, en la hipótesis de que el sistema funcione con preacentuación conforme a la Recomendación 464.)

3.1 Que la atenuación de un filtro de paso bajo sea por lo menos de 20 dB a una frecuencia de más de un 10% superior a la frecuencia de corte nominal, y de 25 dB por lo menos en frecuencias de más de un 20% superiores a esa frecuencia de corte nominal. La atenuación de los filtros de paso alto será por lo menos de 25 dB a frecuencias de más de un 20% inferiores a la frecuencia de corte nominal.

3.2 Que, para limitar la discriminación respecto de los canales de medida, la dispersión de las atenuaciones introducidas por un par cualquiera de filtros de paso alto y de paso bajo no sea superior a 0,2 dB en una gama de frecuencias que comprenda los canales superior e inferior de medida.

4. Que los valores de las características para la discriminación en cada banda eliminada a la salida de un equipo transmisor sean los que se indican en el cuadro II. La banda de paso de cada filtro de banda eliminada se escogerá de forma que abarque, como mínimo, la mayor gama de frecuencias de banda de base con la que deba utilizarse, como se indica en la columna «Límites de la banda . . .» del cuadro I. Tales características son válidas en la gama de temperaturas comprendidas entre 10° C y 40° C.

5. Que, cuando el equipo receptor esté conectado directamente a un equipo transmisor provisto de filtros de banda eliminada que satisfagan justamente los requisitos del punto 4, la relación entre la potencia de ruido indicada por el equipo receptor cuando el filtro de banda eliminada no se incluye y la indicada cuando se incluye dicho filtro (NPR) debiera ser, como mínimo de 67 dB; esta condición es válida con una carga convencional. La anchura de banda mínima efectiva del receptor deberá ser de 1,7 kHz. La lectura máxima de la potencia absoluta de ruido causada por fugas en el caso de un receptor con una anchura de banda efectiva de 1,74 kHz que cumple justamente el citado requisito en materia de fugas, es de −85,6 dBm0p.

---

* El nivel de la carga convencional en dBm0 viene dado por:
- $1 + 4 \log N$ para $N < 240$ canales
- $15 + 10 \log N$ para $N \geqslant 240$ canales.

6. Que se prevean canales de medida suplementarios mediante acuerdo entre las administraciones interesadas.

6.1 Que, para la elección y la determinación de las características técnicas de todo nuevo filtro de medida o de banda eliminada, se tengan en cuenta los datos técnicos del anexo al Informe 553.

Nota. – Se supone que los sistemas en explotación del servicio fijo por satélite tienen una precisión global de ± 2 dB o mejor. Se llama también la atención sobre los anexos A y B a la Recomendación G.228 del CCITT, que tratan del método de medición y de la precisión de las mediciones.

CUADRO I

Capacidad del sistema (canales)	Límites de la banda de frecuencias ocupada por los canales telefónicos (kHz)	Frecuencias de corte efectivas de los filtros limitadores de banda (kHz)		Frecuencias de los canales de medida recomendados (1) (kHz)
		Paso alto	Paso bajo	
12	12- 60	12 ± 0,5	60 ± 0,5	16 56
24	12- 108	12 ± 0,5	108 ± 1,0	16 98
36	12- 156	12 ± 0,5	156 ± 1,0	16 140
48	12- 204	12 ± 0,5	204 ± 1,5	16 185
60	12- 252	12 ± 0,5	252 ± 2,0	16 240
72	12- 300	12 ± 0,5	300 ± 2,0	16 270
96	12- 408	12 ± 0,5	408 ± 3,0	16 240 394
132	12- 552	12 ± 0,5	552 ± 4,0	16 240 534
192	12- 804	12 ± 0,5	804 ± 6,0	16 394 770
252	12-1 052	12 ± 0,5	1 052 ± 8,0	16 534 1 002
312	12-1 300	12 ± 0,5	1 296 ± 8,0	16 534 1 248
372	12-1 548	12 ± 0,5	1 548 ± 10	16 534 1 002 1 490
432	12-1 796	12 ± 0,5	1 796 ± 12	16 534 1 002 1 730
492	12-2 044	12 ± 0,5	2 044 ± 14	16 534 1 248 1 940
552	12-2 292	12 ± 0,5	2 292 ± 17	16 770 1 730 2 150
612	12-2 540	12 ± 0,5	2 600 ± 20	16 770 1 730 2 438
792	12-3 284	12 ± 0,5	3 284 ± 25	16 1 002 2 438 3 150
972	12-4 028	12 ± 0,5	4 100 ± 30	16 1 002 2 438 3 886
1 092	12-4 892	12 ± 0,5	4 892 ± 40	70 1 002 2 438 4 650
1 200	12-5 340	12 ± 0,5	5 340 ± 45	70 1 002 3 150 4 650
1 332	12-5 884	12 ± 0,5	5 884 ± 50	70 1 002 3 150 4 650 5 340
1 872	12-8 120	12 ± 0,5	8 160 ± 75	70 1 002 3 150 5 340 7 600

(1) Véase también el punto 6.1 de la presente Recomendación.

CUADRO II

Frecuencia central f_c (kHz)	Anchura de banda (kHz) con relación a f_c, en la que la discriminación será igual por lo menos a: (1)				Anchura de banda (kHz) con relación a f_c, fuera de la cual la discriminación no será superior a:	
	70 dB	55 dB	30 dB	3 dB (2)	3 dB	0,5 dB
16	± 1,5	± 2,1	± 2,7	–	± 5	± 7
56	± 1,5	± 1,8 (3)	± 2,1 (3)	–	± 5	± 10
70	± 1,5	± 2,2	± 3,5	–	± 12	± 18
70 (4)	± 1,5	± 1,7	± 2,0	–	± 5	± 10
98	± 1,5	± 1,8	± 2,1	–	± 4	± 9
140	± 1,5	± 1,8	± 2,2	–	± 5	± 14
185	± 1,5	± 1,8	± 2,2	–	± 5	± 17
240	± 1,5	± 1,8	± 2,2	–	± 5	± 21
270	± 1,5	± 2,3	± 2,9	–	± 8	± 24
394	± 1,5	± 3,0	± 4,5	–	± 11	± 35
534	± 1,5	± 3,5	± 7,0	–	± 15	± 48
770	± 1,5	± 3,8	± 8,0	–	± 21	± 70
1 002	± 1,5	± 4,0	± 9,0	–	± 27	± 90
1 248	± 1,5	± 4,0	± 11,0	–	± 35	± 110
1 490	± 1,5	± 4,1	± 12,0	–	± 42	± 135
1 730	± 1,5	± 4,2	± 14,0	–	± 48	± 155
1 940	± 1,5	± 4,3	± 15,0	–	± 52	± 175
2 150	± 1,5	± 4,4	± 17,0	–	± 55	± 195
2 438	± 1,5	± 4,5	± 19,0	–	± 60	± 220
3 150	± 1,5	± 9,0	± 22,0	–	± 85	± 285
3 886 (5)	± 1,5	± 15,0	± 30,0	–	± 110	± 350
		± 1,8	± 3,5	± 8,0	± 12	± 100
4 650	± 1,5	± 2,0	± 3,8	± 8,5	± 13	± 120
5 340	± 1,5	± 2,2	± 4,0	± 8,5	± 14	± 150
7 600	± 1,5	± 2,4	± 4,6	± 9,5	± 16	± 200

(1) Los valores indicados para la discriminación son valores relativos y están referidos a la atenuación mínima de los filtros de banda eliminada en la gama de frecuencias de la banda de base definida por los filtros paso alto y paso bajo del cuadro I.

(2) Nueva columna (a 3 dB) de la Recomendación G.228 del CCITT.

(3) En la Reunión Final de la Comisión de Estudio 4 se aprobaron los valores ± 2,0 (55 dB) y ± 2,5 (30 dB) respectivamente.

(4) Nuevo filtro de banda eliminada de la Recomendación G.230 del CCITT.

(5) Las características recomendadas para los filtros de 16 kHz a 3150 kHz, ambos inclusive, se basan en filtros del tipo inductancia-capacidad. Las características recomendadas para los filtros de 4650 kHz (y frecuencias superiores) suponen el empleo de filtros de cuarzo. Para filtros de 3886 kHz, se recomiendan características facultativas, que permiten la elección entre un filtro inductancia-capacidad (línea superior) o un filtro de cuarzo (línea inferior).
La selectividad del receptor a 3886 kHz debe estar adaptada a la característica del filtro de banda eliminada de cuarzo. Se sugiere que en la gama de 3150 a 7600 kHz la selectividad del receptor esté determinada por la característica del filtro de banda eliminada de cuarzo.

INFORME 385-1

POSIBILIDAD DE COMPARTICIÓN DE LAS BANDAS DE FRECUENCIAS ENTRE LOS SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE Y LOS SERVICIOS TERRENALES

Criterios que influyen en la elección de la ubicación de las estaciones terrenas en el servicio fijo por satélite

(Programa de Estudios 2A/4)

(1966-1970)

1. Introducción

El objeto del presente Informe es proporcionar a las administraciones indicaciones sobre la elección de la ubicación de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite. Se destacan las evaluaciones y recomendaciones relativas a los problemas de interferencia.

2. Factores de interferencia

2.1 *Consideraciones generales*

Las interferencias causadas a las estaciones terrenas pueden tener su origen en:

- estaciones terrenales que utilicen la misma banda de frecuencias que el sistema de satélites;
- sistemas de radar cuyas radiaciones armónicas pueden caer en las bandas utilizadas por los receptores de las estaciones terrenas [Prescott, 1968];
- estaciones terrenales, incluidas las de sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte, cuyas radiaciones armónicas caigan en las bandas utilizadas por los receptores de las estaciones terrenas;
- sistemas de radiolocalización y de relevadores radioeléctricos que funcionen en bandas adyacentes a las de recepción de las estaciones terrenas.

2.2 *Dispersión causada por las precipitaciones*

En la actualidad se están estudiando métodos para elegir la ubicación de manera que se anulen los efectos de la dispersión por las precipitaciones; conviene referirse a las secciones de la Comisión de Estudio 5 que tratan sobre radiometeorología, telecomunicaciones espaciales y factores de propagación que intervienen en la interferencia, para obtener información sobre los efectos de la dispersión debida a las precipitaciones.

2.3 *Otras fuentes de interferencia eléctrica*

Conviene tener en cuenta la posible influencia de las líneas de alta tensión, de las instalaciones eléctricas próximas, de los sistemas de encendido, de los equipos industriales y otras fuentes de perturbación. Se señala, sin embargo, que en la práctica este problema no suele ser grave.

2.4 *Interferencias causadas por las aeronaves*

Aunque es difícil efectuar el análisis cuantitativo del problema, los sistemas que tienen las características de frecuencia y de emisión especificadas en el punto 2.1 pueden dar lugar a interferencias mutuas, a causa de reflexiones de energía por las aeronaves que atraviesan el lóbulo principal de radiación de la estación terrena. Entre otras precauciones, al elegir la ubicación conviene evitar que ésta se encuentre cerca de rutas aéreas y, en particular, de grandes aeropuertos.

3. Análisis de las interferencias

Para estudiar con detalle un problema de interferencia hay que procurarse los siguientes datos sobre las posibles fuentes de la misma:

3.1 Ubicaciones exactas; frecuencias; niveles de potencia; dimensiones, ganancias y diagramas de radiación de las antenas; acimutes de recepción y transmisión; ciclo de trabajo, anchuras y coeficientes de los impulsos; clase de emisión; radiaciones armónicas y no esenciales (transmisión y recepción). Cuando se trata de estaciones de los sistemas de relevadores radioeléctricos que funcionan en una banda compartida, se pueden aplicar los principios expuestos en el Informe 382 para la determinación de la distancia de coordinación, y en el Informe 448 para la evaluación de las interferencias; en tales casos no hay necesidad de procurarse los datos indicados.

3.2 Por regla general, no es necesario medir las pérdidas de propagación, salvo cuando no se pueden prever con exactitud las características del trayecto. Se recomienda servirse del Informe 569 para calcular los valores de la pérdida básica de transmisión.

3.3 Al parecer, convendría utilizar aparatos de medida cuando no se conocen las características del transmisor, en particular en las bandas armónicas. Si se pueden determinar esas características sin que intervengan los efectos de la progación, interesa hacer estas mediciones. Para ello hay que instalar el equipo de medida en línea de visibilidad directa del transmisor, pero no obligatoriamente en el emplazamiento de la estación terrena.

3.4 Una vez estudiado el perfil del trayecto a lo largo del círculo máximo entre la estación terrena y el transmisor interferente, mediante pruebas de corta duración, se podrán resolver los problemas que plantean las reflexiones fuera del trayecto, etc.

4. Precauciones que hay que tomar al elegir la ubicación

Se puede señalar varias reglas fundamentales para reducir al mínimo los problemas de interferencia, a saber:

4.1 Evitar los trayectos con visibilidad directa entre la estación y los transmisores interferentes.

4.2 Evitar el elegir, para la estación terrena, una ubicación tal que en el transmisor el ángulo formado por el arco de círculo máximo que va a la estación terrena y la dirección del lóbulo principal de la antena transmisora sea inferior a 5°.

4.3 Respetar una distancia mínima de unos 50 km con relación a los transmisores cuando el efecto de pantalla del terreno sea de 3° y 4° aproximadamente. Esta distancia se puede reducir a unos 20 km cuando el efecto de pantalla es del orden de 10°.

Estas reglas son válidas para cualquier ubicación. Las que a continuación se señalan deberán aplicarse al elegir la ubicación de estaciones destinadas a comunicar con satélites colocados en el plano de la órbita ecuatorial:

- elíjase una ubicación más al Sur que la del transmisor (y al revés en el hemisferio austral);
- evítense las ubicaciones en que pueda haber fuentes de interferencia para los acimutes en que la antena de la estación terrena pueda tener que funcionar con pequeños ángulos de elevación;
- evítense, en lo posible, las zonas costeras expuestas al mar; cuando se considere ventajoso recurrir a tales zonas, determínese experimentalmente la probabilidad de interferencia imputable a las instalaciones de radar.

En determinados casos, no siempre se podrán observar todas estas reglas, pero para desviarse de ellas habrá que hacer un estudio minucioso previo.

5. Criterios de interferencia

En ciertos casos, habrá que determinar mediante pruebas los criterios de interferencia. No obstante, cuando se trate de sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa que utilicen bandas compartidas, se recurrirá a las Recomendaciones del CCIR. No se pueden indicar reglas generales para las interferencias causadas por instalaciones de radar y otras, que habrá que determinar experimentalmente.

6. Factores geográficos

6.1 Si bien la estación terrena debe estar favorablemente situada de modo que ofrezca la visibilidad necesaria a todos los satélites con los que tendrá que comunicar, al elegir la ubicación más adecuada puede ser necesario tomar en consideración los siguientes factores adicionales:

- los proyectos de establecimiento de sistemas terrenales en las inmediaciones, tanto de la administración del país de que se trate como de administraciones de países próximos (véanse la Recomendación 359, el Informe 209 y las Actas Finales de la Conferencia Administrativa Mundial de Telecomunicaciones Espaciales, Ginebra, 1971);
- la proximidad de aeronaves que vuelen a poca altura, de pasillos de aproximación, etc.;
- de preferencia, la ubicación debe estar rodeada de colinas que aseguren una protección contra las interferencias; no obstante, para que la visibilidad del satélite sea lo mejor posible, los ángulos de elevación de los obstáculos no deben ser superiores a unos 3°;
- el terreno debe ser perfectamente firme;
- es posible que en la ubicación tengan que instalarse varias antenas de grandes dimensiones, sin que haya oscurecimiento mutuo;
- en las inmediaciones de las antenas hay que evitar la presencia de estructuras artificiales, como son las torres de transporte de energía eléctrica, y los obstáculos naturales (por ejemplo, los árboles).

6.2 Las condiciones atmosféricas pueden ejercer una influencia notable en el ruido residual de un servicio fijo por satélite. A este respecto, el clima ideal es el templado y seco, con vientos de poca velocidad.

7. Factores logísticos

7.1 La ubicación debe ser aprobada por las autoridades locales y, en su caso, debe existir la posibilidad de imponer servidumbre a los terrenos adyacentes, sobre todo en lo que respecta a la construcción de edificios, para que el funcionamiento de la estación no pueda ser objeto de interferencias.

7.2 Puede ser necesario establecer la conexión con la red de cables o de radioenlaces en cuyo caso hay que tener en cuenta la distancia hasta el centro de conmutación más próximo.

7.3 Hay que considerar si existe una fuente de energía, si el suministro de agua es adecuado y si se dispone de vías de acceso.

7.4 Para poder determinar la posición exacta de la estación terrena, quizá haya que elegir una ubicación con puntos de triangulación visibles.

7.5 Puede ser necesaria una torre de colimación (alineación óptica).

8. Factores de seguridad

8.1 Procede estudiar los efectos nocivos en los seres humanos de las radiaciones excesivas y los riesgos que entraña el manejo de substancias inflamables o explosivas. A título de orientación, se indica que el acceso a las zonas en que la densidad de radiación es superior a 10 mW/cm^2 debe estar restringido durante el periodo de funcionamiento de la estación. En ningún momento se manipularán líquidos inflamables ni se almacenarán artefactos explosivos. En las zonas en que se esté expuesto permanentemente a las radiaciones, puede ser adecuado adoptar una densidad de radiación inferior.

8.2 Cuando las aeronaves que vuelan a poca altura estén expuestas a los peligros indicados, habrá que anunciar antes tal riesgo a quienes las conducen.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PRESCOTT, H. [abril de 1968] Some aspects of radar interference at earth stations. IEE Conf. Publ., 39. IEE Conference on Interference Problems Associated with the Operation of Microwave Communications Systems.

INFORME 554-3

EMPLEO DE UNA ESTACIÓN TERRENA TRANSPORTABLE CON UNA PEQUEÑA ANTENA PARA LAS OPERACIONES DE SOCORRO EN CASO DE DESASTRES NATURALES Y SITUACIONES CRÍTICAS ANÁLOGAS

(Cuestión 22/4)

(1974-1978-1982-1986)

1. Introducción

La Conferencia Administrativa Mundial de Telecomunicaciones Espaciales, Ginebra, 1971, formuló la Recomendación N.° Spa2 – 13, relativa a la planificación y organización de telecomunicaciones por satélite en las zonas en que se produzcan desastres naturales. Se estima que la rápida disponibilidad de comunicaciones seguras, inmediatamente después de un desastre natural, contribuiría a salvar numerosas vidas, merced a la mejor coordinación de las actividades de socorro.

Este Informe trata de la configuración y las características de las estaciones terrenas aerotransportables, diseñadas para ser utilizadas con satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite.

El examen abarca algunos tipos posibles de modulación, así como la anchura de banda requerida, la p.i.r.e. del satélite, la p.i.r.e. de la estación terrena, las características del receptor de bajo nivel de ruido, los requisitos del amplificador de gran potencia y los parámetros del sistema de antena.

Los parámetros que se indican más adelante suponen generalmente que las estaciones terrenas pueden tener que funcionar con un transpónder de satélite de haz global. En caso de que la estación sólo tenga que trabajar dentro de una región cubierta por un haz conformado del satélite, puede permitirse que estos parámetros sean menos rigurosos.

2. Consideraciones básicas

En caso de desastres naturales, epidemias, condiciones de hambre, etc., la necesidad más urgente es contar con un enlace de telecomunicación confiable para utilizarlo en las operaciones de socorro. Con objeto de poder establecer estas comunicaciones por conducto del servicio fijo por satélite, es conveniente disponer de una estación terrena que pueda transportarse e instalarse en la zona afectada a fin de tener acceso a un sistema por satélite existente.

Para este servicio de telecomunicación puede utilizarse cualquier sistema por satélite compatible con las características técnicas de la estación terrena transportable.

2.1 *Canales necesarios*

El enlace de telecomunicación para las operaciones de socorro conectaría la zona afectada con los centros de socorro designados; la capacidad de transmisión necesaria sería, como máximo, de 6 circuitos telefónicos (incluyendo canales de teletipo) y un canal de servicio técnico.

2.2 *Calidad del circuito*

Los circuitos de emergencia para las operaciones de socorro no deben tener forzosamente la elevada calidad recomendada por el CCIR para el servicio fijo por satélite. Una relación equivalente señal/ruido ponderado de unos 30 dB para un canal telefónico proporcionaría una inteligibilidad aceptable para estos fines, pero este problema requiere estudios adicionales.

2.3 *Elección de la banda de frecuencias*

Los sistemas de satélites geoestacionarios funcionan actualmente en las bandas de frecuencias de 4 y 6 GHz, por lo que es conveniente utilizar estas bandas para las operaciones de socorro.

Cuando se dispone de satélites apropiados, es preferible efectuar las operaciones de socorro en bandas no compartidas con servicios terrenales. En algunas circunstancias, pueden convenir bandas como las de 14/12 GHz y 30/20 GHz.

2.4 *Estación terrena asociada*

El terminal terreno transportable podría trabajar con cualquier estación terrena existente adecuada, a condición de que disponga de equipo apropiado. Habría que identificar las estaciones terrenas adecuadas a fin de dotarlas con antelación del equipo adicional necesario.

3. Métodos de modulación preferidos

Al elegir el método de modulación más adecuado para un sistema en el que se emplee una estación terrena transportable, debe tenerse en cuenta la limitación de potencia en el enlace descendente, así como la necesidad de un acceso flexible al sistema por satélite.

De los diversos métodos de modulación descritos en los Informes 708 y 509, una estación de este tipo podría emplear MF con multiplaje por distribución de frecuencia (MDF-MF), o un solo canal por portadora (SCPC) y uno de los siguientes métodos de modulación: MF, MIC-MDP o MDP con modulación delta.

El método SCPC con modulación MIC-MDP se emplea ya, por ejemplo, en el sistema SPADE, pero los otros dos métodos SCPC no se usan aún a escala mundial. Sin embargo, los sistemas MF de un solo canal con compresión-expansión y aquellos con modulación delta (MΔ-MDP) son más eficaces cuando la potencia disponible es limitada. La eficacia del sistema puede mejorarse aun más mediante técnicas de codificación con corrección de errores en recepción.

El cuadro I contiene ejemplos de los valores necesarios de p.i.r.e. del satélite, de p.i.r.e. de la estación terrena y de anchura de banda para estos métodos de modulación. Es posible que los actuales sistemas por satélite no alcancen los valores de p.i.r.e. indicados en el cuadro I. Debe señalarse también que la calidad de transmisión, desde el punto de vista subjetivo, de cada uno de los sistemas examinados no es necesariamente la misma. Es preciso proseguir el estudio sobre este punto.

4. Características de la estación terrena transportable

4.1 *Relación ganancia/temperatura de ruido (G/T) del sistema*

En la banda de 4 GHz será razonable tomar como objetivo una relación G/T del sistema de 17,5 a 23,5 dB(K^{-1}), pero se requieren mayores estudios. Partiendo de la hipótesis de un amplificador paramétrico no refrigerado, con una temperatura de ruido de unos 50 K y un ángulo de elevación de la antena de 10°, estos valores corresponden a diámetros de antena de 2,5 a 5 m aproximadamente.

En la banda de 11 a 13 GHz, se observan temperaturas de ruido típicas del receptor comprendidas entre 100 K (amplificador paramétrico) y 400 K (amplificador de transistor de efecto de campo (FET-«field effect transistor»)). Con antenas de unos 3 m de diámetro, podrían lograrse relaciones G/T de 19 a 25 dB(K^{-1}).

En la banda de 20 GHz, será razonable fijar como objetivo del sistema una relación G/T del orden de 14,5 a 24,5 dB(K^{-1}). Suponiendo un amplificador FET cuya temperatura de ruido sea de unos 750 K, estos valores corresponden a un diámetro de antena de 1 m a 3 m aproximadamente.

4.2 *P.i.r.e. de la estación terrena*

La p.i.r.e. de la estación terrena depende del tipo de modulación, de la capacidad de transmisión telefónica y de las características del satélite.

Sin embargo, en el caso de las operaciones con portadoras múltiples, tales como las transmisiones de un solo canal por portadora (SCPC), la potencia máxima de salida del transmisor deberá reducirse respecto al punto de saturación un margen suficiente para reducir el ruido de intermodulación a un nivel aceptable. En el cuadro I se indican los valores típicos de la p.i.r.e. necesaria para la estación terrena transportable.

5. Configuración de la estación terrena transportable

La estación terrena puede dividirse en los subsistemas principales siguientes:

- antena,
- amplificador de potencia,
- receptor de bajo nivel de ruido,
- equipo básico de comunicaciones,
- equipo de control y de comprobación,
- equipo terminal incluidos teleimpresores y teléfonos,
- medios auxiliares.

CUADRO I — *Ejemplos de parámetros de transmisión para 6 canales en las bandas de 4 y 6 GHz*

Relación G/T, dB(K^{-1}) (diámetro)	Tipo de modulación	Anchura de banda por portadora	p.i.r.e. del satélite por portadora	p.i.r.e. de la estación terrena por portadora	Potencia transmitida de la estación terrena por portadora	Calidad del circuito (con cielo despejado)
17,5 (2,5 m)	MDF-MF (para 6 canales)	250 kHz	14 dBW	57,5 dBW	45 W	S/N 30 dB
	SCPC 64 kbit/s MIC-MDP (4 fases)	45 kHz	11 dBW	54,5 dBW	22 W	Proporción de bits erróneos: 10^{-4}
	SCPC 32 kbit/s MΔ-MDP (2 fases)	45 kHz	5 dBW	48,5 dBW	5,6 W	Proporción de bits erróneos: 10^{-3}
	SCPC-MF con compresión-expansión	30 kHz	1 dBW	44,5 dBW	2,2 W	S/N 22 dB (sin compresión-expansión)
23,5 (5 m)	MDF-MF (para 6 canales)	250 kHz	8 dBW	57,5 dBW	11 W	S/N 30 dB
	SCPC 64 kbit/s MIC-MDP (4 fases)	45 kHz	5 dBW	54,5 dBW	5,6 W	Proporción de bits erróneos: 10^{-4}
	SCPC 32 kbit/s MΔ-MDP (2 fases)	45 kHz	− 1 dBW	48,5 dBW	1,4 W	Proporción de bits erróneos: 10^{-3}
	SCPC-MF con compresión-expansión	30 kHz	− 5 dBW	44,5 dBW	0,6 W	S/N 22 dB (sin compresión-expansión)

Nota 1. – Se supone que en los sistemas MDF-MF y SCPC-MF con compresión-expansión se utiliza un demodulador de extensión del umbral.

Nota 2. – Los valores de p.i.r.e. indicados del satélite y de la estación terrena corresponden a una pequeña estación terrena con un ángulo de elevación de antena de 10° excluido todo margen. Las estaciones terrenas con las que comunica la pequeña estación terrena tiene una relación G/T de 40,7 dB(K^{-1}).

Nota 3. – Las características del transpónder del satélite son similares a las del transpónder de cobertura global del satélite INTELSAT-IV; se supone que la ganancia del transpónder es tal que la diferencia entre la p.i.r.e. de la estación terrena y la p.i.r.e. correspondiente del satélite es de 65 dB.

5.1 *Peso y volumen*

Todos los equipos, incluidas las cubiertas, deben poder ser embalados en elementos de peso manejable por un número reducido de personas. Además, el volumen y el peso totales no deben ser superiores a los que pueden alojarse en el espacio reservado para los equipajes en una aeronave de pasajeros, del tipo Boeing B707 (que admite 7000 kg) o Douglas DC8-62 (que admite una carga de 10 000 kg). La tecnología actual permite respetar estos límites sin grandes dificultades.

5.2 *Antena*

La forma y dimensiones de la antena están determinadas por la ganancia y la temperatura de ruido necesarias. Deben tenerse también en cuenta factores tales como las condiciones climáticas, el peso máximo y la facilidad para captar las señales del satélite y efectuar su seguimiento.

Uno de los requisitos principales de la antena es su facilidad de montaje y transporte. A tal efecto, el reflector de la antena podría estar constituido por varias piezas de material ligero, como plástico reforzado con fibra o aleación de aluminio. Se prevé utilizar una antena de 2,5 a 6 m de diámetro.

El reflector principal de la antena puede estar iluminado por una bocina frontal o por un sistema de iluminación que incluya un subreflector. Este último caso puede proporcionar una relación G/T ligeramente más ventajosa; puede optimizarse la curvatura del subreflector y del reflector principal; ahora bien, la facilidad de montaje y de alineación deben primar sobre cualesquiera otras consideraciones relativas a la relación G/T.

Puede lograrse un sistema de seguimiento manual o automático de peso y consumo proporcionados al resto del sistema cuando el margen de seguimiento así obtenido a partir de la portadora transmitida sea de ± 5° aproximadamente.

5.3 *Amplificador de potencia*

Pueden utilizarse a tal efecto un clistrón refrigerado por aire o amplificadores de tubo de ondas progresivas (de tipo helicoidal), pero desde el punto de vista del rendimiento y de la facilidad de mantenimiento, resulta preferible el primero.

Pese a lo reducido de la anchura de banda de transmisión instantánea, es posible que el amplificador de salida deba tener la posibilidad de ser sintonizable en una amplia gama de frecuencias, por ejemplo, 500 MHz, ya que el canal disponible del satélite puede estar situado en cualquier frecuencia dentro de esta banda.

En la banda de 30 GHz, son apropiados para esta aplicación los amplificadores IMPATT, los de tubos de ondas progresivas (TOP) y los clistrón.

Las potencias de salida necesarias serán las indicadas en los ejemplos del cuadro I.

5.4 *Receptor de bajo nivel de ruido*

Dado que el receptor de bajo nivel de ruido debe ser pequeño, ligero y fácil de manipular y mantener, lo más conveniente es utilizar un amplificador paramétrico no refrigerado.

Son prácticamente incesantes los progresos que se obtienen en lo que respecta a la temperatura de ruido de este tipo de receptor. Se ha obtenido ya una temperatura de ruido de 50 K y se espera lograr en el futuro en la banda de 4 GHz una temperatura aun inferior. Desde el punto de vista del tamaño, peso y consumo de energía, conviene más utilizar un amplificador FET que un amplificador paramétrico, pero la temperatura de ruido del primero es superior a la del último. Con amplificadores FET ha sido observada una temperatura de ruido de 100 K en la banda de 4 GHz y de 400 K en la banda de 12 GHz. En la banda de 20 GHz se ha logrado un amplificador FET con una temperatura de ruido de 300 K, o menos, a temperatura ambiente.

6. Ejemplo de estaciones terrenas transportables pequeñas

Están funcionando actualmente en las bandas de 6/4 GHz algunas estaciones terrenas transportables con antenas de diferentes diámetros. En las bandas de 14/12 GHz, la mayoría de las estaciones terrenas transportables tienen antenas de unos 3 m de diámetro.

6.1 *Ejemplo de una estación terrena transportable pequeña que funciona en las bandas de 6/4 GHz*

Se ha fabricado una estación terrena aerotransportable, que puede también transportarse en un camión de 8 toneladas, utilizando los principios expuestos en el punto 5 anterior; la calidad de funcionamiento conseguida ha sido satisfactoria [Okamoto y otros, 1977].

La estación dispone de una antena de 3 m de diámetro, una p.i.r.e. de cresta de unos 66 dBW y su G/T es de unos 20 dB(K^{-1}). Su peso total es de 5,5 toneladas y la potencia necesaria, incluido el acondicionamiento de aire, es de 7,5 kVA. El reflector está dividido en siete secciones, cada una de un peso de unos 20 kg, y el tiempo total de instalación por tres personas es de unas dos horas. La estación utiliza modulación MDF-MF y tiene capacidad para seis canales en ambos sentidos si se utiliza un transpónder similar al transpónder de haz global del satélite Intelsat-IV-A, o para 60 canales en ambos sentidos utilizando un transpónder de haz conformado similar al transpónder del satélite japonés CSE (satélite de comunicaciones para fines experimentales) con una relación señal/ruido de unos 43 dB por canal.

6.2 *Ejemplos de estaciones terrenas transportables pequeñas que funcionan en la banda de 30/20 GHz*

Se han fabricado y se explotan con resultado satisfactorio dos tipos de estaciones terrenas transportables de pequeñas dimensiones que funcionan en las bandas de 20 y 30 GHz y pueden ser transportadas por camión o helicóptero [Saruwatari y otros, 1978, Egami y otros, 1980].

El cuadro II contiene ejemplos de estaciones terrenas transportables pequeñas para funcionamiento en 30/20 GHz.

7. Conclusiones

Una estación terrena transportable, utilizada con un sistema actual de satélites puede establecer rápidamente un servicio confiable de telecomunicaciones que intervendría en operaciones de socorro relacionadas con catástrofes naturales y otras situaciones excepcionales análogas.

Para la configuración definitiva, se tendrán en cuenta también los aspectos siguientes:

- determinación de los valores aceptables de la relación señal/ruido (modulación analógica) o de la proporción de errores equivalente (modulación digital) en un canal telefónico, y de la proporción de errores en un canal telegráfico;
- las consecuencias técnicas de la interferencia mutua entre la estación terrena transportable, por un lado, y sistemas de relevadores radioeléctricos u otros sistemas por satélite, por otro;
- los aspectos logísticos del transporte, instalación y explotación.

CUADRO II – *Ejemplos de estaciones terrenas transportables pequeñas*

Frecuencia de explotación (GHz)	Peso total (toneladas)	Potencia necesaria (kVA)	Antena		p.i.r.e. máxima (dBW)	G/T (dB(K^{-1}))	Tipo de modulación	Tiempo total de montaje (h)	Instalación habitual de la estación terrena
			Diámetro (m)	Tipo					
30/20	5,8	12	2,7	Cassegrain	76	27	MF (TV col., 1 c.) (1) o MDF-MF (TF 132 c.)	1	En camión
	2	9	3	Cassegrain (2)	79,8	27,9	MF (TV col., 1 c.) (1) y MICDA-MDP-2 SCPC (3 c.)	1	En el suelo
	1	1 (3)	2	Cassegrain	56,3	20,4	MDA-MDP-4 SCPC (1 c.)	1,5	En el suelo
	0,7	3	1	Cassegrain	59,9	15,2	MF-SCPC (TF 1 c.) o DM-MDP-4-SCPC (1 c.)	1	En camión

(1) Unidireccional.

(2) El reflector está dividido en tres secciones.

(3) Excluida la potencia para el acondicionamiento de aire.

TF: Telefonía.

1 c.: 1 canal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EGAMI, S., OKAMOTO, T. y FUKETA, H. [febrero de 1980] K-band mobile earth station for domestic satellite communications system. *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-28, **2**, 291-294.

OKAMOTO, T., EGAMI, S. y OGUCHI, M. [julio de 1977] Small transportable earth station for satellite communication. *Japan Telecomm. Rev.*, Vol. 19, **3**, 230-234.

SARUWATARI, T., TSUKAMOTO, K., YOKOYAMA, M. y SASAOKA, S. [octubre de 1978] Digital transmission experiments with the CS satellite. 4th International Conference on Digital Satellite Communications, Montreal, Canadá, 283-290.

INFORME 869-1

ESTACIONES TERRENAS DE PEQUEÑA CAPACIDAD Y SISTEMAS DE SATÉLITES ASOCIADOS EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 23/4)

(1982-1986)

1. Introducción

En la Resolución N.° 18 de la Conferencia de Plenipotenciarios de la UIT, celebrada en Málaga-Torremolinos en 1973, se encargó al CCIR que estudiase los problemas técnicos y de explotación relacionados con las estaciones terrenas de pequeña capacidad y los correspondientes sistemas de satélites a fin de ayudar a los países en desarrollo y a diversas administraciones en lo que respecta a su empleo. Posteriormente el CCIR adoptó la Cuestión 23/4, relativa a ese tema. Los recientes adelantos tecnológicos en materia de comunicaciones por satélite pueden representar para los países en desarrollo el medio de contar con redes de telecomunicaciones concebidas en función de sus necesidades especiales.

Lo que estos países necesitan primordialmente es un sistema que permita atender a un gran número de pequeñas comunidades muy dispersas, cada una de las cuales sólo generará previsiblemente un tráfico limitado. De ahí que cada una de ellas requiere una estación terrena dotada de uno o varios canales telefónicos que tenga un precio módico y sea fácil de instalar y mantener. El segmento espacial habrá de atender a un número relativamente elevado de ese género de estaciones terrenas a las que deberá asegurar simultáneamente un servicio que posea un nivel correcto en términos de calidad y de fiabilidad.

La descripción precedente corresponde a grandes rasgos al género de sistemas de pequeña capacidad considerado en el presente Informe. La zona geográfica atendida por tal sistema podrá ser nacional o regional y brindará medios de acceso a las redes de telecomunicaciones nacionales o internacionales existentes.

En este Informe se examinan algunos de los factores técnicos y de explotación que será preciso tener presentes y en los anexos se dan algunos ejemplos de posibles parámetros del sistema, todo ello en respuesta a la Cuestión 23/4.

2. Características del sistema

Las facilidades típicas requeridas por un sistema de este tipo de baja capacidad comprenderían:

- unos pocos circuitos telefónicos en la mayoría de los emplazamientos y hasta doce circuitos telefónicos en algunos;
- características de circuito que sean compatibles con los requisitos del télex, datos a baja velocidad y otros servicios similares;
- capacidad para proporcionar circuitos de tipo conferencia para satisfacer necesidades de sanidad, educación y otras especiales;
- compatiblidad con las redes existentes con respecto a:
  - señalización entre equipos de conmutación, y
  - características de ruido;
- un nivel aceptable de calidad, fiabilidad y disponibilidad para todo el sistema incluido el trayecto de propagación;
- opciones para la recepción de programas de radiodifusión sonora y de televisión.

Desde el punto de vista del diseño y de la explotación, las características típicas de un sistema de baja capacidad deben comprender las siguientes:

- bajo costo, incluso a expensas de cierta degradación de la calidad de funcionamiento;
- facilidad de transporte, instalación y mantenimiento;
- bajo consumo de potencia del equipo de estación terrena;
- posibilidad de operar estaciones terrenas en una amplia gama de condiciones ambientales;
- utilización de técnicas de modulación sencillas y eficaces;
- utilización de sistemas de acceso múltiple sencíllos y eficaces;
- alta fiabilidad del equipo de estación terrena.

En los puntos siguientes del presente Informe se describen los diversos factores que influyen en las formas de alcanzar los objetivos del sistema.

3. Bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite

En las Actas Finales de la CAMR-79, se indican las bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite. Figuran entre ellas la banda de 2,5 GHz, la de 4 GHz, la de 11 GHz, la de 12 GHz y la de 20 GHz en el sentido espacio-Tierra, y las de 2,5 GHz, 6 GHz, 12 a 13 GHz, 14 GHz y 30 GHz en el sentido Tierra-espacio.

Al elegir una banda de frecuencias hay que tener en cuenta los factores siguientes:

- compartición con otros servicios,
- consideraciones económicas del sistema, incluyendo el balance más eficaz entre los costos de la parte espacial y la parte terrena, y
- factores relacionados con el medio ambiente, como la propagación y la carga por el viento.

3.1 *Banda en 2,5 GHz*

La anchura de la banda en 2,5 GHz es muy reducida: 190 MHz en la Región 2, solamente 35 MHz en la Región 3, y ninguna atribución en la Región 1. En la banda 2,5 GHz se han atribuido asimismo 35 MHz para los enlaces ascendentes de las Regiones 2 y 3. Teniendo en cuenta lo expuesto, la capacidad máxima de los sistemas a 2,5 GHz es muy limitada, lo que impone la necesidad de compartición con el servicio de radiodifusión por satélite y con los servicios terrenales fijo y móvil. Para regular esta compartición se han fijado límites para la densidad de flujo de potencia. El balance eficaz entre los costes de la parte espacial y la parte terrena del sistema, puede ser difícil de alcanzar si se prevé la instalación de un número elevado de estaciones terrenas.

3.2 *Bandas en 6/4 GHz*

En la actualidad, son las bandas de frecuencias más ampliamente utilizadas; la emplean los sistemas internacionales y nacionales para telefonía en rutas de mucho y poco tráfico, para el tráfico de datos y para la distribución de programas radiofónicos y de televisión. Es necesaria la compartición con los servicios terrenales fijo y móvil. De ahí que tengan que imponerse límites de densidad de flujo de potencia y que sea necesaria la coordinación con los sistemas radioeléctricos de microondas existentes. Como las bandas en 6/4 GHz se utilizan ampliamente, existen subsistemas ya desarrolados de los que se puede disponer fácilmente.

El empleo generalizado de estas bandas en el servicio fijo por satélite requerirá normalmente la coordinación con otros sistemas en la órbita geoestacionaria. A largo plazo, puede ser necesario diseñar sistemas que mejoren la utilización de la órbita, especialmente donde ésta se encuentre congestionada.

La explotación en condiciones de lluvia intensa no constituye un serio problema en 6/4 GHz (véanse los Informes 382 y 866).

3.3 *Bandas en 11, 12, 13 y 14 GHz*

Las decisiones que en materia de atribuciones tomó la CAMR-79 en estas bandas de frecuencias para los servicios espaciales son más complejas. La banda 10,7 a 11,7 GHz se ha atribuido a escala mundial en el sentido espacio-Tierra, con limitaciones de la densidad de flujo de potencia, que tienen por objeto permitir la compartición con los servicios fijo y móvil.

La banda 11,7 a 12,1 GHz y una parte de la banda 12,1 a 12,3 GHz están atribuidas al SFS en la Región 2, sin limitaciones de densidad de flujo de potencia. La ausencia de limitaciones en la dfp, facilita la utilización de antenas de pequeñas dimensiones en las estaciones terrenas.

La banda 12,2 a 12,75 GHz en la Región 3 y la banda 12,5 a 12,75 GHz en la Región 1, están atribuidas al SFS en el sentido espacio-Tierra. Se han impuesto, en estas bandas, limitaciones a la densidad de flujo de potencia.

Para los enlaces Tierra-espacio correspondientes a las bandas mencionadas, es probable que se utilicen las bandas 12,75 a 13,25 GHz y 14,0 a 14,5 GHz.

La compartición con los servicios fijo y móvil es necesaria en estas bandas, salvo en algunas partes de la Región 2. Sin embargo, la ausencia de sistemas de este tipo en muchas zonas facilita los problemas de coordinación y puede suprimir la necesidad de ubicar la mayoría de las estaciones terrenas en emplazamientos que no sean adecuados.

La atenuación de la propagación en zonas de lluvia intensa impone exigencias adicionales al diseño de sistemas en estas bandas de frecuencias, especialmente en las regiones en que las precipitaciones son intensas (véanse los Informes 382 y 866). Esto se puede compensar mediante valores superiores del factor de calidad (G/T) de las estaciones terrenas, valores más elevados de la p.i.r.e. de las estaciones espaciales, o proyectando los sistemas con una calidad de funcionamiento inferior a la necesaria para conexiones internacionales.

En estas frecuencias superiores, se pueden utilizar antenas de menor diámetro para obtener valores del factor de calidad (G/T) similares a los logrados en las frecuencias inferiores. Esta posible reducción del tamaño de las antenas, puede disminuir los gastos de adquisición y de instalación.

Si bien los equipos de estas bandas se utilizan de forma menos generalizada que los de la banda 6/4 GHz, cada vez se pueden conseguir más fácilmente a un costo competitivo por haberse ya realizado en ellas varios sistemas internacionales y nacionales por satélite.

3.4 *Bandas en 30/20 GHz*

En la actualidad, son escasos los sistemas espaciales y terrenales que se explotan en estas bandas, aunque se están realizando sistemas experimentales. Por estos motivos, se prevé que la coordinación con otros sistemas espaciales y con sistemas terrenales fijos y móviles no será compleja, pero, en cambio, las posibilidades de adquisición de equipos en esta banda son actualmente limitadas.

Las pérdidas de propagación en condiciones de lluvia intensa son considerablemente más elevadas en 30/20 GHz que en 14/(11 y 12) GHz. Puede ser necesario utilizar el control de potencia en el enlace ascendente o la diversidad de emplazamiento en la mayoría de los sistemas de transmisión.

3.5 *Resumen de las consideraciones sobre elección de bandas de frecuencias*

En estos momentos las bandas de frecuencias que ofrecen más ventajas para los tipos de sistemas considerados son las de 6/4 GHz y 14/(11 y 12) GHz. Se requiere un conocimiento más detallado de las características de los sistemas y del medio ambiente para proceder a una elección definitiva entre estas dos alternativas.

4. Propagación

Los efectos de la lluvia en la propagación radioeléctrica revisten particular importancia en el caso de los circuitos de satélite porque tales efectos empiezan a ser perceptibles en torno a 4 GHz, según la intensidad de las precipitaciones y la longitud del trayecto de propagación que se halle bajo la lluvia. Esos efectos pueden clasificarse como sigue:

- atenuación,
- despolarización,
- dispersión.

Cada uno de estos factores tiene una importancia considerable en las situaciones de planificación de frecuencias. El problema fundamental que plantea la lluvia es generalmente el de la despolarización en transmisiones por debajo de 10 GHz y el del gran aumento de la atenuación en transmisiones por encima de 10 GHz. Así, en la banda 6/4 GHz, en la que empiezan a emplear normalmente los satélites con reutilización de las frecuencias mediante polarización ortogonal, la discriminación por polarización cruzada puede descender de un valor nominal de 30 dB a un nivel de 12 a 15 dB durante periodos de lluvia intensa. Se tendrá que prestar la debida atención a este factor durante la fase de diseño del sistema. Para dar una idea de la atenuación que puede causar una lluvia intensa, cabe citar el Informe 721 del que se desprende que una intensidad de lluvia de 60 mm/h causa una atenuación de 3 dB/km a 13,5 GHz y de 0,3 dB/km a 6 GHz. Una lluvia tan intensa es, sin embargo, rara en la mayoría de los climas y suele producirse en células de dimensiones horizontales limitadas. Ello significa, en primer lugar, que sólo se necesitan márgenes superiores de atenuación causada por la lluvia, incluso en los climas tropicales lluviosos, cuando se piensa en disponibilidades de enlaces muy altas de circuito y, en segundo lugar, que tales intensidades de lluvia no afectarán con toda probabilidad a más de una estación o a muy pocas estaciones de una red determinada al mismo tiempo.

Las características de la lluvia varían mucho en las distintas partes del mundo y conviene consultar el Informe 563 para obtener información general al respecto. Cabe señalar, sin embargo, que las estadísticas locales de lluvia son la base óptima para la planificación de los sistemas porque en los datos mundiales del Informe 563 no se pueden tener en cuenta las variaciones locales.

No hay que pensar que la lluvia intensa constituye un obstáculo insuperable para el uso de las frecuencias más elevadas, por ejemplo, las superiores a 10 GHz pero hay que comprender que, para la planificación eficaz de una red de satélite, conviene examinar con sumo cuidado las características pluviométricas de las ubicaciones previstas de la estación terrena. De este modo se identificarán con toda claridad las zonas — normalmente limitadas — en las que la lluvia podría plantear dificultades y se preverán las tolerancias adecuadas en la planificación del sistema. Por ejemplo, se podrían concebir sistemas con valores de disponibilidad semejantes a los de los servicios terrenales existentes en países donde se estudian sistemas de satélites de pequeña capacidad. Si se reducen las exigencias de disponibilidad de enlaces del sistema, se podrían utilizar bandas de frecuencias entre 10 y 15 GHz con márgenes semejantes a los requeridos para las bandas 6/4 GHz.

5. Métodos de modulación y de acceso múltiple

Por razones económicas las estaciones terrenas de escasa capacidad tendrán, en general, una relación G/T relativamente reducida. Los enlaces por satélite de dichas estaciones tendrán una potencia limitada, por lo que la utilización eficiente de la energía radiada por el satélite en cada canal constituirá uno de los principales factores en la elección del método de modulación para sistemas de pequeña capacidad. Por tanto, son preferibles métodos de modulación con una baja relación C/N_0. Además, en la elección del método de modulación para los sistemas de pequeña capacidad han de tenerse en cuenta otras importantes consideraciones, como son la capacidad de canales, la utilización eficaz del espectro radioeléctrico, la flexibilidad en la interconexión, el interfaz con las redes terrenales, la posible necesidad de interconexión con la red internacional, el costo de inversión y la facilidad de instalación y mantenimiento.

Entre las posibles técnicas de modulación y de acceso múltiple para el servicio fijo por satélite examinadas en el Informe 708, las más adecuadas para considerarlas en sistemas de pequeña capacidad son actualmente las siguientes:

- MDF-MF-AMDF;
- un solo canal por portadora (SCPC): MIC-MDP o MF con compresión-expansión silábica.

El MDF-MF-AMDF es la técnica convencional normalmente utilizada en el servicio fijo por satélite. Sin embargo, para un pequeño número de canales que operan en un modo preasignado y, si la cantidad de llamadas por unidad de tiempo es baja, no se utiliza eficientemente la potencia del satélite ni la anchura de banda.

En los sistemas de escasa capacidad, resulta interesante el funcionamiento mediante portadoras monocanal (SCPC) ya que ofrece una considerable flexibilidad y economía en lo que respecta a la potencia del satélite y a la anchura de banda. Las principales ventajas de los sistemas SCPC son las siguientes:

- permiten utilizar portadoras accionadas por la voz, ahorrando así la potencia del satélite;
- ausencia del equipo múltiplex; donde la estación terrena puede situarse en la central local o fuera de ella;
- los canales pueden establecerse gradualmente;
- una flexibilidad en la transmisión ya que en cada canal va por una portadora separada;
- con el sistema SCPC se facilita el empleo de la asignación por demanda.

La elección del tipo de modulación en el caso de los sistemas SCPC favorecerá algunas veces a la modulación de frecuencia con compresores-expansores y acentuación y otras a los sistemas digitales como la modulación delta o MIC. Actualmente no sería posible optar definitivamente por una u otro y esa elección dependerá de los factores propios de cada caso concreto (por ejemplo, el costo de los equipos, la competencia del personal existente en materia de mantenimiento, las necesidades de servicios de datos, las condiciones de interferencia, etc.).

En el cuadro I se recogen los parámetros de transmisión para los diferentes métodos de modulación. De ellos cabe concluir que los sistemas de modulación delta a 32 kbit/s y SCPC-MC con compresión-expansión silábica ofrecen ventajas sobre las demás alternativas.

CUADRO I – *Ejemplo de parámetros de transmisión de los distintos métodos de modulación*

Tipo de modulación	Calidad del circuito	Relación C/N_0 requerida (dB(Hz))	Anchura de banda de ruido por portadora
MDF-MF (para 12 canales)	S/N = 50 dB	74	1,15 MHz
SCPC 64 kbit/s MIC-MDP-4 niveles	Proporción de bits erróneos 10^{-5}	61	38 kHz
SCPC 32 kbit/s MD-MDP-2 niveles	Proporción de bits erróneos 10^{-4}	56	38 kHz
SCPC-MF con compresión-expansión	S/N = 50 dB (con compresores-expansores)	55	25 kHz

5.1 *Acceso múltiple por asignación según demanda (AMAD)*

Los circuitos de satélite pueden utilizarse para establecer conexiones telefónicas entre estaciones terrenas rurales mediante dos modalidades básicas: asignación permanente y acceso múltiple por asignación según demanda. Los circuitos de asignación permanente conectan «permanentemente» estaciones terrenas que cuenten con equipos de enlace similares. Por el contrario, un circuito AMAD entre dos estaciones terrenas se establece sólo cuando se necesita para efectuar una llamada entre ellas.

Todo sistema que asigna circuitos de satélite por demanda, utilizará los circuitos y el equipo de modulación-acceso de manera más eficiente que si los circuitos están asignados en forma permanente.

Existen dos tipos de control de asignación según demanda. Uno de ellos es el control distribuido, en el que cada una de las estaciones terrenas dispone de equipos de control de igual complejidad. El sistema SPADE emplea este tipo de control de la asignación según demanda. El otro es el control centralizado, en el que la complejidad del tipo de control de la asignación según demanda se limita a la estación central para obtener una estación terrena de baja capacidad sencilla. En este caso, es necesario un canal de señalización bidireccional para la transmisión y la recepción de la señal de control de la asignación según demanda. Puede disponerse un canal de señalización común utilizando una portadora separada con operación AMDT o AMDF. Esta configuración permite una elevada flexibilidad de control, pero el equipo resulta bastante complicado. Puede simplificarse el equipo empleando un método de acceso aleatorio como es la transmisión de paquetes aleatoria.

6. Consideraciones relativas a la interferencia

En general, los sistemas del servicio fijo por satélite comparten bandas de frecuencias comunes con los servicios terrenales y con otras redes de satélite, por lo que la compartición de bandas da lugar a dos situaciones de interferencia básicas:

- interferencia causada y sufrida por los servicios terrenales;
- interferencia causada y sufrida por otras redes de satélite.

Con el objeto de facilitar la compartición con los servicios terrenales, el Reglamento de Radiocomunicaciones limita la p.i.r.e. radiada por la estación terrena hacia el horizonte y la densidad de flujo de potencia producida por la estación espacial en la superficie de la Tierra. Estos límites se especifican en los artículos 27 y 28.

A fin de mejorar la utilización del recurso órbita/espectro así como la compartición entre redes de servicios espaciales, el artículo 29 comprende también restricciones en cuanto a la exactitud del mantenimiento en posición de los satélites y de la orientación del haz de las antenas. El artículo 29 comprende también una disposición encaminada a minimizar la p.i.r.e. emitida por la estación terrena fuera de su eje en dirección de la órbita geoestacionaria y disposiciones para controlar la interferencia a los sistemas geoestacionarios del servicio fijo por satélite producida por cualquier sistema no geoestacionario de los servicios espaciales.

6.1 *Interferencia entre redes*

El Informe 455 identifica los principales elementos que influyen en la compartición de frecuencias entre redes del servicio fijo por satélite.

El elemento fundamental que limita la compartición es la interferencia. La interferencia produce una degradación de la calidad de funcionamiento del sistema. La medida de esta degradación depende del tipo de modulación. Por ejemplo, en los enlaces telefónicos analógicos la degradación se mide en picovatios de ruido adicional introducidos en un canal telefónico; en las señales digitales la degradación se mide por el aumento de la proporción de bits erróneos en el detector. En todos los casos, la repercusión de la interferencia en el diseño del sistema consiste en que se requieren mayores márgenes.

Como el estudio de carácter general sobre la interferencia entre redes puede encontrarse en otros textos del CCIR (particularmente en las Recomendaciones 466, 483, 523 y 524 y en los Informes 453, 454 y 455), sólo se mencionarán seguidamente los factores propios de los sistemas de pequeña capacidad.

La elevada sensibilidad y ganancia de transferencia de un satélite destinado a las telecomunicaciones en una pequeña zona de cobertura permite utilizar una p.i.r.e. reducida en las estaciones terrenas asociadas, lo que tiende a disminuir el nivel de interferencia del enlace ascendente causada a los satélites de gran cobertura de otros sistemas. La elevada ganancia de la antena receptora de los satélites de ese tipo de redes puede hacerlos más susceptibles a la interferencia procedente de estaciones terrenas de otros sistemas en la misma zona de cobertura, lo cual puede, por otra parte, atenuarse reduciendo eficazmente la ganancia de la antena del satélite fuera de la zona de cobertura.

La utilización de una antena pequeña de estación terrena para la transmisión hacia un satélite con antena receptora de gran cobertura supone necesariamente que el transmisor tenga una mayor potencia de salida para compensar la baja ganancia de antena. Como consecuencia de ello, la densidad espectral de la p.i.r.e. radiada hacia otros satélites tenderá a ser elevada y a aumentar consiguientemente la separación orbital mínima admisible entre el satélite deseado y los demás satélites que cubran el mismo territorio. En este caso, tal vez se requiera un mejor rendimiento de los lóbulos laterales en la transmisión, o considerar el empleo de una antena mayor, teniendo en cuenta que son aplicables los límites de la Recomendación 524.

La p.i.r.e. inherentemente elevada del enlace descendente de una red de satélite nacional tiende a aumentar la interferencia causada a las estaciones terrenas de un servicio internacional. La interferencia entre redes de ese tipo tiende a constituir un problema tanto más serio cuanto mayor sea la disparidad entre las zonas de cobertura de los dos sistemas; el Informe 453 trata acerca de ese problema de interferencia entre sistemas cuyos parámetros difieren considerablemente (inhomogeneidad). En este caso, se aplican los límites de dfp de la Recomendación 358.

En general, mientras más pequeña es la relación D/λ de la antena de la estación terrena, más difíciles serán los problemas de interferencia en relación con el funcionamiento de satélites adyacentes en las mismas bandas de frecuencias y en la misma zona de cobertura. Sin embargo, puede ser posible superar este problema reduciendo los niveles de los lóbulos laterales de la antena de la estación terrena y mediante coordinación.

6.2 *Interferencia con sistemas de relevadores radioeléctricos terrenales*

Cuando funcionan en las mismas bandas de frecuencias, los sistemas de comunicaciones por satélite y los de relevadores radioeléctricos terrenales por microondas experimentan problemas de interferencia mutua, aunque en el tipo de redes examinadas en este Informe, esto puede no ser un problema muy grave, ya que es posible que no haya una red de relevadores radioeléctricos terrenales extensa en las zonas en las que han de situarse las pequeñas estaciones. No obstante, cuando las estaciones terrenas están situadas en la vecindad de sistemas de relevadores radioeléctricos terrenales, es necesario considerar la interferencia causada a estos enlaces y la debida a ellos.

El mecanismo de interferencia es cuádruple, pero con los sistemas terrenales sólo son pertinentes para la coordinación dos de los mecanismos, que son los siguientes:

- transmisor de estación terrena → receptor terrenal de microondas
- transmisor terrenal de microondas → receptor de estación terrena

En sus Recomendaciones 356, 558 y 357, el CCIR indica el valor de la interferencia admisible. A fin de mantener la interferencia real en las redes terrenales por debajo de los valores máximos admisibles recomendados por el CCIR, el artículo 28 del Reglamento de Radiocomunicaciones impone límites a las emisiones de estación terrena y a las emisiones de satélite. Recíprocamente, el artículo 27 del Reglamento de Radiocomunicaciones limita la p.i.r.e. y la potencia de transmisión de las estaciones terrenales a fin de que las redes espaciales no sufran una interferencia superior a la especificada por el CCIR.

Pueden considerarse varios factores para reducir el nivel de interferencia mutua entre redes de satélite y terrenales. A continuación se indican algunos ejemplos:

- *Empleo de antenas de haz estrecho*

  El empleo de antenas de haz estrecho en los enlaces ascendente y descendente reduce usualmente la interferencia causada por la estación terrena a estaciones terrenales porque, al aumentar la sensibilidad del satélite, permite reducir la p.i.r.e. de la estación terrena.

- *Empleo de antenas de estaciones terrenas con lóbulos laterales de bajo nivel*

  El empleo de antenas de estaciones terrenas con lóbulos laterales de bajo nivel en las bandas de frecuencias de transmisión y de recepción reduce la interferencia mutua entre la estación terrena y las estaciones radioeléctricas terrenales.

- *Aprovechamiento de características topográficas, edificios, etc.*

  Una gran distancia y la presencia de edificios, etc., que bloqueen la propagación de ondas radioeléctricas de un sistema a otro, constituyen los medios más elementales de reducir la interferencia con sistemas terrenales. Las montañas y las colinas juegan un papel útil a este respecto. Tratándose de zonas urbanas, un experimento indica que la presencia de edificios en el trayecto de las ondas interferentes entrantes reduce la interferencia considerablemente (véanse los Informes 390 y 382).

- *Otros medios*

  Cuando las características geográficas del terreno, los edificios y otros elementos no permiten aliviar los problemas de interferencia, se puede recurrir con tal finalidad a la instalación, delante de la antena pequeña, de una pantalla hecha de metal o de una malla de alambre con un material que absorba las ondas radioeléctricas.

En resumen, si se eligen cuidadosamente los sitios de emplazamiento y se toman medidas apropiadas para reducir las interferencias, un sistema de telecomunicaciones nacionales por satélite compuesto de estaciones terrenas pequeñas podrá compartir su banda de frecuencias con los sistemas terrenales, lo que redundará en beneficio de ambos.

7. Características de la estación terrena

7.1 *Antecedentes*

Las estaciones terrenas deben ser muy sencillas, consumir el mínimo de energía primaria y tener al mismo tiempo antenas muy pequeñas que convengan a la concepción global del sistema. La utilización de la infraestructura existente, como ubicar el terminal de estación terrena en un edificio ya construido (junto con una central telefónica rural, por ejemplo) contribuiría a reducir el costo de instalación de la estación terrena. Además la eliminación de los enlaces de conexión terrenales, si ello es posible, reduciría el coste del sistema.

Se parte de la hipótesis de que la mayoría de las zonas que se atenderán con ese tipo de sistema no siempre estarán electrificadas. De ahí que el bajo consumo de energía primaria sea una de las principales consideraciones del diseño para que el funcionamiento pueda basarse en la utilización de una pequeña batería cargada por células solares o alguna otra fuente disponible.

7.2 *La antena de la estación terrena*

El tamaño de la antena debe decidirse como compromiso entre los factores mecánicos de masa, carga por el viento, pérdida debida a errores de puntería, interferencia entre sistemas, capacidad del sistema y otros factores tales como los diagramas de radiación de los lóbulos y la ganancia. Por lo que respecta a los factores debidos a la masa, la carga por el viento y la pérdida por errores de puntería, junto con la necesidad de normalizar un proyecto que sea estable pero que no requiera demasiada experiencia en las fases de montaje, puede considerarse apropiada, en términos generales, una dimensión de 3 a 6 m en 6/4 GHz y de unos 2 a 4 m en 14/(11 y 12) GHz. En este caso, resulta conveniente que los niveles de los lóbulos laterales de la antena se reduzcan lo más posible

en relación con el diagrama de radiación de referencia descrito en el Informe 391, a fin de superar los problemas de interferencia mutua entre la estación terrena y las estaciones radioeléctricas terrenales y de que no disminuya la eficacia de utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios. Las antenas de lóbulos laterales de bajo nivel que satisfacen este requisito ya se han desarrollado y su descripción figura en el § 3.2 del Informe 998. En aquellos casos particulares en que, por ejemplo, pudieran considerarse necesarios márgenes de atenuación por lluvia mayores, podrían instalarse antenas más grandes.

El empleo de una antena de estación terrena demasiado pequeña puede, en determinados casos, exigir un amplificador de muy alta potencia (AAP) así como un amplificador de baja temperatura de ruido (ABR), lo que a su vez puede entrañar un mayor costo de la estación terrena. Sin embargo, al diseñar un sistema por satélite es posible minimizar esos costos mediante la optimización de la combinación de los costos de la antena, del AAP, del ABR, etc.

Al seleccionar el tamaño de la antena, debe recordarse que es preciso considerar detenidamente el tiempo de vida útil previsto, incluidos los factores de crecimiento de tráfico. La antena es esencialmente pasiva, no requiere mantenimiento y no quedará anticuada tan pronto como otros elementos del sistema.

7.3 *Temperatura de ruido típica de la estación terrena*

Los actuales amplificadores a 4 GHz de bajo ruido y costo relativamente pequeño son casi siempre del tipo FET AsGa. Los amplificadores típicos de bajo ruido no refrigerados disponibles comercialmente, tienen temperaturas de ruido de 90 K a 150 K a 4 GHz y de 250 K a 530 K a 11 GHz. Con un margen de unos 40 K para la temperatura de ruido de la antena con ángulos de elevación no inferiores a 30°, se puede alcanzar una temperatura de ruido de un sistema de 130 K a 4 GHz y de 290 K a 11 GHz.

7.4 *Transmisor de la estación terrena*

En muchas zonas rurales presenta problemas disponer de energía primaria y puede ser necesario disponer de energía solar y baterías recargables. Por lo tanto es necesario mantener bajo el consumo de energía de la estación terrena y utilizar la potencia transmitida más baja posible. Es esencial que el satélite tenga una gran sensibilidad si se quiere utilizar una estación terrena de pequeño tamaño. Si la potencia transmitida se mantiene suficientemente baja, se facilita el uso de transmisores totalmente de estado sólido en la estación rural, que no son únicamente mucho más baratos sino más fiables que los dispositivos termoiónicos.

7.5 *Equipo de un solo canal por portadora*

El equipo de un solo canal por portadora está muy generalizado en los casos de poco tráfico. Sin embargo, los sistemas existentes tienen un alto grado de flexibilidad operativa que se podría descartar para reducir el coste. El uso de osciladores de cuarzo en los convertidores elevadores y reductores en vez de sintetizadores reducirá el costo y aumentará la fiabilidad de la estación terrena; ahora bien, se tendrá que tener en cuenta la pérdida resultante de flexibilidad operativa del satélite.

Si no se utiliza inicialmente el acceso múltiple con asignación por demanda, hay que tomar disposiciones para la adición futura de equipo de esta clase, dándose preferencia a los del tipo de control centralizado.

Conviene utilizar un sistema de señalización compatible con el control de la portadora activado por la voz.

8. Características de la estación espacial

Las características de la estación espacial o del satélite tienen una importancia capital en el diseño de la red de satélite porque influyen directamente en muchos parámetros de la estación terrena. Para el funcionamiento con estaciones terrenas de pequeño tamaño, el satélite (o los transpondedores que atienden los sistemas de pequeña capacidad) tienen que cumplir ciertos requisitos precisos:

- generación de p.i.r.e. elevadas, ya sea utilizando haces estrechos, una potencia elevada o alguna combinación de ambos en función de la zona de servicio;
- exactitud del mantenimiento en posición de la estación tanto en las direcciones Este-Oeste como Norte-Sur, para eliminar la necesidad de prestar servicos de seguimiento a los terminales terrenos;
- mayor sensibilidad y ganancia de transferencia más elevada.

8.1 *Zona de cobertura y tamaño de la antena*

La forma del haz de la antena de la estación espacial en la situación ideal, está determinada por la exigencia de la cobertura, que, a su vez, limita la ganancia de la antena. Las restricciones relativas al tamaño físico del vehículo de lanzamiento imponen límites a las dimensiones del reflector de la antena, las cuales, como dependen de la frecuencia de explotación, pueden estar en conflicto con la cobertura óptima deseada.

En general, las anchuras de haz en la gama de 17° (cobertura de la Tierra) a 0,6°, y 17° a 2,5° son prácticas para las bandas de 14/(11 y 12) GHz y 6/4 GHz respectivamente.

Actualmente se está aplicando una tecnología de conformación de haz mediante la utilización de grandes reflectores excitados por múltiples alimentadores, como un medio para lograr haces mejor conformados y para generar múltiples haces estrechos de anchuras diferentes con el objeto de servir zonas de cobertura específicas. Sin embargo, puede permitir la subdivisión de una zona de cobertura específica en zonas más pequeñas para cubrirlas con varios haces estrechos.

8.2 *P.i.r.e. de la estación espacial*

La p.i.r.e. total que se puede obtener de un satélite depende de una serie de factores, entre los que figuran:

- la cantidad de potencia en corriente continua que puede proporcionar el sistema de suministro de energía del satélite, probablemente alrededor de 800 W a 1 kW para los satélites más pequeños;
- la eficacia de los dispositivos de transmisión, generalmente tubos de ondas progresivas, para convertir la potencia de corriente continua en potencia de RF. Los satélites existentes más pequeños producen generalmente unos 200 a 300 W de potencia de RF;
- la ganancia de la antena transmisora, que, según se ha indicado en el punto precedente, depende de la zona de cobertura y de la tecnología de antena que se haya adoptado.

La masa probable por tranpondedor, la masa total disponible para la carga útil, y la gama de potencias de salida disponibles en los transmisores espaciales cualificados, son factores importantes a la hora de determinar el número de transpondedores que contendrá la carga útil y, por tanto, la potencia de RF de salida por transpondedor. Se dispone de tubos de ondas progresivas en la gama de 10 a 20 W que han sido probados ya en el espacio en las bandas de 4 GHz y (11 y 12) GHz; en cuanto a los tubos de potencias más elevadas, se están haciendo pruebas de calificación o se encuentran en desarrollo, por lo menos en la banda 11 a 12 GHz.

La potencia de RF de salida por transpondedor y la ganancia de la antena transmisora (después de tenerse en cuenta las pérdidas entre el transpondedor y la antena) determinan en último término, la p.i.r.e. por transpondedor.

8.3 *Mantenimiento en posición de la estación espacial y puntería del haz de la antena*

La posibilidad de utilizar estaciones terrenas pequeñas sin seguimiento depende en muy alto grado de la exactitud del mantenimiento en posición del satélite. En el Reglamento de Radiocomunicaciones (artículo 29) se especifica la necesidad de la precisión mínima del mantenimiento en posición en la dirección Este-Oeste pero, según la ganancia de la antena de la estación terrena, se requiere también una gran exactitud en el mantenimiento en posición en la dirección Norte-Sur. Normalmente, se obtiene una exactitud de $\pm 0{,}1°$ en las direcciones Norte-Sur y Este-Oeste. En tal situación, el tamaño de la antena de la estación terrena que puede utilizar dependerá de la reducción aceptable de ganancia debida a los errores de puntería resultantes y a la frecuencia de explotación (véase el Informe 390).

La exactitud de puntería del haz de la antena del satélite reviste igual importancia. Con la tecnología del momento puede obtenerse una exactitud de puntería del haz de $\pm 0{,}3°$. La utilización de haces muy estrechos que requieren una puntería más exacta complicaría el sistema de control de actitud.

8.4 *Sensibilidad y ganancia del transpondedor*

Para el funcionamiento con estaciones terrenas pequeñas, la ganancia del transpondedor tiene que ser elevada, lo que se facilita con una ganancia elevada de transmisión y recepción de la antena del satélite coherente con la cobertura necesaria. En el caso de sistemas de satélite que funcionan con estaciones pequeñas, se puede necesitar una densidad de flujo de saturación del orden de -90 dB(W/m^2).

Un factor de calidad (G/T) del satélite de valor más elevado junto con una mayor ganancia del transpondedor facilitaría el empleo de una potencia de transmisión baja en las estaciones terrenas.

8.5 *Posición del satélite*

La situación del satélite en la órbita geoestacionaria al Este o al Oeste de la zona de cobertura deseada puede ofrecer una mejor calidad de funcionamiento. En esta situación, debido a que se ve oblicuamente, la zona de cobertura sobre la superficie de la Tierra proyecta un ángulo sólido menor en el satélite, es decir, se reduce la proyección de la zona de cobertura en el plano perpendicular al trayecto de propagación. De este modo, el satélite puede utilizar una antena de haz estrecho de ganancia más elevada que puede con creces la longitud adicional del trayecto y ofrecer una clara mejora del nivel de la señal recibida. Esto puede también reducir la sensibilidad de las estaciones terrenas al mantenimiento en posición del satélite. Sin embargo, el desplazamiento del satélite de la región de cobertura puede significar ángulos de elevación menores para las estaciones terrenas con la consiguiente repercusión en la temperatura de ruido de la antena y en la atenuación debida a la lluvia, en especial en las bandas 14/(11 y 12) GHz y superiores.

8.6 *Consideraciones sobre la obtención de un segmento espacial*

El segmento espacial del sistema de baja capacidad puede obtenerse mediante el arriendo de transpondedores de un sistema ya existente o mediante satélites especiales que pueden formar parte de un sistema regional o nacional. El arriendo de transpondedores es interesante porque puede hacerse inmediatamente, no se corre el riesgo de un fallo en la puesta en órbita del satélite especificado, no hay problemas de funcionamiento del satélite,

y la red puede realizarse muy rápidamente, con la sola limitación constituida por el tiempo de instalación del segmento en tierra. Por otra parte, los satélites especiales ofrecen más flexibilidad para el diseño del sistema. En algunos casos, la utilización inicial del arriendo, completada en tiempo oportuno por otras disposiciones, puede ser el mejor método a condición de que se disponga de satélites de características adecuadas.

9. Resumen

Según se desprende de este Informe, son muchos los factores que deberán tenerse en cuenta para proporcionar el mejor sistema por satélite destinado a satisfacer un conjunto de requisitos determinado. Algunos de los factores examinados comprenden:

- la propagación,
- el tipo y calidad de funcionamiento de los métodos de acceso múltiple,
- la interferencia entre sistemas radioeléctricos adyacentes, tanto en el espacio como en tierra,
- la tecnología de las estaciones terrenas,
- la tecnología de las estaciones espaciales.

No se han formulado conclusiones sobre los parámetros preferidos de un sistema que utilice estaciones terrenas de pequeña capacidad, ya que estos parámetros dependen en gran medida de los requisitos específicos de cada aplicación.

Es evidente que se dispone de la tecnología necesaria para establecer sistemas de comunicaciones por satélite que respondan a las necesidades de los países en desarrollo y de las diversas administraciones en lo que respecta al empleo de estaciones terrenas de pequeña capacidad. El GAS 7 del CCITT está estudiando sistemas de estaciones terrenas de pequeña capacidad para uso en zonas rurales y lugares apartados.

ANEXO I

EJEMPLO DE CÁLCULOS DE ENLACES PARA POSIBLES SISTEMAS DE SATÉLITES NACIONALES RURALES

1. Introducción

La tecnología de sistemas de satélite avanza constantemente. Por lo tanto, no procede cuantificar, en el Informe principal, muchos de los parámetros pertinentes para el diseño de un sistema de estaciones terrenas de pequeña capacidad y sus satélites asociados. Sin embargo, para comprender mejor las complejas interacciones de esos parámetros, es preciso examinar, al menos, algunos ejemplos de cálculos de enlaces. Para desarrollar un sistema real, será necesario un análisis mucho más detallado.

Por ejemplo, habría que elegir entre muchos valores posibles para la mayoría de los parámetros, al aplicar un sistema concreto. Han de emprenderse estudios de compensación detallados para tener en cuenta a veces los requisitos conflictivos, con el fin de minimizar el costo del sistema terreno, lograr una eficacia razonable en la utilización de los recursos del satélite y de la órbita, y al mismo tiempo, proporcionar el servicio requerido. También ha de tenerse en cuenta la facilidad de instalación, explotación y mantenimiento.

2. Características generales de la estación terrena

Asimismo la estación terrena debería especificarse de modo que se favoreciera su producción en forma de «kit» fabricado en serie, y que implicara técnicas de montaje lo más sencillas posible.

Convendría normalizar la construcción modular utilizando únicamente componentes de estado sólido. Considerando el compromiso normal entre bajo precio y fiabilidad, el proyecto final debería prever:

- adecuada estabilidad bajo todas las condiciones climatológicas para todos los componentes que afectan los parámetros de transmisión (ganancia, potencia de salida, estabilidad de frecuencia, etc.);
- técnicas SCPC que utilicen una anchura de banda de canal comprendida entre 20 y 40 kHz;
- un sistema de señalización compatible con el control de portadora accionado por la voz utilizada;
- la adición futura de equipos para acceso múltiple por asignación según demanda.

3. Consideraciones sobre la viabilidad del sistema

La finalidad de las siguientes características del sistema, dadas a título de ejemplo, es el presentar una amplia gama de posibilidades que utilizan la tecnología actual para proporcionar un sistema de satélites de pequeño tráfico.

Los ejemplos elegidos tienen solamente carácter indicativo. Para lograr que el diseño aplicado finalmente para cualquier conjunto de requisitos sea económico, técnicamente seguro y compatible con otros sistemas de radiocomunicaciones espaciales y terrenales se requeriría una amplia labor, mucho más extensa posiblemente de la que se presenta aquí.

Para ilustrar el servicio a dos zonas de cobertura de distinto tamaño, con sendos pares de bandas de frecuencias en 6/4 y 14/(11 y 12) GHz, se incluyen cuatro ejemplos de satélites (véase el cuadro III). La zona de cobertura más amplia es la asociada con un haz de antena de satélite de 3°, que cubre una zona circular sobre la Tierra de unos 2000 km de diámetro cuando el satélite se encuentra sobre el punto central. Operando hasta un ángulo de elevación de 30°, la dimensión de este diámetro aumenta a unos 4000 km. La zona de cobertura más pequeña, en el supuesto de un haz de antena de satélite de 1°, da un diámetro para la zona de cobertura correspondiente de 700 km, que aumenta a 1400 km, con un ángulo de elevación de 30°. También se han elegido cuatro ejemplos de pequeñas estaciones terrenas (véase el cuadro II), para ilustrar la interacción entre el funcionamiento de la estación espacial y la terrenal.

CUADRO II – *Ejemplo de características de la estación terrena*

	6/4 GHz		14/12 GHz	
Diámetro de la antena (m)	3	4,5	2	3
Ganancia en transmisión (dBi)	43,4	46,8	47,2	50,7
Anchura del haz en transmisión entre puntos a 3 dB (grados)	1,2	0,8	0,75	0,5
Ganancia en recepción (dB)	39,8	43,3	45,5	49,0
Temperatura de ruido del sistema T(K) 10 log T	21,1	21,1	24,6	24,6
Factor de calidad G/T(dB(K^{-1}))	18,7	22,2	20,9	24,4

Nota. – Se supone un rendimiento de la antena del 60%.

CUADRO III – *Ejemplo de características de satélite*

Anchura del haz aproximada de la zona de cobertura (grados)	3		1	
Banda de frecuencias (GHz)	6/4	14/12	6/4	14/12
Vehículo espacial				
Diámetro de la antena (m)	1,1	0,45	2,0 (2)	1,25
Anchura del haz en recepción (grados) (1)	3,2	3,2	1,75	1,2
Ganancia máxima en recepción (dB)	34,2	34,2	39,4	42,7
Temperatura de ruido del receptor (K)	800	1300	800	1300
G/T del vehículo espacial en un contorno de 3 dB (dB(K^{-1}))	2,2	0,0	7,4	8,6
Ganancia máxima en transmisión (dB)	30,6	32,0	35,8	41,0
Potencia del amplificador TOP (dBW) (3)	7	7	7	7
p.i.r.e. de saturación en un contorno de 3 dB (dBW) (incluida la pérdida de salida de 2 dB) (4)	32,6	34,0	37,8	43,0
Densidad de flujo de potencia del transpondedor en saturación (dB(W/m^2))	−90	−90	−90	−90

(1) Comprende un margen de ± 0,1° para la exactitud de puntería del haz. Se suponen asimismo las mismas antenas para transmisión y recepción, por lo que la abertura del haz mínima se determina mediante la frecuencia de recepción.

(2) Se supone un diámetro de reflector de la antena máximo.

(3) El empleo de un transpondedor de 5 W en el ejemplo no representa el límite de capacidad en estas bandas de frecuencias.

(4) Como se ha dicho, la p.i.r.e. de transmisión se basa en este ejemplo en un contorno de ganancia de 3 dB. Debe señalarse que la cobertura especificada se situará fácilmente dentro de esta cobertura de transmisión de 3 dB.

Utilizando la modulación de frecuencia con compresión-expansión y activación por la voz, en el cuadro IV puede verse que, con las características representativas del sistema elegidas, la mayor cobertura presenta una capacidad por transpondedor en 6/4 GHz comprendida entre unos 500 y 1000 canales telefónicos, y en 14/(11 y 12) GHz, entre 75 y 160 canales telefónicos según la calidad de la estación terrena elegida. Para la zona de cobertura más pequeña, las capacidades correspondientes son 1200 y 400 canales telefónicos en 6/4 GHz y 14/(11 y 12) GHz, respectivamente; por supuesto, estas cifras variarán también según el tamaño de la estación terrena.

Conforme se ha dicho al principio de esta parte, debe recordarse que estos ejemplos no se han optimizado en modo alguno para lograr mejor los objetivos de los sistemas terrenos pequeños a que se hace referencia en el cuerpo del presente Informe. Por ejemplo, algunos de los ejemplos facilitados probablemente no puedan aplicarse utilizando transmisores transistorizados de estaciones terrenas. Si se citan es para ayudar a comprender los diversos factores que intervienen en el diseño de un sistema. Sin embargo, da lugar a una nueva optimación, teniendo en cuenta la aplicación de los sistemas en la práctica.

CUADRO IV – *Ejemplo de balances de enlaces para la transmisión SCPC entre terminales pequeños*

Anchura del haz aproximada de la zona de cobertura (grados)	3				1	
Banda de frecuencias (GHz)	6,2/4		14,25/11,7		6,2/4	14,25/11,7
Tamaño de la estación terrena (m)	3	4,5	2	3	3	2
Reducción de la potencia de entrada del transpónder respecto a la saturación (2) (dB)	3	5	2,5	2,5	9	3
p.i.r.e./portadora del enlace ascendente (dBW)	46,8	42,2	56,4	53,1	37,4	48,7
Otras degradaciones (dB)	0,5	0,5	1	1	0,5	1
Pérdida del trayecto (dB)	200	200	207,3	207,3	200	207,3
G/T del satélite (dB(K^{-1}))	2,2	2,2	0	0	7,4	8,6
C/N_0 del enlace ascendente (dB(Hz))	77,1	72,5	76,7	73,4	72,9	77,6
Reducción de la potencia de salida del transpónder respecto a la saturación (2) (dB)	2,3	3	2,1	2,1	5	2,3
p.i.r.e./portadora del enlace descendente (dBW)	6,9	3,6	17,1	13,8	6,0	18,7
Atenuación por la lluvia (dB)	0	0	3	3	0	3
Otras degradaciones (dB)	0,5	0,5	1	1	0,5	1
Pérdida del trayecto (dB)	196,2	196,2	205,5	205,5	196,2	205,5
G/T de la estación terrena (dB(K^{-1}))	18,7	22,2	19,3(1)	22,8(1)	18,7	19,3(1)
C/N_0 del enlace descendente (dB(Hz))	57,5	57,7	55,5	55,7	56,6	57,1
C/N_0 de intermodulación (dB(Hz))	58,6	57,8	66,8	63,4	60,4	59,5
C/N_0 total (dB(Hz))	55,0	54,8	55,2(3)	55,0(3)	55,1	55,1(3)
Potencia de transmisión/portadora (W)	2,2	0,35	8,3	1,7	0,25	1,4
Capacidad del transpondedor (canales) (después del accionamiento por la voz 40%)	550	1000	75	160	1200	400

(1) Se supone una pérdida de 1,6 dB en la G/T durante periodos de atenuación debida a la lluvia de 3 dB.

(2) Se refiere a la reducción de potencia respecto a la de saturación de entrada o de salida del transpondedor en su conjunto. La relación exacta entre ambas (y la cantidad de ruido de intermodulación generada por determinada carga de portadora) depende del transpondedor realmente elegido para la carga útil.

(3) Este valor corresponde aproximadamente a un desvanecimiento de 3 dB en el enlace ascendente o en el descendente.

ANEXO II

EJEMPLO DE SISTEMAS

Ejemplo 1

Un ejemplo de las facilidades típicas que brinda un sistema por satélite de baja capacidad es el constituido por el sistema Bush existente en Alaska, que se describe sucintamente a continuación.

Las telecomunicaciones rurales se efectúan principalmente por un satélite nacional de Estados Unidos que opera en las bandas de 4/6 GHz, aunque algunos pueblos y comunidades reciben servicio por medio de sistemas de radioenlaces de visibilidad directa o de radiocomunicaciones VHF/UHF, o incluso por cable (subterráneo o marítimo).

El sistema rural, o sistema Bush, proporciona servicio telefónico a cada pueblo de más de veinticinco habitantes. Ello se consigue con 150 estaciones terrenas, 100 de las cuales reciben el nombre de estaciones terrenas Bush, tienen antenas de 4,5 m, y están situadas en los pueblos o sus proximidades. La extensión del servicio a los pueblos restantes se hace por otros medios, tales como las radiocomunicaciones en ondas métricas. Un servicio de salud pública (PHS) se presta a cincuenta y siete estaciones terrenas Bush. El PHS dispone de varios canales telefónicos específicos entre los pueblos y el hospital regional, de los que ocho se dedican a proporcionar al asistente sanitario local, instrucción médica sobre cuidados a los pacientes y en casos extremos a organizar la evacuación (casi siempre por vía aérea) de los enfermos graves al hospital. Además, unas treinta estaciones terrenas Bush están equipadas para recibir televisión transmitida por satélite.

El sistema electrónico de la estación terrena Bush se encuentra instalado en la mayoría de los casos en edificios proporcionados por la comunidad local. Las estaciones terrenas Bush estaban equipadas inicialmente de dos canales SCPC, utilizándose al menos un canal para el servicio telefónico público. En cincuenta y siete estaciones terrenas Bush, el segundo canal se dedica al servicio de salud pública. Aunque las estaciones terrenas Bush están equipadas en su mayoría para dos canales SCPC-MF algunas tienen solamente un canal (no hay servicio PHS), otras tienen hasta siete canales y una tiene dieciséis.

Las características de los modems para canales de la red Bush figuran en el cuadro V, y los objetivos de calidad de funcionamiento del sistema, en el cuadro VI.

CUADRO V – *Características del modem de canal de la red Bush*

	Extremo del canal Bush	Extremo del canal cabeza de línea (Bartlett)
Separación entre canales (kHz)	30,0	30,0
C/N_0 (dB(Hz))	56,0	57,6
Anchura de banda de frecuencia intermedia (kHz)	25,7	25,7
C/N (dB)	11,9	13,5
Excursión de cresta (Hz)	6505	6505
Mejora por acentuación (dB)	4,9	4,9
Mejora por compresor-expansor (dB)	12,3	12,3
Relación subjetiva señal/ruido (dB)	45,3	46,9

Ejemplo 2

Otro ejemplo de interés de un sistema de satélites concebido en parte para mejorar las posibilidades de comunicación con las zonas rurales y remotas, es la parte de 14/12 GHz del sistema canadiense ANIK-B. La porción espacial del sistema consta de un solo satélite que funciona en las bandas de 11,7 a 12,2 GHz y 14,0 a 14,5 GHz. Las señales, con una p.i.r.e. máxima de 51 dBW, se transmiten a través de un amplificador TOP de 20 W a dos haces de antena de 2°. Se utilizan cuatro de esos haces para proporcionar la cobertura de todo Canadá. En las zonas rurales y alejadas se emplean estaciones terrenas con diámetros de antena de 1,2 m, 1,8 m, 2,3 m y 3,0 m. El sistema permite las transmisiones telefónicas y de datos en los modos de un solo canal por portadora y AMDT, así como la transmisión de programas de televisión y otras señales video. Se están desarrollando aplicaciones de este sistema para fines sanitarios y educativos a distancia en zonas alejadas, como alternativa al transporte sobre distancias muy grandes.

CUADRO VI – *Objetivos de calidad de funcionamiento del sistema Bush*

	Extremo del canal Bush	Extremo del canal cabeza de línea (Bartlett)
a) Potencia media durante 1 min para más del 20% de cualquier mes	18 000 pWp	13 000 pWp
b) Potencia media durante 1 min para más del 0,3% de cualquier mes	50 000 pWp	50 000 pWp
El ruido se distribuye generalmente entre los diversos subsistemas de la forma siguiente:		
Ruido térmico del enlace ascendente, ruido térmico del enlace descendente, ruido de intermodulación del satélite, intermodulación fuera de banda de la estación terrena, intermodulación del transpondedor adyacente y de polarización cruzada:	16 000 pWp	11 000 pWp
Ruido del equipo de la estación terrena:	500 pWp	500 pWp
Ruido de interferencia (incluye la interferencia de fuentes terrenales y adyacentes del satélite):	1 500 pWp	1 500 pWp
Ruido total	18 000 pWp	13 000 pWp

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

SECCIÓN 4E: COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE LAS REDES DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE Y UTILIZACIÓN DE LA ÓRBITA DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

Recomendaciones e Informes

RECOMENDACIÓN 466-4

NIVEL MÁXIMO ADMISIBLE DE LA INTERFERENCIA, EN UN CANAL TELEFÓNICO DE UNA RED DE SATÉLITES GEOESTACIONARIOS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE QUE UTILICE LA MODULACIÓN DE FRECUENCIA CON MULTIPLAJE POR DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA, PRODUCIDA POR OTRAS REDES DE ESTE SERVICIO

(Programa de Estudios 28A/4)

(1970-1974-1978-1982-1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que distintas redes de satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite utilizan las mismas bandas de frecuencias;

b) que las interferencias entre las redes del servicio fijo por satélite contribuyen a aumentar el ruido en dichas redes;

c) que es conveniente que el ruido debido a las interferencias provocadas en los canales telefónicos de las redes del servicio fijo por satélite por las transmisiones de otras redes de este servicio tengan un nivel que permita asegurar una eficacia razonable en la utilización de la órbita;

d) que la calidad global de funcionamiento de una red debe permanecer esencialmente bajo la responsabilidad de quien haya proyectado la red;

e) que es necesario proteger cualquier red del servicio fijo por satélite contra las interferencias causadas por otras redes de este servicio;

f) que es necesario especificar el valor máximo admisible de la potencia de interferencia en un canal telefónico, a fin de determinar las características de las estaciones espaciales y de las estaciones terrenas;

g) que el valor elegido para la interferencia máxima admisible procedente de una sola fuente no debe producir una separación orbital mínima entre satélites demasiado amplia;

h) que para la coordinación entre dos redes de satélites es necesario conocer el nivel máximo admisible de interferencia en un canal telefónico de esa red, producida por los transmisores de la otra red;

j) que en una red del servicio fijo por satélite pueden recibirse interferencias, tanto en el receptor de a bordo de una estación espacial como en el receptor de una estación terrena;

k) que la potencia media de ruido debido a las interferencias debería representar una fracción adecuada de la potencia de ruido total admitida para el circuito ficticio de referencia;

l) que, en muchos casos, las contribuciones más importantes a la interferencia causada a una red de satélites geoestacionarios han de provenir de redes que utilizan satélites geoestacionarios próximos en órbita y que sirven zonas de cobertura que se superponen, y que el valor de la interferencia causada por otra red cualquiera será generalmente menor;

m) que no es probable que la acumulación de numerosas contribuciones de interferencia procedentes de otras redes de satélites y de estaciones terrenales sea igual a la suma aritmética de los valores máximos de las contribuciones individuales de interferencia en toda la banda, y el nivel del ruido de interferencia total en cualquier canal puede ser considerablemente menor;

n) que los niveles de la interferencia entre las redes de satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite que funcionen en las bandas de frecuencias inferiores a 10 GHz no experimentarán seguramente grandes variaciones en función del tiempo;

o) que en las bandas de frecuencias entre 10 y 15 GHz, en las que puede registrarse gran atenuación de propagación durante cortos periodos de tiempo, generalmente sería deseable para los sistemas emplear un control de potencia adaptativo para el enlace ascendente o diversidad de emplazamientos en la estación terrena u otras técnicas, para contrarrestar el desvanecimiento de la señal, y que en estas circunstancias los niveles de interferencia procedentes de otros sistemas de satélite tampoco experimentasen grandes variaciones en el tiempo,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que las diferentes redes de satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite que utilicen las mismas bandas de frecuencias, por debajo de 15 GHz, se diseñen de manera tal que la potencia del ruido debido a las interferencias en un punto de nivel relativo cero de cualquier canal telefónico del circuito ficticio de referencia de redes del servicio fijo por satélite con modulación de frecuencia, causada por el conjunto de las transmisiones de las estaciones terrenas y de las estaciones espaciales de otras redes del servicio fijo por satélite, no exceda de los valores siguientes:

1.1 en las bandas de frecuencias en que la red no reutiliza la frecuencia: 2500 pW0p, potencia media ponderada sofométricamente durante un minuto, durante más del 20% de cualquier mes.

1.2 en las bandas de frecuencias en que la red reutiliza la frecuencia: 2000 pW0p, potencia media ponderada sofométricamente durante un minuto, durante más del 20% de cualquier mes.

2. Que el nivel máximo de potencia de ruido debido a las interferencias, en un punto de nivel relativo cero de cualquier canal telefónico del circuito ficticio de referencia, en una red de satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite que utilice la modulación de frecuencia, causadas por el conjunto de las transmisiones provenientes de otra red del servicio fijo por satélite, no exceda de 800 pW0p, potencia media durante un minuto sofométricamente ponderada, durante más del 20% de cualquier mes.

3. Que los niveles máximos de potencia de ruido debido a interferencias causadas a esa red se calculen utilizando como ganancia de las antenas de las estaciones terrenas receptoras, orientadas en una dirección que forme un ángulo φ (expresado en grados) respecto de la dirección principal de radiación, los valores siguientes:

$G = 32 - 25 \log \varphi$ dBi para $1° \leqslant \varphi < 48°$

$G = -10$ dBi para $48° \leqslant \varphi \leqslant 180°$

excepto cuando se conozca la ganancia real y ésta sea inferior al valor precedente, en cuyo caso se utilizará el valor real.

4. Que las notas siguientes se consideren parte integrante de la presente Recomendación:

Nota 1. – Los valores indicados en los puntos 1.1, 1.2 y 2 no están destinados a aplicarse:

a) A las redes para las cuales una publicación anticipada completa haya sido sometida a la IFRB antes de la XIV Asamblea Plenaria del CCIR de 1978; para tales redes, la potencia de interferencia total en cualquier canal telefónico no debe exceder de 1000 pW0p, potencia media sofométricamente ponderada durante un minuto, durante más del 20% de cualquier mes y la potencia de ruido de interferencia producida por una sola fuente no debe exceder de 400 pW0p, potencia media durante un minuto sofométricamente ponderada, durante más del 20% de cualquier mes.

b) A las redes para las cuales una publicación anticipada completa haya sido sometida con posterioridad a la XIV Asamblea Plenaria de 1978 y antes de finales de 1987; la potencia de interferencia total en cualquier canal telefónico no debe exceder de 2000 pW0p, potencia media sofométricamente ponderada durante un minuto, durante más del 20% de cualquier mes, para las redes que no practican la reutilización de frecuencias, y 1500 pW0p, potencia media sofométricamente ponderada durante un minuto, durante más del 20% de cualquier mes, para las redes que practican la reutilización de frecuencias, y la potencia de ruido de interferencia producida por una sola fuente no debe exceder de 600 pW0p, potencia media durante un minuto sofométricamente ponderada, durante más del 20% de cualquier mes.

Nota 2. – Como sólo una pequeña fracción de los canales de una red estarán sujetos a la interferencia máxima de una red individual, en muchos de ellos el nivel total será inferior a los valores indicados en el punto 1. Los proyectistas de sistemas podrán prever un valor menor en sus presupuestos de ruido para una gran parte del espectro. En la nota 6 de la Recomendación 353 se detalla la forma en que han de tenerse en cuenta los valores totales en los objetivos generales del ruido para las redes del servicio fijo por satélite.

Nota 3. – En algunos casos puede ser necesario limitar el valor de interferencia correspondiente a una sola fuente a menos del valor indicado en el punto 2 anterior a fin de que no se sobrepase el valor recomendado en el punto 1. En otros casos, especialmente en los arcos congestionados de la órbita de los satélites geoestacionarios, las administraciones pueden acordar bilateralmente el empleo de valores más elevados que los indicados en el punto 2 anterior para la interferencia procedente de una sola fuente, pero toda potencia de ruido interferente superior al valor recomendado en el punto 2 debe ignorarse al calcular si se excede el valor total recomendado en el punto 1.

Nota 4. – Es necesario estudiar los medios de aumentar el nivel de interferencia procedente de una sola fuente indicado en el punto 2 anterior, sin que el nivel de ruido interferente total exceda de los valores indicados en el punto 1; este estudio debe incluir, por ejemplo, la posibilidad de superar problemas de interferencia resultantes de la falta de homogeneidad de los parámetros de la red.

Nota 5. – Es necesario estudiar si sería aceptable un aumento de los valores máximos totales de ruido de interferencia recomendado en el punto 1.

Nota 6. – En los segmentos de la órbita de los satélites geoestacionarios donde no es probable que se produzca una congestión, podrán utilizarse, para el ruido debido a las interferencias, márgenes inferiores a los recomendados en el punto 1, lo que permitiría aumentar en la misma proporción las demás contribuciones dentro de los límites del ruido total aceptable.

Nota 7. – Si bien esta Recomendación se ha hecho extensiva hasta un límite superior de frecuencia de 15 GHz, en la gama de frecuencias de 10 a 15 GHz no se dispone de datos de propagación a corto plazo uniformes en el mundo entero, y sigue siendo necesario examinar tales datos para confirmar si los márgenes de ruido de interferencia son adecuados.

Nota 8. – Es necesario estudiar urgentemente los márgenes de ruido de interferencia apropiados para los sistemas que operan en frecuencias superiores a 15 GHz.

RECOMENDACIÓN 483-1

NIVEL MÁXIMO ADMISIBLE DE LA INTERFERENCIA CAUSADA EN UN CANAL DE TELEVISIÓN DE UNA RED DE SATÉLITES GEOESTACIONARIOS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE CON MODULACIÓN DE FRECUENCIA, POR OTRAS REDES DE ESTE SERVICIO

(Programa de Estudios 2J/4)

(1974-1978)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que la interferencia entre redes del servicio fijo por satélite contribuye al ruido en dichas redes;

b) que es conveniente que el ruido debido a las interferencias causadas en canales de televisión de las redes del servicio fijo por satélite por transmisores de otras redes de este servicio tenga un nivel que permita asegurar una eficacia razonable en la utilización de la órbita;

c) que la calidad global de funcionamiento de una red debe permanecer esencialmente bajo la responsabilidad de quien haya proyectado la red;

d) que es necesario proteger cualquier red del servicio fijo por satélite contra las interferencias causadas por otras redes de este servicio;

e) que es necesario especificar el valor máximo admisible de la potencia de interferencia en un canal de televisión, a fin de determinar características de las estaciones espaciales y de las estaciones terrenas tales como las relaciones de protección requeridas y la separación mínima entre satélites;

f) que en una red del servicio fijo por satélite pueden producirse interferencias en la recepción, tanto a bordo de una estación espacial como en una estación terrena;

g) que la potencia del ruido debido a la interferencia debería representar una fracción adecuada del ruido total admisible en el circuito ficticio de referencia;

h) que, en muchos casos, las contribuciones más importantes a la interferencia causada a una red de satélites geoestacionarios han de provenir de las redes que utilizan satélites geoestacionarios adyacentes, y que el valor de la interferencia causada por otras redes será generalmente menor,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que las diferentes redes de satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite que utilicen las mismas bandas de frecuencias se proyecten de manera que la potencia del ruido de interferencia presente en el circuito ficticio de referencia para la televisión en una red del servicio fijo por satélite con modulación de frecuencia, y causada por el conjunto de los transmisores de las estaciones terrenas y de las estaciones espaciales de otras redes de este servicio, no exceda de 1/10 del ruido total admisible en videofrecuencia, en el circuito ficticio de referencia, durante más del 1% de cualquier mes.

2. El nivel máximo de la potencia del ruido de interferencia causado por cualquier red de satélites en otra no debe exceder de 4/10 del valor de ruido de interferencia recomendado en el punto 1, pero en algunos casos puede ser necesario limitar esta potencia de ruido a menos de 4/10 de ese valor.

3. Que el nivel máximo de la potencia de ruido debido a las interferencias causadas a esta red debería ser calculado utilizando, para la ganancia de las antenas de las estaciones terrenas receptoras en toda dirección que forme un ángulo θ (en grados) con la dirección principal de radiación, los siguientes valores:

$G = 32 - 25 \log \theta$ dB para $1° \leqslant \theta < 48°$

$G = -10$ dB para $48° \leqslant \theta \leqslant 180°$

excepto cuando se conozca la ganancia real y ésta sea inferior al mencionado valor, en cuyo caso debe emplearse el valor real.

4. Que se consideren parte integrante de la presente Recomendación las siguientes notas:

Nota 1. – Los valores arriba mencionados del ruido debido a la interferencia deberán incluirse en los niveles globales de ruido indicados en la Recomendación 354.

Nota 2. – En los segmentos de la órbita de los satélites geoestacionarios donde no es probable que haya congestión pueden utilizarse límites de la potencia de ruido debido a la interferencia inferiores a los recomendados, lo que permitiría un aumento correspondiente para otras contribuciones de ruido dentro de los límites del ruido total admisible.

RECOMENDACIÓN 523-2

NIVELES MÁXIMOS ADMISIBLES DE LA INTERFERENCIA PRODUCIDA EN UNA RED DE SATÉLITES GEOESTACIONARIOS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE, UTILIZADA PARA TELEFONÍA CON CODIFICACIÓN MIC DE 8 BITS, POR OTRAS REDES DE ESTE SERVICIO

(Programa de Estudios 28C/4)

(1978-1982-1986)

EL CCIR,

CONSIDERANDO

a) que distintas redes de satélites geoestacionarios del servicio fijo utilizan las mismas bandas de frecuencias;

b) que las interferencias entre las redes del servicio fijo por satélite reducen la calidad de funcionamiento en materia de proporción de bits erróneos con relación a su valor en ausencia de compartición de frecuencias;

c) que es conveniente que la proporción de bits erróneos causada en las redes del servicio fijo por satélite por las transmisiones de otras redes de este servicio tenga un nivel que permita asegurar una eficacia razonable de la utilización de la órbita;

d) que la calidad global de funcionamiento de una red debe permanecer esencialmente bajo la responsabilidad de quien haya proyectado la red;

e) que es necesario proteger cualquier red del servicio fijo por satélite contra las interferencias causadas por otras redes de este servicio;

f) que es necesario determinar el valor máximo admisible de la potencia de interferencia de radiofrecuencia en un sistema de satélites para establecer las características de las estaciones espaciales y de las estaciones terrenas, tales como las relaciones de protección requeridas y la separación mínima entre satélites;

g) que en una red del servicio fijo por satélite pueden recibirse interferencias, tanto en el receptor a bordo de una estación espacial como en el receptor de una estación terrena;

h) que es conveniente que el aumento de la proporción de bits erróneos causada por la interferencia de otras redes de satélite represente una fracción controlada de la proporción total de bits erróneos especificada en la Recomendación 522;

j) que en los casos en que satélites adyacentes den servicios a redes de características similares, la mayor interferencia causada a una red de satélites geoestacionarios provendrá de las redes que utilizan dichos satélites adyacentes; sin embargo, ello podría no ser así cuando las características de la red no son homogéneas;

k) que no cabe esperar que los niveles de interferencia entre redes de satélites geoestacionarios del servicio fijo por debajo de 10 GHz varíen mucho en el tiempo, y que en estas condiciones es preferible definir el límite admisible de interferencia como una fracción de la potencia de ruido antes del demodulador, pues ello permite que las entradas múltiples de interferencia se superpongan entre sí sobre la base de adición de potencias de radiofrecuencia;

l) que en las bandas de frecuencias entre 10 y 15 GHz, en las que puede registrarse gran atenuación de propagación durante cortos periodos de tiempo, generalmente sería deseable para los sistemas emplear un control de potencia adaptativo para el enlace ascendente o diversidad de emplazamientos en la estación terrena u otras técnicas, para contrarrestar el desvanecimiento de la señal, y que en estas circunstancias los niveles de inteferencia procedentes de otros sistemas de satélite tampoco experimentasen grandes variaciones en el tiempo,

RECOMIENDA:

1. Que el diseño y explotación de las redes del servicio fijo por satélite, que funcionen en las mismas bandas de frecuencias por debajo de 15 GHz y utilicen satélites geoestacionarios, aseguren que la interferencia total producida en un sistema de telefonía MIC de 8 bits del servicio fijo por satélite por los transmisores de las estaciones terrenas y de las estaciones espaciales de todas las demás redes se ajusten provisionalmente a los límites indicados a continuación:

1.1 En las bandas de frecuencias en que la red no recurra a la reutilización de frecuencias, el nivel de potencia interferente, promediado durante un periodo cualquiera de 10 min, no debe exceder, durante más del 20% de cualquier mes, del 25% de la potencia total de ruido cuya presencia a la entrada del demodulador da lugar a una proporción de bits erróneos de 1×10^{-6}.

1.2 En las bandas de frecuencias en que la red recurra a la reutilización de frecuencias, el nivel de potencia interferente, promediado durante un periodo cualquiera de 10 min, no debe exceder, durante más del 20% de cualquier mes, del 20% de la potencia total de ruido cuya presencia a la entrada del demodulador da lugar a una proporción de bits erróneos de 1×10^{-6}.

2. Que el nivel máximo de potencia de interferencia en cualquier sistema telefónico MIC de 8 bits, causado por uno cualquiera de los transmisores de otra red del servicio fijo por satélite y promediado durante un periodo cualquiera de 10 min, no debe exceder, durante más del 20% de cualquier mes, del 6% (provisionalmente) de la potencia total de ruido cuya presencia a la entrada del demodulador da lugar a una proporción de bits erróneos de 1×10^{-6}.

3. Que los niveles máximos de potencia de ruido debido a interferencias causadas a esa red, se calculen utilizando como ganancia de las antenas de las estaciones terrenas receptoras, orientadas en una dirección que forme un ángulo φ (expresado en grados) respecto de la dirección principal de radiación, los valores siguientes:

$$G = 32 - 25 \log \varphi \text{ dBi para } 1° \leqslant \varphi < 48°$$

$$G = -10 \text{ dBi para } 48° \leqslant \varphi \leqslant 180°$$

excepto cuando se conozca la ganancia real y ésta sea inferior al valor precedente, en cuyo caso se utilizará el valor real.

4. Que se consideren como parte de la presente Recomendación las siguientes notas:

Nota 1. – Para el cálculo de los límites indicados en los puntos 1.1, 1.2 y 2 debe suponerse que la potencia total de ruido a la entrada del demodulador es de naturaleza térmica.

Nota 2. – Se supone en esta Recomendación que la interferencia proveniente de otras redes de satélites es de naturaleza continua; se requieren estudios más detenidos con respecto a los casos en que la interferencia no es de naturaleza continua.

Nota 3. – Los valores indicados en los puntos 1 y 2 no están destinados a aplicarse:

a) A las redes para las cuales una publicación anticipada completa haya sido sometida a la IFRB antes de la XIV Asamblea Plenaria del CCIR de 1978; para tales redes, el nivel de potencia interferente total promediado durante un periodo cualquiera de 10 min no debe exceder, durante más del 20% de cualquier mes, del 10% de la potencia total de ruido cuya presencia a la entrada del demodulador da lugar a una proporción de bits erróneos de 1×10^{-6}; el nivel de la potencia interferente proveniente de una sola fuente, promediado durante un periodo cualquiera de 10 min, no debe exceder, durante más del 20% de cualquier mes, del 4% de la potencia total de ruido cuya presencia a la entrada del demodulador da lugar a una proporción de bits erróneos de 1×10^{-6}.

b) A las redes sobre las cuales se ha sometido información completa para publicación anticipada después de la XIV Asamblea Plenaria del CCIR de 1978 y antes de fines de 1987; para tales redes, el nivel de potencia interferente total promediado durante un periodo cualquiera de diez minutos no debe exceder, durante más del 20% de cualquier mes, del 20% de la potencia total de ruido cuya presencia a la entrada del demodulador daría lugar a una proporción de bits erróneos de 1×10^{-6}, en el caso de las redes que no aplican la reutilización de frecuencias, ni del 15% en el caso de aquellas redes que sí aplican la reutilización de frecuencias; el nivel de la potencia interferente proveniente de una sola fuente, promediado durante un periodo cualquiera de 10 min, no debe exceder, durante más del 20% de cualquier mes, del 4% (véase la nota 5) de la potencia total de ruido cuya presencia a la entrada del demodulador da lugar a una proporción de bits erróneos de 1×10^{-6}.

Nota 4. – En algunos casos puede ser necesario limitar el valor de interferencia correspondiente a una sola fuente a menos del valor indicado en el punto 2 anterior, a fin de que no se sobrepase el valor recomendado en el punto 1. En otros casos, especialmente en los arcos congestionados de la órbita de los satélites geoestacionarios, las administraciones pueden acordar bilateralmente el empleo de valores más elevados que los indicados en el punto 2 anterior para la interferencia procedente de una sola fuente, pero no se tendrá en cuenta cualquier potencia de ruido interferente que rebase el valor recomendado en el punto 2 al calcular si se ha rebasado el valor total que se recomienda en el punto 1.

Nota 5. – El valor provisional del 6% del punto 2 anterior ha sustituido provisionalmente al valor del 4%, a reserva de los resultados de los estudios a realizar para determinar el valor más apropiado, teniendo en cuenta el aumento del número de fuentes efectivas de interferencia que contribuyen a la interferencia total debido al uso creciente de antenas de haces puntuales en las estaciones espaciales. Es necesario estudiar con carácter de urgencia la relación entre el valor de interferencia procedente de una sola fuente indicado en el punto 2 anterior y los valores de interferencia total indicados en el punto 1.

Nota 6. – Urge estudiar si sería aceptable un aumento de los valores máximos totales de ruido de interferencia recomendado en el punto 1, y en particular el indicado en el punto 1.2 para las redes en que se aplica la reutilización de frecuencias.

Nota 7. – En los segmentos de la órbita de los satélites geoestacionarios donde no es probable que se produzca una congestión, podrán utilizarse para el ruido debido a las interferencias, márgenes inferiores a los recomendados en el punto 1, lo que permitiría aumentar en la misma proporción las demás contribuciones dentro de los límites del ruido total aceptable. Sin embargo, las recomendaciones de los puntos 1.1 y 1.2 anteriores se deben normalmente evaluar partiendo del supuesto de que la potencia de ruido total presente es la que produce la proporción especificada de bits erróneos en condiciones de ausencia de desvanecimiento de la señal recibida.

Nota 8. – Si bien esta Recomendación se ha hecho extensiva hasta un límite superior de frecuencia de 15 GHz, en la gama de frecuencias de 10 a 15 GHz no se dispone de datos de propagación a corto plazo uniformes en el mundo entero, y sigue siendo necesario examinar tales datos para confirmar si los márgenes de ruido de interferencia son adecuados.

Nota 9. – Es necesario estudiar urgentemente los márgenes de ruido de interferencia apropiados para los sistemas que operan en frecuencias superiores a 15 GHz.

Nota 10. – Los niveles de potencia de interferencia indicados en los puntos 1 y 2 anteriores se aplican solamente a la transmisión de telefonía MIC (véase la Recomendación 522 del CCIR y la Recomendación G.711 del CCITT). Es necesario que la Comisión de Estudio 4 del CCIR siga estudiando los objetivos de calidad de funcionamiento adecuados para la transmisión de servicios digitales distintos de la telefonía MIC a medida que el CCIR vaya obteniendo información sobre las exigencias de funcionamiento de esos servicios.

INFORME 710-2*

DISTRIBUCIÓN DE LA INTERFERENCIA EN SISTEMAS QUE FUNCIONAN EN FRECUENCIAS SUPERIORES A 10 GHz EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 28/4)

(1982-1986)

1. Introducción

En frecuencias inferiores a 10 GHz, los efectos de las variaciones en la propagación (desvanecimiento) son un factor relativamente pequeño al determinar márgenes de ruido interno del enlace y márgenes de interferencia externa. En frecuencias superiores a 10 GHz, el desvanecimiento llega a ser un factor cada vez más dominante al determinar estos márgenes, y el diseño del enlace suele determinarse por las pérdidas de propagación esperadas para pequeños porcentajes de tiempo. Puede, pues, ser necesario definir márgenes de interferencia a corto y largo plazo para frecuencias superiores a 15 GHz.

La forma de distribuir el ruido y la interferencia en los sistemas digitales puede diferir de la de los sistemas analógicos. En frecuencias superiores a 10 GHz, si el objetivo de calidad en cuanto a la proporción de errores se cumple durante pequeños porcentajes de tiempo, es probable que la proporción de errores sea pequeña en ausencia de desvanecimientos.

Un tema importante en la distribución de la interferencia es la correlación existente entre las señales interferente y deseada.

Los factores generales que afectan a la distribución de la interferencia en sistemas analógicos y digitales son considerados en este Informe.

---

* Este Informe es el resultado de la fusión de los Informes 866 y 710-1.

2. Fenómenos de propagación

En frecuencias superiores a 10 GHz la atenuación debida a la lluvia es la causa principal de desvanecimiento en los enlaces de satélite. Un ejemplo de una distribución de atenuación debida a la lluvia se presenta en la fig. 1, que muestra que la atenuación a 30 GHz con un ángulo de elevación de la antena de 17° es de 17,5 dB para el 0,3% del mes más desfavorable en una ciudad canadiense típica, Halifax, de una región de escasa pluviosidad. Se experimentará una atenuación mucho mayor en regiones de lluvia intensa donde las tormentas localizadas son más frecuentes. En la región de 4 GHz a 30 GHz, la atenuación debida a la lluvia aumenta rápidamente al aumentar la frecuencia tal como se indica por las curvas de la fig. 1. También cambian los valores considerablemente con las variaciones geográficas, como se ve en la fig. 2 en que se comparan datos a 20 y 30 GHz entre Halifax y Tokyo.

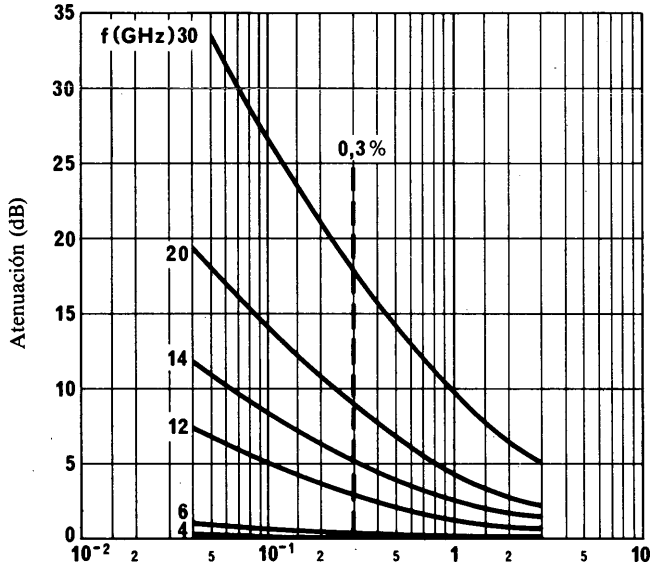


FIGURA 1 – *Distribución de la atenuación debida a la lluvia en Halifax a través de un enlace satélite-Tierra, con un ángulo de elevación de 17°*

3. Consideraciones sobre el diseño del enlace y sobre la interferencia mutua

La diversidad de emplazamientos y el control adaptativo de potencia del enlace ascendente (CPEA) pueden utilizarse o no en enlaces de satélite, y estos factores tienen que considerarse conjuntamente con la correlación del desvanecimiento de las señales deseadas e interferentes en los enlaces ascendente y descendente.

3.1 *Fuentes de interferencia*

La interferencia puede proceder de varias fuentes. A efectos de este análisis se consideran aquí las siguientes:

- fuentes intrasistema (internas):
  - interferencia cocanal de la señal con polarización cruzada,
  - intermodulación, canal adyacente y otras degradaciones;
- fuentes entre sistemas (externas):
  - interferencia procedente de otros sistemas de satélite,
  - interferencias de otros servicios espaciales y terrenales.

Las condiciones de desvanecimiento no influyen siempre en las fuentes de interferencia intrasistema (internas). Las interferencias de otros servicios espaciales que no utilizan CPEA y los servicios terrenales tienen valores de interferencia casi constantes, cuyo valor no varía por las condiciones de desvanecimiento. Sin embargo, la interferencia de otros sistemas de satélite en la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG) puede controlarse hasta cierto punto utilizando CPEA. Como consecuencia, cuando todos los sistemas del servicio fijo por satélite (SFS) utilizan CPEA pueden obtenerse valores C/I más altos que cuando todos los sistemas utilizan p.i.r.e. fija en el enlace ascendente.

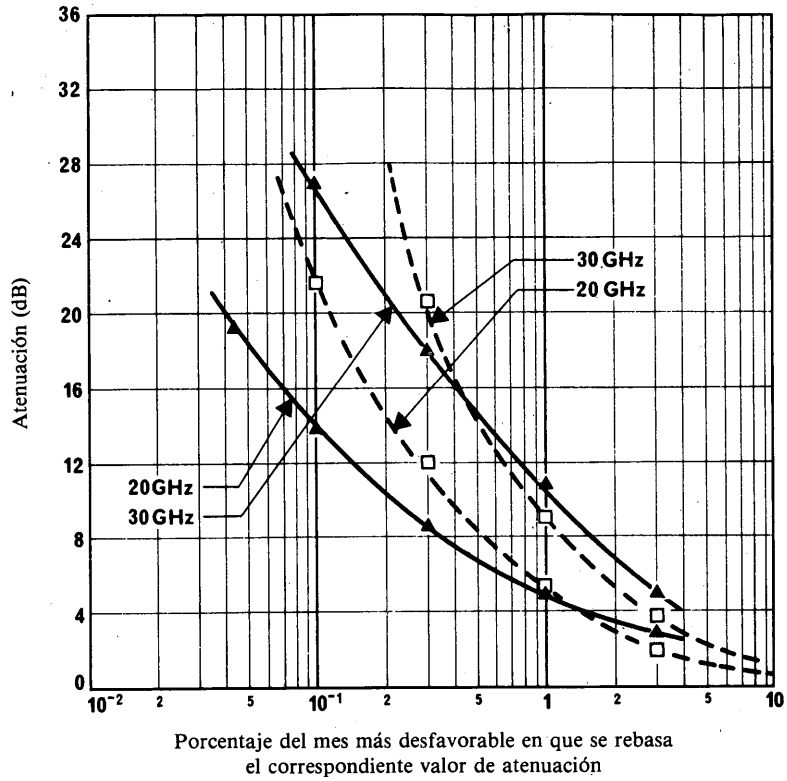


FIGURA 2 – *Ejemplos de variaciones geográficas de atenuación debida a la lluvia en las bandas de 20 y 30 GHz*

▲——▲ Datos de Halifax (ángulo de elevación, 17°)

□– – –□ Datos de Tokio (ángulo de elevación, 48,5°)

3.2 *Consideraciones sobre el diseño del enlace*

El diseño de un enlace por satélite en frecuencias superiores a 10 GHz viene caracterizado típicamente, desde el punto de vista de la interferencia, por los diferentes comportamientos de la interferencia en el enlace descendente y en el enlace ascendente.

En el caso del enlace descendente, se espera un elevado grado de correlación entre el desvanecimiento de la señal deseada y el desvanecimiento de la interferencia procedente de satélites vecinos que tienen efectos importantes, de modo que $(C/I)_d$ no variará apreciablemente al aumentar la atenuación, con o sin diversidad, cuando se utiliza una p.i.r.e. fija. Sin embargo, el control de potencia en el enlace descendente de las señales deseada o interferente hará variar la relación C/I. Es preciso seguir estudiando el control de potencia en el enlace descendente.

En un enlace ascendente, prescindiendo del caso en que se transmite una señal con polarización cruzada, no es probable que haya desvanecimiento simultáneo en el trayecto de la señal y en el trayecto de la interferencia, debido a la separación geográfica de las estaciones terrenas. Así pues, $(C/I)_u$ puede ser casi proporcional a $(C)_u$ en un enlace ascendente sin control adaptativo de potencia. Con control de potencia, las variaciones de $(C/I)_u$ serán considerablemente menores en condiciones de desvanecimiento en el enlace ascendente. Cuando se emplea el aislamiento mediante polarización cruzada para transmisiones con reutilización de frecuencia procedentes de la misma estación terrena, en condiciones de desvanecimiento, es probable que predomine la interferencia cocanal.

En general, puede esperarse una correlación pequeña entre los desvanecimientos en el enlace descendente y en el enlace ascendente, de forma que sólo durante un porcentaje de tiempo despreciable tendrán lugar desvanecimientos simultáneos intensos.

Con estos postulados, en la salida de un receptor MF la relación aproximada entre el ruido de interferencia, i, el ruido térmico, n y C viene dada por:

a) para el enlace descendente, $i \simeq$ constante ($n \sim 1/C$) e ($i/n \sim C$);

b) para un enlace ascendente sin control de potencia, $i/n \simeq$ constante ($i \sim 1/C$) y ($n \sim 1/C$); y

c) para un enlace descendente con control de potencia total en el enlace ascendente, n e i son casi constantes.

Como i es casi constante para los casos a) y c), es posible que no sea necesario definir un margen de interferencia a corto plazo. Sin embargo, en el caso b), un enlace con un diseño para grandes desvanecimientos a fin de satisfacer un objetivo de calidad a corto plazo tendrá un valor de n muy bajo en las condiciones en que no hay desvanecimiento, de modo que con los márgenes actuales de interferencia es posible que $i \gg n$. En un enlace ascendente con desvanecimiento i_{asc} y n_{asc} aumentarán proporcionalmente, y cuando $i_{asc} \gg n_{asc}$, i_{asc} y el ruido de intermodulación (cuando proceda) determinarán la calidad de funcionamiento a corto plazo. Así pues, en las bandas de frecuencias más altas es posible que sea necesario definir un margen de interferencia a corto plazo cuando se utilice un enlace ascendente sin diversidad y sin control de potencia adaptable. Sin embargo, hay que observar también que un margen razonable de interferencia a corto plazo puede implicar una característica de interferencia a largo plazo del enlace ascendente muy baja, que a su vez puede ser perjudicial para la utilización eficaz de la órbita geoestacionaria y del espectro. Por consiguiente, cualquier margen de interferencia a corto plazo ha de ser lo más elevado posible, a fin de minimizar todo efecto perjudicial en la utilización de la órbita y del espectro.

El efecto de la diversidad de emplazamiento o del control de potencia del trayecto ascendente es reducir los márgenes necesarios para satisfacer criterios de calidad, es decir, equivale a una reducción del margen de desvanecimiento. En consecuencia, el margen de desvanecimiento efectivo puede reducirse de modo que no sea necesario un margen de interferencia a corto plazo. Como esto reduce el valor máximo de C, y a su vez la I causada a otra red, puede mejorarse la utilización de la órbita y del espectro.

Un sistema por satélite que funciona por encima de 10 GHz puede tener suficiente margen de potencia en su diseño como para que un pequeño aumento de la degradación de la relación portadora/ruido (C/N) debida a interferencia en condiciones de cielo despejado no constituya un factor importante. Sin embargo, cuando se produce un desvanecimiento debido a la lluvia, la interferencia degradará el sistema al provocar una reducción en los márgenes de protección contra el desvanecimiento por lluvia. En este caso, la disminución del margen previsto de protección contra el desvanecimiento representa una verdadera pérdida, desde el punto de vista de un sistema. Por ejemplo, si la interferencia da lugar a una pérdida de 1 dB en el margen de protección contra el desvanecimiento, habría que aumentar la potencia del transmisor en 1 dB, reducir la velocidad de transmisión de datos en un 20% o aumentar el diámetro de la antena en un 12% para compensar esta pérdida. Así pues, la cuestión de la interferencia admisible puede considerarse desde el punto de vista de la degradación en los márgenes del sistema.

Esta reducción del margen se ha confirmado en un análisis más reciente y plantea la cuestión de si las disposiciones de los puntos 1.1 y 1.2 de la Recomendación 523 no podrían, en determinadas circunstancias, causar una interferencia inaceptable en los pequeños porcentajes de tiempo durante los cuales está desvanecida una señal. Se observa que el problema será probablemente menos grave en sistemas que utilizan control de potencia del enlace ascendente. Sin embargo, se recomienda ulterior estudio para evaluar el problema; en particular, que se considere la utilidad de una disposición en la Recomendación 523 relativa a la situación de desvanecimiento y las consecuencias de elegir una proporción de bits erróneos de referencia distinta de 1×10^{-6}.

4. Ejemplos de distribución de la interferencia en sistemas de frecuencias superiores a 10 GHz

4.1 *Sistemas con modulación analógica*

Un sistema de satélites en 30/20 GHz puede utilizar el acceso múltiple por distribución de frecuencia (AMDF) o puede funcionar en el modo de una sola portadora por transpondedor. Si la atenuación debida a la lluvia es importante, el sistema puede utilizar control de potencia del enlace ascendente, o como otra posibilidad, puede diseñarse de modo que sea posible el funcionamiento durante fuertes desvanecimientos sin variación de la potencia del enlace ascendente. Es posible explotar sistemas similares en las bandas 14/12 GHz aunque, en general, el desvanecimiento no es tan fuerte (véase la fig. 1), por lo que es menos necesario hacer énfasis en el diseño del sistema para funcionamiento en condiciones severas de desvanecimiento.

Como un primer ejemplo, considérese el caso en que:

- se utilizan las bandas de frecuencias 30/20 GHz,
- se utiliza un enlace ascendente sin diversidad y sin control de potencia,
- se utiliza la diversidad en el enlace descendente, de modo que los efectos del desvanecimiento en dicho enlace son despreciables,
- se utiliza un transpondedor de satélite de tubo de ondas progresivas típico, y
- la calidad de funcionamiento deseada es la indicada en las Recomendaciones 353 y 466.

Como la calidad de funcionamiento a corto plazo determina el diseño del enlace, el ruido térmico sin desvanecimiento es bastante bajo. En el cuadro I se indican dos posibles diseños de enlaces, uno para la explotación AMDF, con múltiples portadoras y otro para la explotación con una sola portadora por transpondedor.

CUADRO I – *Ejemplo de balances de ruido, incluida la interferencia entre sistemas para el funcionamiento con múltiples portadoras y con una sola portadora, con desvanecimiento en el enlace ascendente pero sin control de potencia en el enlace ascendente*

(Basado en los datos de propagación en Halifax a 30 GHz)

Características de ruido(1)	Valor para el 80% del mes (pW0p)		Valor para no más del 0,3% del mes más desfavorable (pW0p)	
	Funcionamiento con múltiples portadoras	Funcionamiento con una sola portadora	Funcionamiento con múltiples portadoras	Funcionamiento con una sola portadora(2)
Intermodulación	2 000	0	112 400	0
Interferencia en el enlace ascendente	1 000	1 000	56 200	56 200
Interferencia en el enlace descendente	1 000	1 000	56 200	15 850
Ruido térmico en el enlace ascendente	300	300	16 870	16 870
Ruido térmico en el enlace descendente	600	600	33 740	9 510
Total	4 900	2 900	275 410	98 430

(1) En este ejemplo no se ha considerado la interferencia producida por sistemas terrenales.

(2) Se suponen las siguientes características del transpondedor: 12 dB de reducción a la salida para 17,5 dB de reducción a la entrada.

La comparación de la calidad de funcionamiento del enlace de este ejemplo con y sin ruido de intermodulación indica que el ruido de intermodulación tiene un efecto importante sobre la calidad de funcionamiento a corto plazo, siendo el que más contribuye al aumento del ruido total a corto plazo de 98×10^3 pW0p a 275×10^3 pW0p. Debe señalarse también que la calidad de funcionamiento a corto plazo especificada por la Recomendación 353 podría cumplirse en este ejemplo si el ruido térmico fuese la única fuente de degradación, pero no si hubiese ruido de intermodulación o interferencia entre redes, como se especifica en la Recomendación 466 para las bandas por debajo de 15 GHz.

Como un segundo ejemplo, considérese el sistema del ejemplo primero pero con CPEA, es decir, variaciones de potencia de 8,5 dB en la estación terrena transmisora para reducir los efectos del desvanecimiento de 17,5 dB en el enlace ascendente durante el 0,3% del tiempo. En el cuadro II se indica la calidad de funcionamiento del enlace para este sistema. En este ejemplo se cumple la calidad de funcionamiento a corto plazo indicada en la Recomendación 353, cuando el diseño del sistema se basa principalmente en condiciones a largo plazo y se utiliza transmisión con una sola portadora por transpondedor, pero no cuando se utiliza el mismo sistema en un modo de explotación AMDF, aunque la contribución de interferencia entre sistemas siga siendo 1/5 del ruido total.

CUADRO II – *Ejemplo de balances de ruido, incluida la interferencia entre sistemas para el funcionamiento con múltiples portadoras y con una sola portadora, con desvanecimiento en el enlace ascendente y control de potencia parcial en el enlace ascendente*

(Basado en los datos de propagación en Halifax a 30 GHz)

Características de ruido(1)	Valor para el 80% del mes (pW0p)		Valor para no más del 0,3% del mes más desfavorable (pW0p)	
	Funcionamiento con múltiples portadoras	Funcionamiento con una sola portadora	Funcionamiento con múltiples portadoras(2)	Funcionamiento con una sola portadora(3)
Intermodulación	2 000	0	16 000	0
Interferencia en el enlace ascendente	1 000	1 000	8 000	8 000
Interferencia en el enlace descendente	1 000	1 000	8 000	3 200
Ruido térmico en el enlace ascendente	2 000	2 000	16 000	16 000
Ruido térmico en el enlace descendente	4 000	4 000	32 000	12 800
Total	10 000	8 000	80 000	40 000

(1) En este ejemplo no se ha considerado la interferencia producida por sistemas terrenales.

(2) Se supone un control de potencia del enlace ascendente de 8,5 dB y un desvanecimiento de 17,5 dB.

(3) Se supone un control de potencia del enlace ascendente de 8,5 dB y una variación correspondiente de potencia del enlace descendente de 5 dB (debido a la no linealidad del transpondedor) para un desvanecimiento de 17,5 dB.

En el cuadro III se muestra la explotación de un sistema similar en la banda 14/12 GHz, sin CPEA ni diversidad de emplazamientos. En este ejemplo de sistema se cumple la calidad de funcionamiento a corto plazo de la Recomendación 353 si el sistema está diseñado para cumplir las condiciones a largo plazo de las Recomendaciones 353 y 466 incluso sin CPEA ni explotación con diversidad. Sin embargo, también en este ejemplo el margen normal para el ruido de intermodulación en la opción del sistema AMDF degrada la calidad de funcionamiento a corto plazo.

CUADRO III – *Ejemplo de balances de ruido, incluida la interferencia entre sistemas, para el funcionamiento con múltiples portadoras y con una sola portadora, con desvanecimiento en el enlace ascendente pero sin control de potencia en el enlace ascendente*

(Basado en los datos de propagación en Halifax a 30 GHz)

Características de ruido(1)	Valor para el 80% del mes (pW0p)		Valor para no más del 0,3% del mes más desfavorable (pW0p)	
	Funcionamiento con múltiples portadoras	Funcionamiento con una sola portadora	Funcionamiento con múltiples portadoras	Funcionamiento con una sola portadora(2)
Intermodulación	2000	0	7096	0
Interferencia en el enlace ascendente	1000	1000	3548	3548
Interferencia en el enlace descendente	1000	1000	3548	2000
Ruido térmico en el enlace ascendente	2000	2000	7096	7096
Ruido térmico en el enlace descendente	4000	4000	14192	8000
Total	10000	8000	35480	20644

(1) En este ejemplo no se ha considerado la interferencia producida por sistemas terrenales.

(2) Se suponen las siguientes características del transpondedor: 3 dB de reducción a la salida para 5,5 dB de reducción a la entrada.

4.2 *Sistemas con modulación digital*

En estos ejemplos, se parte de las siguientes hipótesis:

- Sistema con modulación MDP-2 coherente, en las bandas 30/20 GHz.
- O todos los sistemas de servicio fijo por satélite pertinentes utilizan CPEA o ninguno.
- Los canales adyacentes utilizados en otros enlaces homogéneos (independientes) dan lugar a dos fuentes de interferencia intrasatélite.
- En ausencia de desvanecimiento, la relación deseada «portadora/interferencia intrasatélite» es de 35 dB para el enlace ascendente y el enlace descendente.
- Se supone que cuando no se utiliza control de potencia, la interferencia externa de otros sistemas del servicio fijo por satélite en el enlace ascendente aumenta en 3 dB el ruido térmico del satélite.
- Las señales con polarización cruzada en el enlace ascendente se transmiten desde la misma estación terrena.
- Se supone que existe polarización circular, y los valores de la discriminación por polarización cruzada (*XPD*) se determinan utilizando el método del Informe 564:
- Se supone que los valores de *XDP* de la antena del satélite y de la estación terrena son 30 y 35 dB, respectivamente. (Debido a la coherencia de la interferencia de polarización cruzada en cada trayecto de transmisión, estos valores se combinan entre sí y con el valor de la *XPD* atmosférica sobre la base de una adición de tensión.)
- Los valores de la atenuación debida a la lluvia en 30 GHz y 20 GHz son de 17,5 dB y 9 dB, respectivamente. (Valores para el 0,3% del mes más desfavorable en Halifax con un ángulo de elevación de 17°; véase la fig. 1.) Se da por supuesto que la condición de desvanecimiento de 9 dB a 20 GHz aumenta la temperatura de ruido térmico del enlace descendente en 3 dB.
- La p.i.r.e. fija y los enlaces ascendentes con control de potencia proporcionan las mismas disponibilidades (es decir, p.i.r.e. máximas iguales), y el sistema de control de potencia tiene una gama dinámica de 14,2 dB. (El punto de funcionamiento con cielo despejado corresponde a una proporción de bits erróneos del orden de 10^{-8} con CPEA, y a algo menos con una p.i.r.e. fija.)
- Existen dos fuentes externas de interferencia en el enlace descendente desde sistemas del servicio fijo por satélite, que se supone equivalente a la interferencia intrasatélites.
- La probabilidad de que el enlace ascendente y el enlace descendente sufran desvanecimientos importantes al mismo tiempo es lo suficientemente pequeña como para que pueda ser despreciada.
- La interferencia de otros servicios espaciales y terrenales se considera de 40 dB por debajo del nivel de portadora para los enlaces ascendente y descendente, cuando se utiliza una p.i.r.e. fija.

Los cuadros IV y V muestran ejemplos de balances de ruido de los enlaces ascendente y descendente en condiciones de desvanecimiento y de ausencia de desvanecimiento. En condiciones normales de propagación, se calcula por la ecuación (15) en el Informe 564-2 (Ginebra, 1982) que la *XPD* atmosférica es de 45 dB en 30 GHz, y de 40 dB en 20 GHz. Cuando existe atenuación debida a la lluvia, la discriminación por polarización cruzada en 30 y 20 GHz disminuye a 16,5 y 17,8 dB. (En la ecuación (15) en el Informe 564-2 (Ginebra, 1982) se emplean los valores de $\varepsilon = 17°$ y $\tau = 45°$.)

CUADRO IV – *Ejemplo de posibles distribuciones del ruido y de la interferencia en el enlace ascendente*

	dB por debajo de la señal			
	Sin desvanecimiento		Con desvanecimiento	
	Sin control de potencia	Con control de potencia	Sin control de potencia	Con control de potencia
1. Interferencia cocanal de la señal con polarización cruzada	25,2	25,2	14,0	14,0
1.1 *XPD* de la antena de la estación terrena	35	35	35	35
1.2 *XPD* atmosférica	45	45	16,5	16,5
1.3 *XPD* de la antena del satélite	30	30	30	30
2. Ruido térmico más otras interferencias	29,8	19,4	12,3	16,1
2.1 Interferencia intrasatélite (2 fuentes)	35	35	17,5	31,7
2.2 Interferencia externa	33,8	25,3	16,3	22,0
2.2.1 Interferencia de otros sistemas del SFS	35	35	17,5	31,7
2.2.2 Interferencia de otros servicios	40	25,8	22,5	22,5
2.3 Ruido térmico	35	20,8	17,5	17,5
3. $[C/(N + I)]_u$ total en el enlace ascendente	23,9	18,4	10,1	11,9

CUADRO V – *Ejemplo de posibles distribuciones del ruido y de la interferencia en el enlace descendente*

	dB por debajo de la señal	
	Sin desvanecimiento	Con desvanecimiento
1. Interferencia cocanal de la señal con polarización cruzada	24,5	15,0
1.1 *XPD* de la antena de la estación terrena	35	35
1.2 *XPD* atmosférica	40	17,8
1.3 *XPD* de la antena del satélite	30	30
2. Ruido térmico más otras interferencias	24,7	13,7
2.1 Interferencia intrasatélite (2 fuentes)	35	35
2.2 Interferencia intrasatélite (2 fuentes)	33,8	33,8
2.2.1 Interferencia de otros sistemas del SFS	35	35
2.2.2 Interferencia de otros servicios	40	40
2.3 Ruido térmico	25,8	13,8
3. $[C/(N + I)]_d$ total en el enlace descendente	21,6	11,3

Si no se utiliza el CPEA, la interferencia intrasatélite en el enlace ascendente, la interferencia externa de otros sistemas del servicio fijo por satélite y el ruido térmico se reducen a 17,5 dB por debajo del nivel de la señal. Utilizando CPEA la interferencia intrasatélite y la interferencia de otros sistemas del servicio fijo por satélite puede mantenerse en 31,7 dB, en condiciones de desvanecimiento. Como consecuencia, puede obtenerse una relación $[C/(N + I)]_u$ total en el enlace ascendente de 11,9 dB, que es 1,8 dB mayor que en el caso en que no hay CPEA.

El cuadro VI muestra las relaciones portadora/ruido $[C/(N + I)]_t$ totales derivadas de los cuadros I y II.

La diferencia en la relación $[C/(N + I)]_t$ en el caso de ausencia de desvanecimiento en el enlace ascendente, con y sin CPEA, es de aproximadamente 1,7 dB.

CUADRO VI – *Valor de la relación $[C/(N + I)]_t$ total*

$[C/(N + I)]_t$ total (dB)					
Sin desvanecimiento		Desvanecimiento en el enlace ascendente		Desvanecimiento en el enlace descendente	
Sin control de potencia	Con control de potencia	Sin control de potencia	Con control de potencia	Sin control de potencia	Con control de potencia
19,6	16,7	9,8	11,5	11,1	10,5

5. Resumen

Se ha intentado identificar ciertas posibles fuentes de interferencia en sistemas analógicos y digitales del servicio fijo por satélite, que funciona en las bandas de frecuencia superiores a 10 GHz.

Se ha calculado un posible balance del enlace, basándose en las hipótesis indicadas.

Pueden hacerse las siguientes observaciones provisionales:

- En lo que respecta a la utilización eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios y del espectro, es preferible utilizar control de potencia adaptable o diversidad en el espacio en los enlaces ascendentes a fin de reducir los efectos de interferencia a corto plazo.
- En las bandas de frecuencias más altas (por ejemplo, 30/20 GHz), es posible que sea necesario definir márgenes de interferencia a corto plazo cuando no se utilizan ni CPEA ni diversidad en el espacio en el enlace ascendente. El margen de interferencia a corto plazo ha de ser lo más elevado posible a fin de hacer mínimos los efectos perjudiciales en la utilización de la órbita y del espectro.
- Debido a que la gama de desvanecimientos aumenta considerablemente con la frecuencia, es posible que no baste con un solo margen de interferencia a corto plazo para todas las bandas del servicio fijo por satélite por encima de 15 GHz.

Es preciso y urgente realizar más estudios para obtener conclusiones cualitativas y cuantitativas más importantes en lo que respecta a los márgenes de interferencia para redes de satélite en las bandas del servicio fijo por satélite por encima de 15 GHz. En estos estudios han de tomarse en consideración también los márgenes para la interferencia causada por los servicios terrenales en las bandas de frecuencias en las que está permitida la compartición con el servicio fijo por satélite.

RECOMENDACIÓN 524-2

NIVELES MÁXIMOS ADMISIBLES DE LA DENSIDAD DE LA p.i.r.e. FUERA DEL EJE, DE LAS ESTACIONES TERRENAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE QUE FUNCIONAN EN LA BANDA DE FRECUENCIAS DE 6 GHz

(Programa de Estudios 28A/4)

(1978-1982-1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que varias redes de satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite funcionan en las mismas bandas de frecuencias;

b) que las interferencias entre redes del servicio fijo por satélite contribuyen al ruido en la red;

c) que es necesario proteger a una red del servicio fijo por satélite de las interferencias provocadas por otras redes del mismo servicio;

d) que es necesario especificar los niveles máximos admisibles de la densidad de la p.i.r.e. fuera del eje producida por las estaciones terrenas, a fin de promover la armonización entre las redes de satélites geoestacionarios;

e) que las redes del servicio fijo por satélite pueden padecer interferencias en el receptor de la estación espacial;

f) que no se prevé que varíe considerablemente con el tiempo el nivel de la interferencia causada por una estación terrena a una estación espacial del servicio fijo por satélite que funcione en una banda de frecuencias inferior a 10 GHz;

g) que el empleo de antenas con el mejor comportamiento posible fuera del eje, redundará en una utilización más eficaz del espectro radioeléctrico y de la órbita de los satélites geoestacionarios;

h) que los niveles de densidad de la p.i.r.e. fuera del eje pueden limitarse mediante la elección de antenas y/o parámetros de transmisión,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. Que las redes del servicio fijo por satélite que funcionen en la banda de frecuencias de 6 GHz se diseñen de forma que para cualquier ángulo, φ, a 2,5° o más fuera del eje del lóbulo principal de una antena de estación terrena, la densidad de la p.i.r.e. en cualquier dirección dentro de 3° de la órbita de los satélites geoestacionarios, no exceda los valores siguientes:

1.1 Para emisiones en sistemas distintos de los indicados en los puntos 1.2 y 1.3:

Ángulo fuera del eje	*P.i.r.e. máxima por 4 kHz*
$2{,}5° \leqslant \varphi < 48°$	$(35 - 25 \log \varphi)$ dB(W/4 kHz)
$48° \leqslant \varphi \leqslant 180°$	-7 dB(W/4 kHz)

1.2 Para emisiones en sistemas telefónicos SCPC-MF con accionamiento por la voz:

Ángulo fuera del eje	*P.i.r.e. máxima por 40 kHz*
$2{,}5° \leqslant \varphi < 48°$	$(42 - 25 \log \varphi)$ dB(W/40 kHz)
$48° \leqslant \varphi \leqslant 180°$	0 dB(W/40 kHz)

1.3 Para emisiones en sistemas telefónicos SCPC-MDP con accionamiento por la voz:

Ángulo fuera del eje	*P.i.r.e. máxima por 40 kHz*
$2{,}5° \leqslant \varphi < 48°$	$(45 - 25 \log \varphi)$ dB(W/40 kHz)
$48° \leqslant \varphi \leqslant 180°$	3 dB(W/40 kHz)

2. Para las nuevas antenas de estaciones terrenas que utilicen emisiones distintas de las examinadas en los puntos 1.2 y 1.3, después del año 1988, la densidad de la p.i.r.e. no debería exceder de los siguientes valores:

Ángulo fuera del eje	*P.i.r.e. máxima por 4 kHz*
$2{,}5° \leqslant \varphi \leqslant 7°$	$(32 - 25 \log \varphi)$ dB(W/4 kHz)
$7° < \varphi \leqslant 9{,}2°$	11 dB(W/4 kHz)
$9{,}2° < \varphi \leqslant 48°$	$(35 - 25 \log \varphi)$ dB(W/4 kHz)
$48° < \varphi \leqslant 180°$	-7 dB(W/4 kHz)

3. Que las siguientes notas se consideren como parte integrante de la presente Recomendación:

Nota 1. – Los valores indicados en el punto 1.2 se basan en un análisis del ruido de potencia media. No se han tenido en cuenta los posibles efectos subjetivos de la interferencia causada a una portadora SCPC-MF por una emisión de banda muy estrecha. Se necesitan ulteriores estudios sobre esta materia.

Nota 2. – Los límites indicados en el punto 1.2 se aplican a la explotación normal de telefonía en una banda de base de 4 kHz.

Nota 3. – Los valores especificados en el punto 1 se derivan principalmente de un análisis de los sistemas MF utilizados para televisión analógica o telefonía multicanal. No se sabe actualmente si los sistemas de telemando y de determinación de la distancia que operan en la banda de emisión y algunos tipos de sistemas de un solo canal por portadora (SCPC) distintos de los mencionados en los puntos 1.2 y 1.3 cumplen estos requisitos. Deberán efectuarse estudios para determinar de qué forma estos sistemas SCPC podrían satisfacer los límites indicados anteriormente.

Nota 4. – Habida cuenta de que una p.i.r.e. en los lóbulos laterales más reducida permitiría mejorar la utilización de la órbita y facilitaría la coordinación, se insta a las administraciones a que traten de obtener valores menores cuando ello sea posible.

Nota 5. – Siempre que sea posible, las estaciones terrenas existentes deben respetar los valores anteriores.

Nota 6. – Los valores indicados en el punto 2 se derivan de diagramas de antena avanzados, con lóbulos laterales reducidos, habida cuenta de los principios de la nota 3. Es urgentemente necesario efectuar estudios ulteriores sobre las características de las antenas de estación terrena en direcciones cercanas a la del haz principal, particularmente en lo que respecta a la validez de la abertura de 7° como valor hasta el cual es razonable recomendar este ajuste de 3 dB en el límite de la densidad de la p.i.r.e. fuera del eje. Dichos estudios deben incluir también el efecto de los valores indicados en el § 2 sobre las antenas que funcionan con anchuras de banda superiores a 500 MHz.

RECOMENDACIÓN 484-2

MANTENIMIENTO DE LA POSICIÓN EN LONGITUD DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS QUE UTILIZAN BANDAS DE FRECUENCIAS ATRIBUIDAS AL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Programa de Estudios 2J/4)

(1974-1978-1982)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que la órbita de los satélites geoestacionarios representa para los servicios de telecomunicaciones una facilidad que sólo ella puede ofrecer;

b) que la interferencia impone un límite al número de satélites que pueden utilizar la misma banda de frecuencias en un mismo arco de órbita, pero que dicho número podrá aumentar con la mejora de la precisión del mantenimiento en posición;

c) que probablemente aumentará considerablemente el número de satélites en explotación que utilicen esta órbita durante los próximos años;

d) que el estado actual de la técnica permite mantener la posición de los satélites a menos de ± 0,1°, si bien se trata de una precisión que posiblemente no podrán alcanzar algunos satélites de diseño anterior a 1982,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

Que las estaciones espaciales instaladas a bordo de satélites geoestacionarios:

1. Deberían mantenerse en posición a menos de ± 0,1° de longitud con relación a su posición nominal, cualquiera que sea la causa de la variación de su posición.

2. Sin embargo, no será necesario que se observen los límites indicados en el punto 1 anterior mientras que la red de satélites a la que pertenezca la estación no produzca interferencia inaceptable a otra red de satélites cuya estación espacial respete los límites especificados en dicho punto 1.

3. Que se considere como parte integrante de la presente Recomendación la nota siguiente:

Nota. – En el caso de las estaciones espaciales instaladas a bordo de satélites geoestacionarios cuya puesta en servicio sea anterior al 1.º de enero de 1987, siempre y cuando la publicación anticipada de la información relativa a la red haya sido hecha antes del 1.º de enero de 1982, así como en el caso de las estaciones experimentales a bordo de satélites geoestacionarios, se podrán sustituir los límites especificados en el punto 1 anterior por ± 0,5°.

INFORME 556-3

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL MANTENIMIENTO EN POSICIÓN DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Programa de Estudios 28A/4)

(1974-1978-1982-1986)

1. Introducción

En algunas partes de la órbita de los satélites geoestacionarios, donde la densidad de satélites es relativamente reducida, el mantenimiento preciso en posición no es un requisito primordial para limitar la interferencia entre sistemas. Sin embargo, la introducción de nuevos sistemas por satélite aumentará tal densidad, por lo cual, para no limitar el desarrollo de nuevos sistemas, convendría mantener a todos los satélites en posición, con una tolerancia razonable.

En el Informe 453, al considerar algunos de los factores técnicos que influyen en la eficacia de utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios, se indica que si pudiera controlarse mejor la posición de los satélites podría aumentarse dicha eficacia. La capacidad orbital sólo disminuye ligeramente con inclinaciones moderadas de la órbita, pero la reducción puede ser considerable si la deriva longitudinal constituye una fracción importante de la separación entre satélites (véanse también los números 2616, 2617 y 2619 del Reglamento de Radiocomunicaciones).

2. Factores que influyen en la posición del satélite

Cuando existe cierta incertidumbre en las posiciones en longitud de los satélites, debido, por ejemplo, a la deriva en longitud o a la inclinación de la órbita, se producirá una reducción de la capacidad potencial de la órbita de los satélites geoestacionarios. El grado de esta reducción guarda relación con la magnitud de la variación en longitud y con la separación nominal entre los satélites. Por ejemplo una variación de 1° en longitud con satélites que requerirían una separación de 5° si fuera perfecto el mantenimiento en posición, reduciría la eficacia de la utilización de la órbita en un 79% del máximo teórico y que esta eficacia descendería al 62% si se redujera la separación a 2,5°.

El movimiento en longitud de los satélites geoestacionarios obedece principalmente a las causas siguientes:

- inclinación de la órbita,
- variaciones del periodo orbital,
- excentricidad de la órbita,
- errores en la determinación de los parámetros orbitales.

Estas causas se examinan una por una en los párrafos siguientes:

2.1 *Inclinación de la órbita*

La influencia principal de los campos de gravitación del Sol y la Luna en un satélite cuasigeoestacionario es la modificación del ángulo de inclinación del plano de la órbita. Para los satélites en el plano ecuatorial, la magnitud inicial de la variación de inclinación es actualmente de 0,86° al año, aproximadamente, pero este valor varía por razones astronómicas entre 0,75° y 0,95° según los años. La magnitud de la variación tiende a disminuir con el aumento de la inclinación. Según se ve desde la Tierra, la inclinación de la órbita produce una excursión diaria del satélite hacia el Norte y hacia el Sur del plano ecuatorial. Este movimiento tiene también una componente en longitud, ya que el satélite efectúa un trayecto en forma de ocho. La fig. 1 muestra la magnitud de este movimiento longitudinal, que es de ± 0,11° con un ángulo de inclinación de 5°, y tiende a aumentar con mayores ángulos de inclinación. En la situación actual de la técnica, la eliminación de la inclinación de la órbita mediante sistemas de propulsión secundarios repercute considerablemente sobre el equipo propulsor del satélite.

En los Informes 390 y 453 se examinan algunos efectos de la inclinación de la órbita en el diseño del sistema.

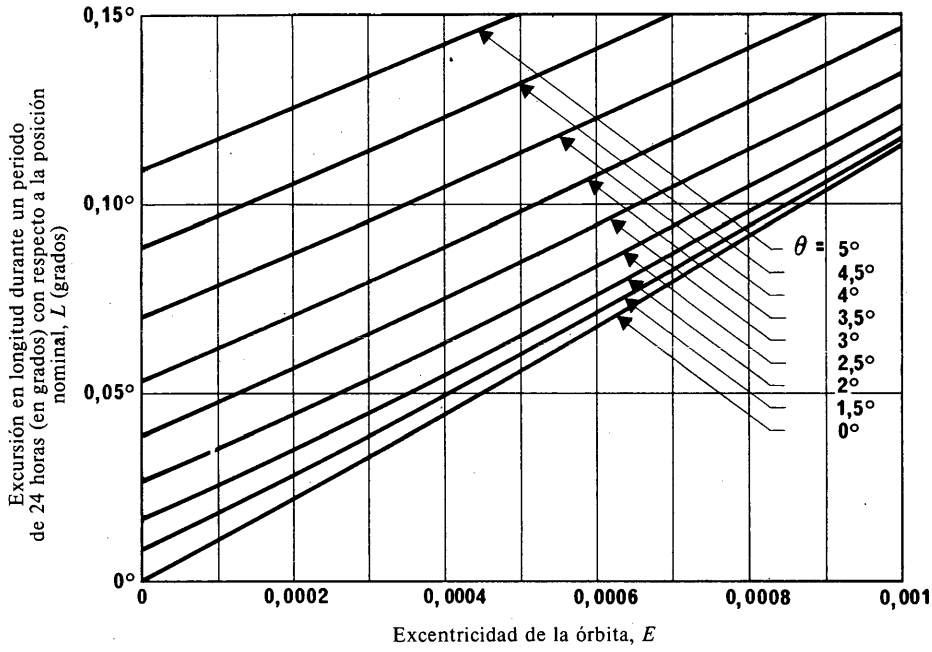


FIGURA 1 – *Variación diaria máxima en longitud debida a la excentricidad e inclinación de la órbita*

θ (grados): Inclinación de la órbita

Nota. – La desviación diaria cresta a cresta en longitud es el doble que el valor indicado en esta figura.

2.2 *Variaciones del periodo orbital*

A unos 76,8° de longitud Este y 108,1° de longitud Oeste, un satélite colocado en la órbita de los satélites geoestacionarios con un periodo orbital inicial preciso no debe derivar ni hacia el Este ni hacia el Oeste. A partir de estos puntos estables, el campo de gravitación de la Tierra disminuye a lo largo de la órbita geoestacionaria en ambas direcciones. Existen dos puntos de equilibrio inestable situados a aproximadamente 161,8° de longitud Este y 12,2° de longitud Oeste. En los demás puntos de la órbita actuarán sobre el satélite estas fuerzas debidas a las desigualdades del campo de gravitación de la Tierra, que aumentarán o reducirán su periodo y harán que el satélite derive lentamente hacia el Este o hacia el Oeste. De vez en cuando hay que reducir a un valor aceptable este error en longitud; la corrección diaria permite lograr una precisión quizá de algunas centésimas de grado. No obstante, la corrección con esta frecuencia presenta dificultades técnicas, ya que después de cada corrección deben determinarse los parámetros orbitales con objeto de medir el efecto conseguido. No será difícil conseguir una precisión de 0,1° con correcciones efectuadas con intervalos tal vez de varias semanas.

Para modificar la posición longitudinal de un satélite geoestacionario es preciso activar por lo menos, dos veces los propulsores Este/Oeste de mantenimiento en posición: una para iniciar la deriva, y otra para interrumpirla. Se obtienen derivas de 1° por día o 10° por día modificando la velocidad de la órbita (ΔV) en unos 2,8 m/s o 28,5 m/s, respectivamente. Estos cambios de velocidad pueden compararse con los requeridos para el mantenimiento normal en posición de un satélite geoestacionario. En las especificaciones de los satélites se precisa típicamente una capacidad total de ΔV de unos 53,5 m/s por año: el mantenimiento en posición Norte/Sur representa aproximadamente 50 m/s por año y el mantenimiento en posición Este/Oeste 2,5 m/s por año, mientras que las necesidades de control de actitud representan el equivalente de 1 m/s por año. Por tanto, una sola maniobra de cambio de posición, a razón de 10° por día (total de ΔV requerido = 57 m/s) equivale a unos 13 meses de mantenimiento en posición normal Este/Oeste y Norte/Sur. Si el propelente utilizado es hidracina (con un impulso específico de unos 220 s) y el satélite tiene una masa de 1000 kg, la masa de hidracina necesaria para este cambio de posición sería de 26 kg, a razón de 10° por día, con independencia del desplazamiento total en longitud.

2.3 *Excentricidad de la órbita*

La excentricidad de la órbita del satélite se traduce en una excursión diaria en longitud de la posición aparente. Así una excentricidad de 0,001 produce una excursión de ± 0,11° alrededor de la posición media (véase la fig. 1). Aunque puede reducirse la excentricidad al valor deseado en el momento de la inyección inicial del satélite en la órbita geoestacionaria, esta excentricidad se modificará con el tiempo. La causa principal de ello es la presión de la radiación solar que produce una variación cíclica anual de la excentricidad. Es probable que esta variación anual se sitúe entre 0,0002 y 0,002 para las configuraciones actuales y previstas de los satélites, dependiendo del valor exacto de la relación entre la zona proyectada y la masa del satélite. Si no se corrige, producirá, como puede mostrarse en algunos estudios, una excursión diaria máxima en longitud con valores de ± 0,02° a ± 0,25° en la cresta del ciclo. Sin embargo, debe poderse reducir considerablemente mediante la corrección adecuada cada pocos meses.

2.4 *Errores en la determinación de los parámetros orbitales*

La precisión con que puede mantenerse un satélite en la longitud prevista, depende hasta cierto punto de la exactitud con que puedan determinarse sus parámetros orbitales. Sin embargo, con estaciones de medición adecuadamente ubicadas y técnicas adecuadas de medición, es sin duda posible determinar las posiciones angulares del satélite con aproximaciones mejores que 0,001°.

Cuando los datos de determinación de distancias se reciben en una sola estación de seguimiento, los errores en la determinación de los elementos orbitales son mayores que si se utilizaran dos estaciones de seguimiento, y a esto se agrega que resulta bastante difícil determinar satisfactoriamente esos elementos orbitales con ángulos de pequeña inclinación (de casi cero). De ahí que, con una sola estación de seguimiento, haya que aumentar la frecuencia de determinación orbital y maniobra. Si a la determinación de la distancia se suma la posibilidad de medir la posición acimutal del satélite hasta una precisión de 0,003°, entonces una sola estación de medición bastará para determinar la posición de ese satélite hasta una precisión del 0,003°. Ello puede conseguirse con una antena de seguimiento automático en frecuencias de 20 GHz o más, si al mismo tiempo se calibra debidamente el sistema de medición [Kawase y otros, 1981]. Por tanto, la incertidumbre en longitud debida a errores de medición puede reducirse a un valor despreciable.

3. Posibilidades actuales

Los satélites Intelsat, Anik (Canadá), CS y BSE (Japón), así como otros sistemas, han demostrado con éxito que puede obtenerse un mantenimiento en posición en longitud de ± 0,1° con pequeña o incluso ninguna penalización en términos de propelente, aun tratándose de puntos inestables de la órbita geoestacionaria. Un mantenimiento en posición de ese orden no influye mayormente en el tiempo de vida útil del satélite. Los satélites japoneses CS y BSE han logrado ese mantenimiento en posición de ± 0,1° sin penalización alguna, a pesar de hallarse en puntos inestables de la órbita y se ha podido determinar el eje semi-principal de esos satélites con una precisión de 50 m gracias a los datos de determinación de distancias recibidos durante 8 h en dos estaciones de seguimiento. Sin embargo, debe advertirse, que toda precisión mayor del mantenimiento en posición entraña necesariamente computadores adicionales y el consiguiente aumento de los costos. Por ejemplo, el satélite CS japonés fue mantenido experimentalmente en ± 0,03° de longitud y latitud a 135° E durante unos meses. En este mantenimiento preciso en posición, la frecuencia de las maniobras Este-Oeste fue de dos veces por semana y la de las maniobras Norte-Sur de una vez cada 2 semanas, mientras que, para el mantenimiento normal en posición en ± 0,1°, la frecuencia de estas maniobras era de una vez cada 3 semanas y una vez cada 10 semanas, respectivamente [Arimoto y otros, 1982]. De ahí que deba tenerse presente que se trata de una precisión que probablemente no estará al alcance de algunos de los actuales satélites.

En el Informe 843 puede encontrarse una detallada descripción de las tecnologías empleadas en los subsistemas de mantenimiento en posición. Tal descripción abarca tanto los motores de índole química como eléctrica, precisándose su rendimiento y comparándose sus ventajas respectivas.

4. Conclusiones

En resumen, constituye un objetivo importante en el caso de los satélites geoestacionarios el mantenimiento preciso en posición teniendo en cuenta todos los tipos posibles de movimiento aparente que presentan los satélites (movimiento residual longitudinal, excentricidad residual de la órbita, inclinación de la órbita), así como la seguridad con que puede determinarse la posición real del satélite.

Como es posible reducir la separación mínima necesaria entre satélites, debido al perfeccionamiento de las técnicas de radiocomunicación, la capacidad definitiva de la órbita será, cada vez en mayor medida, función de la tolerancia que pueda lograrse en el mantenimiento en posición de los satélites, y será preciso examinar todos los medios técnicos posibles de reducir esta tolerancia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIMOTO, Y., SEIOMI, T., NISHIGAKI, T., KAWASE, S. y MURAKAMI, H. [1982] Orbit control of communication satellite based on one station tracking. Proc. 13th International Symposium on Space Technology and Science, Tokio, Japón.

KAWASE, S., KAWAGUCHI, N., TANAKA, T. y TOMITA, K. [marzo de 1981] Precise calibration of geostationary satellite-tracking systems. *IEEE Trans. Aerospace Electron. Systems*, Vol. AES-17, **2**, 166-172.

INFORME 453-4

FACTORES TÉCNICOS QUE INFLUYEN EN LA EFICACIA DE LA UTILIZACIÓN DE LA ÓRBITA DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS POR SATÉLITES DE TELECOMUNICACIÓN QUE COMPARTEN LAS MISMAS BANDAS DE FRECUENCIAS

Resumen general

(Programa de Estudios 28A/4)

(1970-1974-1978-1982-1986)

1. Introducción

Este Informe responde al Programa de Estudios 28A/4 y se basa en los informes del Grupo Interino de Trabajo 4/1, constituido en Ginebra en septiembre de 1968, y cuyo mandato actual figura en la Decisión 2-6.

Hay que hacer algunas observaciones de carácter general antes de pasar al estudio de los factores técnicos más complejos. En primer lugar, debe reconocerse que la zona de servicio máxima en la superficie terrestre desde cualquier satélite en la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG), a pesar de las ventajas de esta órbita, está limitada por la geometría, sobre todo en lo que respecta a la cobertura de las regiones en latitudes altas de la Tierra. Debido a estas consideraciones, puede haber demandas incompatibles, para ciertas partes de la órbita, con la consiguiente congestión en breve plazo. Esto depende de factores geográficos, de la distribución de la población, de la demanda de servicios de telecomunicación, etc. Por otro lado, puede ocurrir que otras partes de la órbita se utilicen poco durante algunos años todavía.

Las soluciones a las dificultades que pueden surgir en las partes congestionadas de la órbita, dependen de los estudios de todos los factores técnicos importantes que determinan la separación mínima necesaria para evitar interferencias entre los satélites que utilizan frecuencias comunes. El presente Informe contiene un resumen de los factores técnicos implicados y se hace en él referencia a otras Recomendaciones y a otros Informes de la Comisión de Estudio 4, donde se trata de dichos factores.

El presente Informe versa principalmente sobre factores técnicos, aunque se hace también referencia a otra clase de factores, en su mayor parte relacionados con la explotación. Conviene, sin embargo, poner de relieve que otros factores revisten también importancia primordial para lograr un aprovechamiento eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios y del espectro de frecuencias. Quizá lo más importante sea la aplicación efectiva de los procedimientos establecidos por la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones, Ginebra, 1979, para la coordinación de frecuencias asignadas a estaciones terrenas y espaciales. Véanse a este respecto el artículo 11 del Reglamento de Radiocomunicaciones y el Informe 454.

Teniendo en cuenta que ciertas partes de la órbita de los satélites geoestacionarios están cada vez más congestionadas, se plantea ahora la necesidad de considerar los sistemas por satélite en función de la utilización por ellos de los limitados recursos de anchura de banda en el espectro de frecuencias y del arco orbital en la órbita de los satélites geoestacionarios. Ambos recursos tienen que emplearse de manera eficaz, pero lo que, de hecho, constituye un empleo eficaz de la combinación de recursos para las diversas aplicaciones que abarca el servicio fijo por satélite constituye un problema complejo. En este contexto «eficacia» no tiene el sentido estrictamente matemático según el cual existe una capacidad máxima (ideal o teórica) de la órbita con relación a la cual la eficacia de un determinado sistema se expresa por medio de un porcentaje. Lo que debe entenderse es «efectividad» de empleo, reconociendo que esta órbita es una facilidad de proporciones limitadas, incluso en el caso de que su capacidad no pueda medirse o expresarse por medio de un solo número que se fija de una forma definitiva. Por consiguiente, se entiende que el perseguir la eficacia de empleo de la órbita, significa emplearla de la forma más económica posible. Esta cuestión se ha examinado detalladamente en el Informe 711.

Hay que señalar, por último, que en este Informe se tratan principios generales. En otros Informes, que se enumeran al final del presente Informe, se encontrará información sobre los problemas técnicos específicos de la compartición de la órbita y del espectro de frecuencias.

Este Informe consta de los siguientes puntos:

2. Características de las redes de satélites que afectan a la utilización de la órbita
2.1 Mantenimiento en posición de los satélites
2.2 Características de las antenas de la estación terrena y nivel general de interferencia
2.3 Nivel de densidad espectral de la p.i.r.e. fuera del eje desde las antenas de la estación terrena
2.4 Discriminación por polarización
2.5 Diagrama de ganancia de la antena del satélite
2.6 Nivel de interferencia admisible
2.7 Efecto de las características de modulación
2.8 Regeneración a bordo
2.9 Linealización del transpondedor
2.10 Niveles de ruido aceptables en los circuitos analógicos de redes nacionales

3. Utilización homogénea de la órbita

4. Factores de explotación

4.1 Optimización de las asignaciones de frecuencias
- 4.1.1 Portadoras cocanal
- 4.1.2 Portadoras intercaladas

4.2 Factores geográficos
- 4.2.1 Arco visible y arco de servicio
- 4.2.2 Efecto de los factores geográficos en la reutilización de frecuencias
- 4.2.3 Ejemplos del efecto de los factores geográficos en la utilización de la órbita
- 4.2.4 Influencia de la configuración del tráfico
- 4.2.5 Enlaces entre satélites
- 4.2.6 Disposiciones de redes de satélites con haces cruzados

4.3 Flexibilidad en el posicionamiento de los satélites

4.4 Utilización inhomogénea de la órbita
- 4.4.1 Estudios de la separación orbital mediante las características específicas del sistema
- 4.4.2 Optimización de la utilización inhomogénea de la órbita
- 4.4.3 Metodologías de utilización de la órbita y del espectro

4.5 Descripción de redes de satélite mediante parámetros generalizados a los efectos de planificación y coordinación

5. Utilización sistemática de las bandas de frecuencias atribuidas

5.1 Agrupación por pares de las bandas de frecuencias
- 5.1.1 Agrupación por pares de las bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite
- 5.1.2 Consideraciones sobre la frecuencia de traslación para los satélites de banda estrecha
- 5.1.3 Uso de pares múltiples de bandas de frecuencias en satélites

5.2 Utilización de bandas de frecuencias en los enlaces ascendentes y descendentes

5.3 Utilización de bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite para enlaces de conexión

5.4 Utilización de nuevas bandas de frecuencias

6. Armonización de la red

6.1 Coordinación de las redes del servicio fijo por satélite

6.2 Técnicas de computador

7. Utilización de satélites geosíncronos en órbitas inclinadas

8. Introducción escalonada en el tiempo de medidas de economía en la utilización de la órbita

9. Estimación de la capacidad teórica de la órbita de los satélites geoestacionarios

2. Características de las redes de satélites que afectan a la utilización de la órbita

2.1 *Mantenimiento en posición de los satélites*

Cuando la posición longitudinal de satélites geoestacionarios esté sujeta a cierta inseguridad debido a una deriva en longitud dentro de la órbita o a la inclinación de la órbita, se producirá una reducción de la capacidad potencial de la órbita de los satélites geoestacionarios. La capacidad apenas disminuye a causa de inclinaciones moderadas de la órbita, pero se reduce en cambio mucho cuando las derivas longitudinales se aproximan a valores comparables a la separación mínima admisible entre satélites. El Informe 556 trata de los factores que afectan a la posición de los satélites y a la precisión del mantenimiento en posición técnicamente realizable en la actualidad.

El Reglamento de Radiocomunicaciones dispone que se mantengan todos los satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite a $\pm$ 0,1° de la longitud de su posición nominal. Constituyen una excepción a esta exigencia las estaciones experimentales y los sistemas cuya publicación anticipada se haga antes del 1.° de enero de 1982 y que entren en servicio antes del 1.° de enero de 1987 (véanse los números 2618 y 2624 del Reglamento de Radiocomunicaciones).

Estudios efectuados en Estados Unidos de América sobre mejora en el mantenimiento en posición de satélites [CCIR, 1978-82a] y por el GIT 4/1 dan a entender que puede lograrse probablemente desde el punto de vista técnico, una mayor precisión de mantenimiento en posición longitudinal que la de $\pm$ 0,1° recientemente introducida en el Reglamento de Radiocomunicaciones por la CAMR-79. En situaciones en que, por ejemplo, el haz puntual del satélite o la discriminación por polarización permiten ángulos muy pequeños de separación entre satélites, esto puede mejorar la utilización de la órbita. Si esta mejora del mantenimiento en posición longitudinal va acompañada de un control igualmente estrecho del mantenimiento en posición Norte-Sur, puede reducirse el costo de algunas estaciones terrenas porque tal vez no se necesiten facilidades de seguimiento de satélites. Sin embargo, el mejor mantenimiento en posición puede aumentar algo los costos de explotación.

De modo general, el mantenimiento en posición latitudinal no influye en alto grado en el uso eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios, pero en estudios llevados a cabo en Italia [Quaglione y Giovannoni, 1983] se señala que puede influir en alto grado en el funcionamiento eficaz de un sistema el no aplicar limitaciones de los errores en latitud/guiñada a sistemas de reutilización de frecuencias con polarización lineal y cuando las estaciones terrenas emplean seguimiento de polarización. Esos estudios indican que puede sufrir menoscabo la utilización de la órbita debido a la capacidad reducida resultante del empleo menos eficaz de los sistemas individuales. Pueden producirse efectos adversos similares en la utilización eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios cuando se recurre a la reutilización de frecuencias mediante polarización lineal ortogonal para dos satélites de diferentes redes del servicio fijo por satélite con escasa separación entre sí o incluso colocados en la misma posición longitudinal de la órbita geoestacionaria (véase el Informe 555). Parece justificarse un estudio adicional sobre este asunto.

2.2 *Características de las antenas de estación terrena y nivel general de interferencia*

El diagrama de radiación de una antena de estación terrena, en particular en los primeros 10° en torno del eje principal y en dirección de la órbita de los satélites geoestacionarios, es uno de los factores más importantes para determinar la interferencia entre sistemas que utilizan satélites geoestacionarios. La reducción del nivel de lóbulos laterales o el aumento de D/λ (o ambas cosas) permitirá utilizar más eficazmente la OSG para una determinada relación portadora/interferencia (C/I). Esa eficacia podrá aumentarse también disminuyendo el valor C/I.

Es preciso admitir que podrían obtenerse diagramas de radiación considerablemente mejores que el diagrama de radiación de referencia que figura en la Recomendación 465, limitando cuidadosamente los niveles de los lóbulos laterales. La dispersión causada por el bloqueo en la abertura de la antena es la principal causa de una elevada respuesta de los lóbulos laterales. Existen configuraciones de antena que no presentan tal bloqueo, por lo que su uso es conveniente. En el Informe 390 se indican varias formas de establecer las características de construcción de las antenas de tipo Cassegrain destinadas a estaciones terrenas, que permitan reducir la radiación en las direcciones de los lóbulos laterales.

Se estima próxima la posibilidad de utilizar una configuración de alimentador descentrado para las antenas de pequeñas y medianas dimensiones, pero aún no está claro si el empleo de tales técnicas para las antenas de grandes dimensiones habrá de entrañar un costo excesivo. No obstante, se ha convenido en que sería conveniente que se formulase pronto una Recomendación sobre los niveles máximos de los lóbulos laterales de las antenas de estación terrena. El diagrama de la Recomendación 465 podría ser apropiado para las antenas de grandes dimensiones que funcionan en las bandas de frecuencias de 4 y 6 GHz.

Si se utiliza una antena asimétrica (descentrada) con pequeños errores en la superficie y una fuerte iluminación progresiva, parece que es posible lograr una reducción de 5 dB. Este valor representa probablemente el nivel práctico más bajo para antenas de pequeño diámetro ($D/\lambda \leqslant 150$). También puede obtenerse para grandes antenas axisimétricas siempre que los errores de la superficie sean pequeños y se aplique cierto grado de iluminación progresiva sobre la apertura. La utilización de configuraciones asimétricas para antenas grandes supondría probablemente costes adicionales.

En la fig. 1 aparece el efecto de tres niveles diferentes de lóbulos laterales (suponiendo que se mantienen para todo valor de D/λ) y de la relación D/λ sobre la separación entre satélites, φ_s, para el caso de dos valores de C/I iguales a 35 y 25 dB. También se indica el diámetro mínimo (en longitudes de onda) para una separación entre satélites determinada. Este parámetro se ha fijado teniendo en cuenta la situación del primer mínimo del diagrama de radiación de la estación terrena. Permite el error angular suficiente en el defecto de alineación de la antena y en la puntería del satélite antes de que la relación C/I se degrade de forma significativa si uno de los satélites adyacentes cae en el borde del haz principal.

En la Recomendación 580 se prevé un objetivo de diseño para la disminución de la ganancia de los lóbulos laterales de nuevas antenas, si el diámetro del reflector es más de 100 veces mayor que la longitud de onda. Es necesario seguir estudiando el objetivo de diseño para antenas más pequeñas.

Evidentemente, la eficacia de utilización de la órbita es mayor en el caso de los sistemas en los cuales las antenas de las estaciones terrenas tienen un factor de calidad (G/T) y una ganancia de elevado valor.

2.3 *Nivel de densidad espectral de la p.i.r.e. fuera del eje desde las antenas de la estación terrena*

La sensibilidad de un receptor de la estación terrena a la interferencia causada por el enlace descendente de otras redes de satélite que funcionan en las mismas bandas de frecuencia se determina, principalmente, por la ganancia de los lóbulos laterales de la antena de la estación terrena. Sin embargo, la gravedad de la interferencia causada por un transmisor de la estación terrena a los receptores del satélite de otras redes se debe al nivel de la p.i.r.e. fuera del eje de la antena de la estación terrena interferente, que generalmente se da como una densidad espectral. Esta cantidad viene determinada por la ganancia de lóbulos laterales, el nivel de potencia de salida del transmisor y la distribución espectral de dicha potencia. Este nivel de potencia espectral del transmisor lo determinan factores tales como la ganancia en dirección del eje de la antena de la estación terrena, la ganancia de la antena receptora del satélite en la dirección correspondiente, el factor de ruido del receptor del satélite, la naturaleza de la señal de modulación y las medidas de dispersión de energía de la portadora.

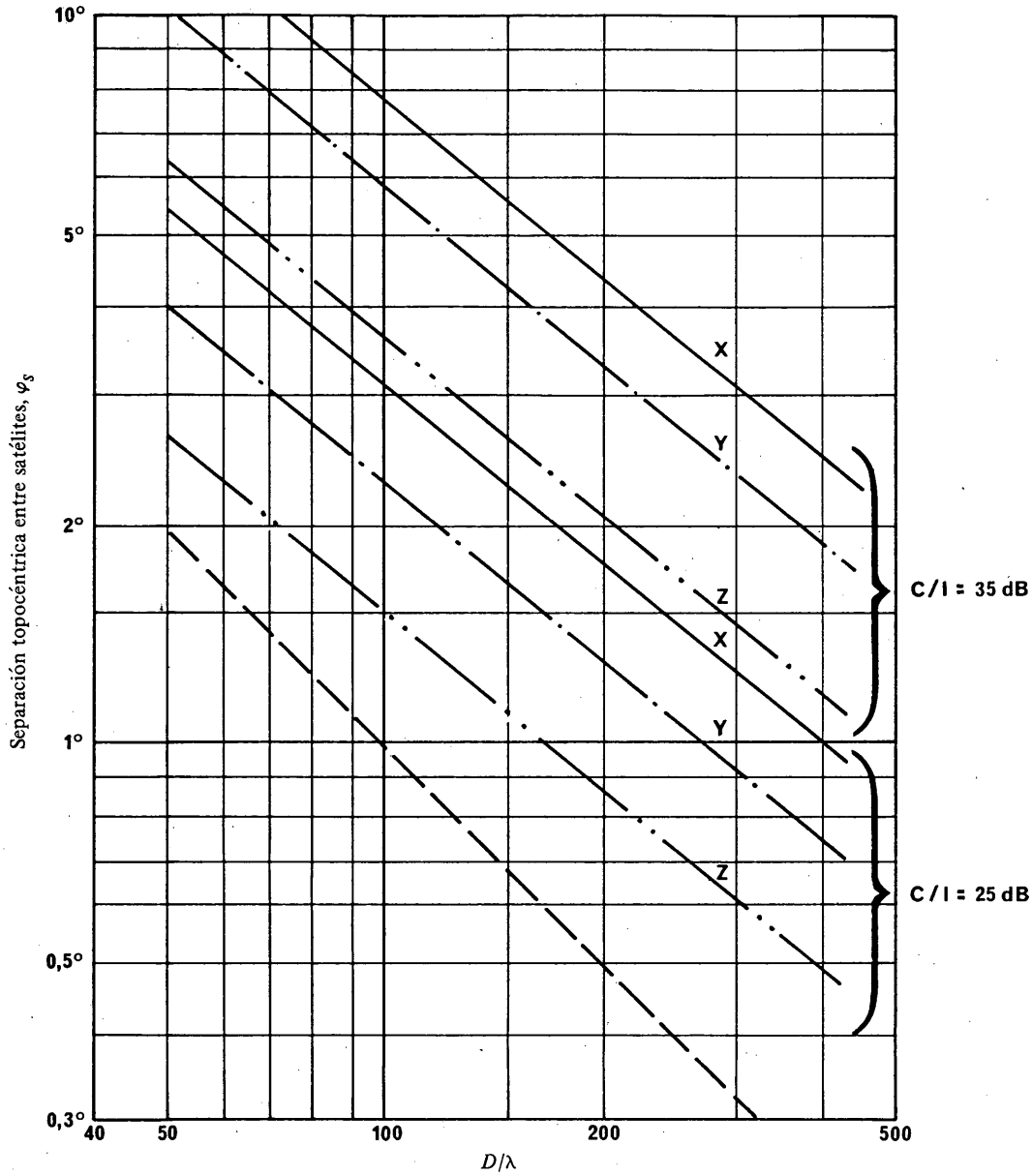


FIGURA 1 – *Separación necesaria entre satélites para interferencia procedente de una sola fuente entre redes de satélite homogéneas en función del diámetro de la antena de la estación terrena (en longitudes de onda) y de las características de lóbulos laterales para dos valores de C/I*

——— $G(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi$

—·— $G(\varphi) = 29 - 25 \log \varphi$

—··— $G(\varphi) = 24 - 25 \log \varphi$

– – – – Primer mínimo en el diagrama de radiación de la estación terrena. No se especifica la relación *C/I*.

Para limitar la interferencia entre redes no basta con lograr una disminución de los lóbulos laterales de las antenas en todas las estaciones terrenas, aunque esto es importante (véase el punto 2.2 de este Informe). Es también importante limitar de alguna manera el nivel espectral de potencia de los transmisores de la estación terrena. Aplicando esta limitación en forma de un límite recomendado del nivel de densidad de la p.i.r.e. espectral fuera del eje, el diseñador del sistema dispone de la máxima oportunidad para combinar los diversos factores que afectan a esa limitación para obtener las mejores soluciones (véase la Recomendación 524 y el Informe 1001).

2.4 *Discriminación por polarización*

La utilización de polarizaciones ortogonales, lineales o circulares, permite obtener discriminación entre dos emisiones en la misma banda de frecuencias desde el mismo satélite o desde satélites adyacentes próximos. Se puede aumentar así la discriminación obtenida gracias a las propiedades directivas de las antenas del satélite y de la estación terrena. Esta cuestión se analiza con todo detalle en el Informe 555.

Mediante la discriminación por polarización, ya sea lineal o circular, es posible la reutilización de frecuencias en el mismo haz de satélite. Esta técnica se utiliza en muchos satélites actualmente en explotación, y se consigue con valores de discriminación de 27 a 35 dB. Para sacar el máximo partido de este aumento de anchura de banda, la potencia del vehículo espacial debe duplicarse, en cuyo caso puede duplicarse también la capacidad del satélite; cuando la potencia del vehículo espacial se mantiene en un sistema de anchura de banda limitada, puede obtenerse un aumento de hasta un 60% en la capacidad del satélite.

Otra posibilidad es utilizar polarización ortogonal en satélites adyacentes para reducir la separación entre satélites, aumentando así la capacidad de la órbita. En este caso, la discriminación debe obtenerse en la dirección de los lóbulos laterales de las antenas de estación terrena de las redes de satélites, y niveles de discriminación aún más pequeños permitirán reducciones considerables de la separación. El empleo de la discriminación por polarización de este modo excluirá el uso de polarización doble en uno u otro satélite, salvo en algunos casos muy especiales, en los que son realizables mejoras por intercalación de frecuencias (véase el punto 4.1.2).

Si pueden obtenerse beneficios generales de la discriminación por polarización entre redes de satélites como se indica en este último ejemplo, el CCIR debe formular recomendaciones sobre las materias siguientes para cada banda de frecuencias:

- Se debe definir el modo de polarización preferido: circular o lineal.
- Si se utiliza la polarización lineal, se deben definir los planos ortogonales de polarización normalizados, vistos desde las estaciones terrenas. Por ejemplo, un plano podría estar en la dirección Norte-Sur y el otro ser ortogonal al primero.
- Se deben establecer normas mínimas de pureza de polarización para el haz principal de todas las antenas de satélite y de estación terrena, tanto si se utiliza como si no se utiliza la polarización doble dentro de esa red. Estas normas deben incluir una tolerancia que compense el efecto del movimiento del satélite, pero deben ser menos estrictas de lo necesario para permitir la polarización doble dentro de la red de satélites.

El CCIR debe recomendar un factor mínimo de aislamiento por polarización para su utilización en la coordinación de sistemas que puedan recurrir a esta protección.

En el caso de polarización lineal hay dos criterios alternativos fundamentales: los planos de la polarización se eligen para minimizar los efectos de propagación local o para minimizar las posibilidades de, y las susceptibilidades a, las interferencias. En el anexo I figuran los aspectos geométricos de ambos criterios con respecto a las consideraciones de interferencia.

2.5 *Diagrama de ganancia de la antena del satélite*

La reutilización de frecuencias portadoras para dar servicio a distintas zonas de la superficie terrestre, con satélites geoestacionarios casi coubicados, se puede simplificar mucho mediante el uso de antenas de satélites con una abertura efectiva muy inferior al ángulo que la Tierra subtiende con la órbita de los satélites geoestacionarios, o inferior a 17°. Para obtener la necesaria discriminación entre las señales deseada e interferente, los diagramas de los lóbulos principales de las antenas de los satélites deben adaptarse a las zonas de cobertura lo más estrechamente posible, lo que puede conseguirse conformando el haz en el plano normal a la dirección de propagación. No obstante, debe señalarse que será necesario estudiar medios en los que se defina el concepto de zona de cobertura. Además, es conveniente la conformación del haz dentro de la zona de cobertura a efectos de hacer máxima la p.i.r.e. del satélite, sobre todo hacia las estaciones terrenas de la zona de cobertura. Asimismo, los haces conformados pueden coadyuvar a una utilización eficaz de la órbita mediante la reutilización del espectro y la reducción de la interferencia, debido a la generación de un diagrama variable. Sin embargo, a menos que exista la posibilidad de volver a conformar el haz a bordo de los satélites, puede reducirse la eficacia a causa de la falta de flexibilidad de la posición orbital.

Algunas redes actualmente en explotación proporcionan cobertura a zonas de servicio separadas, utilizando las mismas frecuencias en distintos haces de antena y dejando un margen para una contribución de ruido del aislamiento imperfecto que puede obtenerse. Se obtendrán tres reutilizaciones de frecuencia con la misma polarización en la banda 6/4 GHz y, para frecuencias superiores, parecen realizables muchas más reutilizaciones desde la misma posición orbital.

Como mejor se consigue una mayor reutilización de frecuencias en la OSG es por control de la radiación fuera de la zona de cobertura, lo que exige generalmente la reducción del nivel del primer lóbulo lateral mediante el uso de configuraciones de antenas de haces conformados sin bloqueo de la apertura. Cuando la zona de cobertura es relativamente pequeña, pueden utilizarse configuraciones de antena sencillas, aunque el gran tamaño

físico de tales antenas puede venir limitado por la masa del vehículo espacial y los vehículos de lanzamiento. En este último caso serán necesarios requisitos rigurosos del control de actitud de los satélites, en tanto que con la configuración de haces conformados se requiere menos precisión.

Aunque no se pueden aprovechar totalmente las ventajas que ofrece la reutilización de las mismas frecuencias si no se controla de manera adecuada la posición del haz principal de la antena del satélite, es posible que tales ventajas no se reduzcan considerablemente en tanto se pueda mantener la posición del haz de la antena entre unos límites que sean una pequeña fracción, 0,2 o menos, de la abertura del haz.

Para facilitar la reutilización del espectro por medio de antenas de satélite de haz restringido, tal vez conviniese adoptar un diagrama de radiación de referencia de antenas de satélite. Como en el diseño de una antena de satélite influyen muchos parámetros, como las dimensiones y conformación de la zona de servicio, la ganancia mínima necesaria, la limitación de la abertura y la densidad de flujo de potencia, resulta difícil definir un diagrama de referencia de antena de satélite que sea aplicable a toda la amplia gama de complejos diagramas que pueden utilizarse. El Informe 558 hace un análisis más detallado de este problema. Debe también señalarse que la necesidad de reubicar satélites en la OSG tendrá repercusión en las limitaciones de diseño de las antenas (véase el Informe 1002).

2.6 *Nivel de interferencia admisible*

Los estudios realizados muestran que puede obtenerse mayor capacidad en la OSG a medida que se asigne una parte mayor del ruido total a la interferencia entre sistemas de satélites. Por ejemplo, por debajo de 10 GHz, se calcula que la capacidad de la órbita puede aumentarse en un 75%, por lo menos, si la contribución del ruido de interferencia entre redes se aumenta del 10% al 50% aproximadamente del ruido total [CCIR, 1970-74a].

Esta cuestión se examina con detalle en el Informe 455.

Para conseguir la utilización más eficaz de la órbita, los sistemas de satélites funcionarían según el modo de limitación por la interferencia, que aunque reduciría la capacidad por satélite, aumentaría el número de accesos posibles a satélites.

2.7 *Efecto de las características de modulación*

Se han realizado estudios [CCIR, 1970-74b, c, d] del efecto de las características de modulación en la utilización de la órbita y del espectro.

Para sistemas con modulación de frecuencia, a medida que aumenta el índice de modulación, se reduce la capacidad por satélite, pero disminuye la densidad de ruido en la banda de base debida a la interferencia para una determinada relación portadora/interferencia, lo que permite una separación inferior entre satélites con el consecuente aumento, en general, de la eficacia de utilización de la OSG. Para las transmisiones digitales que utilizan MDP, se presentan condiciones semejantes en el sentido de que se aumenta la inmunidad de una señal contra la interferencia a medida que se reduce el número de niveles de fase, lo que permite igualmente reducir la separación entre satélites. En este caso, sin embargo, se logra la utilización óptima de la OSG con un número de niveles de fase comprendido entre cuatro y ocho, ya que esa utilización tiende a disminuir, tanto si aumenta como si se disminuye el número de niveles de fase empleados.

En el caso de la interferencia a una transmisión MDP, causada por señales con modulación angular procedentes de cierto número de satélites uniformemente separados entre sí, el efecto de la interferencia acusa una pronunciada característica de umbral en términos de la distancia entre los satélites. La reducción de la separación entre satélites por debajo del valor de umbral se traduce en un rápido aumento de la intensidad de la interferencia. Los estudios efectuados por el CCIR indican la relación que existe entre esta característica de umbral y diversos parámetros tales como las proporciones de errores admisibles, el número de niveles de fase de la portadora, el diagrama de radiación de la antena de la estación terrena y el número de satélites interferentes.

En el Informe 559 se examina con más detalle la relación existente entre las características de modulación y otros factores que intervienen en la utilización de la órbita.

El examen de los factores técnicos que influyen en la utilización de la OSG se ha efectuado en la mayoría de los casos en relación con sistemas que facilitan únicamente comunicaciones en el servicio fijo por satélite. Sin embargo, el servicio fijo por satélite se utiliza también específicamente para facilitar enlaces ascendentes a satélites de otros servicios (por ejemplo, a satélites de radiodifusión) y, por consiguiente, pueden tener características técnicas no necesariamente óptimas desde el punto de vista de utilización de la anchura de banda y del arco orbital. En esos casos pueden ser más importantes otros criterios al realizar el diseño del sistema.

2.8 *Regeneración a bordo*

Un proceso de demodulación/regeneración/remodulación a bordo del satélite desacopla el ruido del enlace ascendente y del enlace descedente. También minimiza la degradación de la señal causada por amplificadores no lineales dispuestos en cascada y por los filtros de limitación de la banda, en la cadena de transmisión de extremo a extremo.

Estas ventajas permiten una menor separación entre satélites o, para una separación determinada, una mayor reutilización de las frecuencias dentro del sistema de satélites.

Por ejemplo, la regeneración a bordo puede reducir la separación de los satélites en un 30% o, para una separación determinada, aumentar el número de reutilizaciones en más del 60%.

2.9 *Linealización del transpondedor*

La mayoría de los transpondedores actuales utilizan tubos de ondas progresivas (TOP) como amplificador de alta potencia del vehículo espacial. Los TOP son no lineales, de modo que si se transmiten simultáneamente varias portadoras separadas pueden aparecer productos de intermodulación significativos. Para reducir el ruido de intermodulación se pueden utilizar circuitos de predistorsión a bordo del satélite. En este caso, aunque el TOP es no lineal, la cadena de amplificadores del satélite puede ser lineal hasta la saturación y tiene un nivel de salida constante más allá de la saturación. Las características de conversión MA a MP de los TOP pueden también eliminarse. El transpondedor linealizado proporciona típicamente un 30% más de capacidad para la explotación con multiportadoras MF.

Otra posibilidad es utilizar amplificadores de potencia de estado sólido (APES) para conseguir un funcionamiento más lineal cuando los requisitos de potencia lo permitan.

2.10 *Niveles de ruido aceptables en los circuitos analógicos de redes nacionales*

Dentro de los límites de los niveles de ruido total actualmente recomendados por el CCITT, pueden elegirse normas para circuitos por satélite que puedan proporcionar una calidad de funcionamiento equivalente o algo mejor que la de conexiones terrenales largas comparables. Fundamentalmente, se considera que el margen de ruido para un circuito por satélite debe corresponder con el margen de ruido de los sistemas terrenales a los que teóricamente reemplaza. Este método consistente en establecer objetivos para los circuitos por satélite, en vez de aplicar simplemente la norma de la Recomendación 353, conduce a una posible mayor capacidad en un sistema específico, y en consecuencia se obtiene una posible mejora en la utilización de la OSG.

Un análisis [Feder, 1976] demostró que, para determinados tipos de circuitos telefónicos utilizados para el tráfico nacional, las normas aplicadas normalmente para circuitos telefónicos internacionales vía satélite pueden disminuir su rigidez al mismo tiempo proporcionando un servicio adecuado en un país. No podrán beneficiarse de esta ventaja todos los circuitos y pueden ser necesarias disposiciones especiales para asegurar que se cumplirán los requisitos de orden internacional cuando estos circuitos por satélite de «norma internacional» deban conectarse a un circuito internacional. Existen, naturalmente, situaciones de tráfico a nivel nacional en las que puede ser necesario aplicar normas que sobrepasen las establecidas por la Recomendación 353.

Los posibles cambios en la capacidad de los sistemas que podrían obtenerse si se utilizaran valores distintos de 10 000 pW0p pueden ofrecer aumentos del número total de canales por transpondedor, a cambio de un aumento de la tolerancia con relación a la Recomendación 353.

3. Utilización homogénea de la órbita

La utilización más eficaz de la OSG se conseguiría si todos los satélites que la utilizan, iluminando la misma zona geográfica y empleando las mismas bandas de frecuencias, tuviesen las mismas características, es decir, si formasen un conjunto homogéneo. En la práctica, sin embargo, los sistemas de satélites presentan diferencias.

Consideremos dos sistemas A y B que utilizan satélites con posiciones orbitales adyacentes. Si las características de A difieren mucho de las de B, por ejemplo, en lo que respecta a la sensibilidad del receptor del satélite y a la p.i.r.e. en el enlace descendente, o a las características de su correspondiente estación terrena, la separación angular necesaria para proteger a A contra las interferencias de B puede ser distinta de la necesaria para proteger a B contra las interferencias de A. En la práctica hay que elegir el mayor de los dos ángulos. El grado en que esto puede representar una utilización ineficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios depende de numerosos factores respecto al diseño de los sistemas de satélites con posiciones orbitales cercanas a las de los satélites de A y de B. Se puede utilizar la órbita con mayor eficacia si al proyectar el sistema de satélites se tiene en cuenta la no homogeneidad. Los parámetros del sistema que deben tenerse en cuenta particularmente, son los siguientes: p.i.r.e., factor de calidad (G/T) de las estaciones terrenas y del satélite, y la inmunidad relativa del sistema de modulación contra las interferencias.

La fig. 2 ilustra los efectos de diferentes p.i.r.e. de satélite en la separación necesaria entre satélites que, por lo demás, son homogéneos.

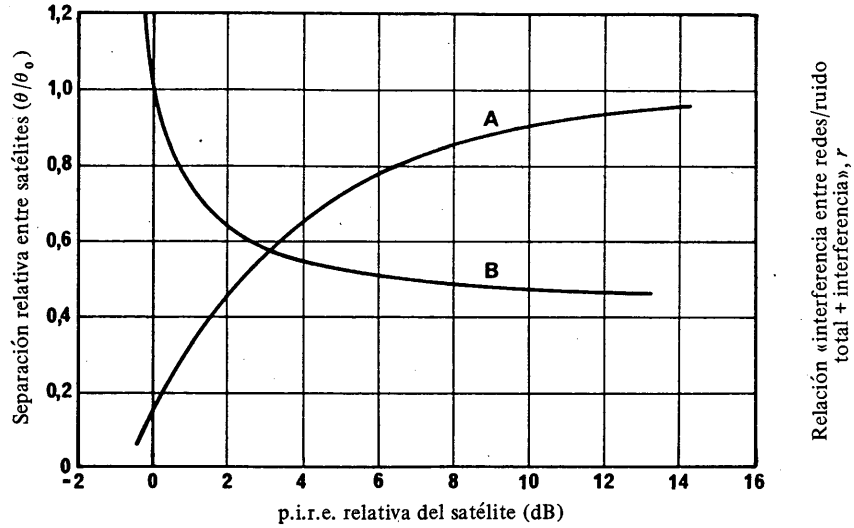


FIGURA 2 – *Separación entre satélites en función de la p.i.r.e. de los satélites*

Curvas A: Variación de r sin ruido de intermodulación
B: Variación del espaciamiento en la órbita sin ruido de intermodulación

4. Factores de explotación

4.1 *Optimización de las asignaciones de frecuencias*

4.1.1 *Portadoras cocanal*

Los estudios cuantitativos de la utilización de la órbita y del espectro exigen que se conozca la correspondencia entre la relación portadora/interferencia a la entrada y las características de la banda de base para varios sistemas de modulación. Es este un problema específicamente técnico que no se examina con detalle en este Informe. El Informe 388 y su bibliografía constituyen un resumen útil de las conclusiones relativas a esta cuestión. En el Informe 449 se enumeran los resultados de las mediciones subjetivas y objetivas del efecto de la interferencia entre señales de televisión con modulación de frecuencia.

4.1.2 *Portadoras intercaladas*

La técnica de la intercalación de frecuencias portadoras, sea entre dos redes o entre los modos que aplique una red para la reutilización de frecuencias, es un medio útil de reducir la interferencia, aunque generalmente limitado a los sistemas analógicos. Las ventajas que pueden conseguirse con ello se tratan en el Informe 455.

Se ha utilizado una aplicación especial de esta técnica junto con la reutilización de frecuencias con doble polarización por intercalación de transpondedores completos. Cuando estos transpondedores se utilizan para transmisiones analógicas en un modo de portadora única, pueden realizarse reducciones considerables de interferencia, sea entre dos reutilizaciones en un satélite o entre ese satélite y un satélite adyacente que utilice la misma configuración en un sentido ortogonalmente polarizado con respecto al del primer satélite.

4.2 *Factores geográficos*

Las características geográficas influyen en el arco utilizable para la zona de servicio de que se trate, y tienen distintos grados de interacción con las técnicas empleadas para la reutilización de las mismas frecuencias.

4.2.1 *Arco visible y arco de servicio*

El arco visible de una zona de servicio determinada depende directamente de las características geográficas (latitud, tamaño y forma).

- *Latitud:* Para un solo receptor y para determinado ángulo de elevación mínimo, la longitud del arco visible depende únicamente de la latitud. En la fig. 3 se indica el tramo del arco visible para ese punto, en función de la latitud, para ángulos de elevación de 0° a 40°. Para una zona estrecha en latitud y tal que todos los puntos estén aproximadamente en la misma latitud, esta longitud se encuentra disminuida en la distancia (medida en grados de longitud) que media entre sus puntos más orientales y más occidentales.

- *Tamaño y forma:* El arco visible de una zona ampliada de forma irregular se determina por la latitud y longitud de los dos puntos de la zona en la que el ángulo de elevación empieza a descender por debajo del valor mínimo de funcionamiento a medida que el satélite se dirige hacia el Este o hacia el Oeste, respectivamente. En general, cuanto más ancha es la zona de servicio y mayor es su latitud, menor es su arco visible. En lo que respecta a la forma, una zona de servicio larga y estrecha tiene un arco visible menor que una zona prácticamente circular de la misma extensión. Para una zona de servicio próxima al Ecuador, la dimensión Este-Oeste tiende a ser la determinante; para una zona de servicio más próxima a uno de los polos, la dimensión Este-Oeste en la latitud más alta, resulta crítica.

El arco de servicio será de ordinario más estrecho que el arco visible y estará plenamente dentro de éste, de conformidad con las limitaciones impuestas por factores tales como:

- el ángulo de elevación mínimo en las estaciones terrenas;
- protección contra los eclipses;
- la cobertura de las antenas del satélite.

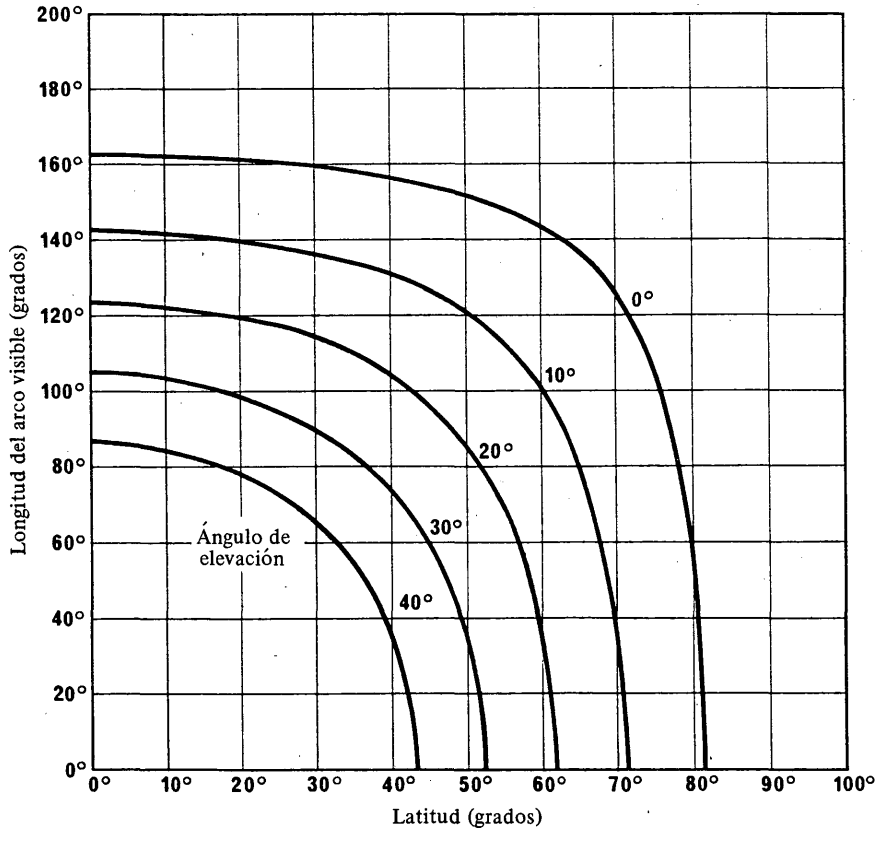


FIGURA 3 – *Arco visible de una sola estación terrena*

4.2.2 *Efecto de los factores geográficos en la reutilización de frecuencias*

La reutilización de frecuencias puede efectuarse mediante tres técnicas: polarización ortogonal, discriminación de la antena de la estación terrena y discriminación de la antena del satélite. Las características geográficas tienen algunos efectos en las tres técnicas.

- *Polarización ortogonal:* La despolarización causada por la lluvia es un efecto importante tanto con polarización lineal como con polarización circular, por lo cual la discriminación que puede obtenerse para breves periodos de tiempo depende del clima (que determina las estadísticas de pluviosidad) y la ubicación, es decir, la latitud y la longitud de la estación terrena receptora. La variación del ángulo de polarización recibido con respecto a la latitud y a la longitud, que puede ser importante o no según diversos factores, sólo se producirá con polarización lineal (véase el anexo I). Ambos efectos se examinan detalladamente en el Informe 814.
- *Discriminación de la antena de la estación terrena:* El efecto de la geografía en la discriminación de la antena de la estación terrena es pequeño. Ello se debe a la diferencia entre los ángulos geocéntrico y topocéntrico. La relación entre los ángulos geocéntrico y topocéntrico de los satélites varía entre 0,99 y 1,18 en la superficie de la Tierra.
- *Discriminación de la antena del satélite:* La discriminación que puede obtenerse de las antenas de satélite con haces circulares o elípticos, correspondientes a los diagramas de referencia indicados en el Informe 558, tiene un rellano de 20 dB para separaciones de 1,3 a 3,15 anchuras de haz desde el centro de éste, y la ganancia decrece al aumentar esa separación, a razón de 25 dB por octava, hasta un mínimo de -10 dBi. Pueden obtenerse valores de discriminación mayores cuando se utilizan haces conformados. En el Informe 558, se indican ejemplos de la calidad de funcionamiento que puede obtenerse con tecnología de haces conformados. La ubicación relativa de las diversas zonas de servicio, que determina su separación y, por tanto, el grado de discriminación de la antena del satélite que puede lograrse, es el factor geográfico más importante que afecta a la utilización de la órbita y del espectro.

4.2.3 *Ejemplos del efecto de los factores geográficos en la utilización de la órbita*

He aquí algunos ejemplos típicos de los efectos de las características geográficas en el uso de la órbita de los satélites geoestacionarios por el servicio fijo por satélite:

- La Región 2 está separada de las Regiones 1 y 3 por grandes extensiones de agua, y sus límites están generalmente orientados de Norte a Sur. Esto produce un aislamiento relativo de la Región 2 con respecto a las demás.
- Entre las Regiones 1 y 3 hay una parte límite común bastante considerable que corre generalmente de Este a Oeste. Ello da lugar a fuertes interacciones entre sus redes de satélite.
- Entre América del Norte y América del Sur hay interacciones relativamente débiles a causa de su separación geográfica. Los satélites que prestan servicio a esos dos continentes pueden estar poco separados, e incluso podrían tener la misma ubicación en algunos casos. América Central y las Islas del Caribe tienen fuertes interacciones tanto con América del Norte como con América del Sur.
- Nueva Zelandia está suficientemente separada de otras zonas de servicio para que sus satélites puedan colocarse poco separados de los pertenecientes a las zonas de servicio más próximas.
- Los numerosos países de América Central y de las Islas del Caribe tienen todos arcos de servicio muy largos por ser zonas de pequeña extensión y encontrarse a baja latitud. Por tanto, tal vez sea posible colocar sus satélites en partes del arco que no puedan o no necesiten utilizar otros países.
- Las zonas de servicio en latitudes altas, como Canadá, Alaska, Países Escandinavos y el Nordeste de la URSS, tienen todas arcos de servicio muy cortos.

4.2.4 *Influencia de la configuración del tráfico*

La ubicación de las estaciones terrenas que trabajan con un satélite geoestacionario específico y la red de circuitos que el satélite asegura, determinan varias de las principales características que intervienen en la utilización de la órbita, incluidas la ubicación orbital, la p.i.r.e. del satélite, la anchura del haz de la antena del satélite y el tipo de modulación.

El grado de ineficacia en la utilización de la órbita dependerá de la medida en que las estaciones terrenas estén muy dispersas, requieran haces anchos, tengan necesidad de gran capacidad de canales y, por consiguiente, de valores altos de p.i.r.e. e índices bajos de modulación. Estas condiciones tienden a quitar toda flexibilidad en lo que concierne a las posiciones orbitales.

4.2.5 *Enlaces entre satélites*

En el Informe 451 se tratan los aspectos generales de los enlaces entre satélites. En el presente Informe, se examinan los aspectos de estos enlaces que influyen en la eficacia de utilización del espectro y de la órbita de los satélites geoestacionarios.

Un enlace directo ofrece las siguientes ventajas:

- el tiempo de propagación entre las estaciones terrenas terminales es inferior al de un circuito que incluye una tercera estación terrena. Esto podría ser importante en el caso de la telefonía;
- se reducirían los problemas expuestos en el punto 4.2.4.

4.2.6 *Disposiciones de redes de satélites con haces cruzados*

Si los satélites que dan servicio a zonas geográficas limitadas y que utilizan las mismas bandas de frecuencias están situados en aproximadamente la misma longitud que sus zonas de servicio, los satélites adyacentes tenderán a dar servicio a zonas adyacentes. En consecuencia, el uso de antenas de satélite en la órbita tal vez sólo podría reducir en muy poco la interferencia entre las dos redes. Pero si los satélites pueden disponerse de manera tal que satélites adyacentes den servicio a zonas geográficas bastante separadas entre sí, merced a lo cual las zonas geográficas adyacentes son servidas por satélites bastante separados con haces de cobertura restringida, las propiedades direccionales de las antenas de los satélites pueden asegurar una protección mayor, en particular si su diseño tiene en cuenta las técnicas de reducción de los lóbulos laterales.

Se ha propuesto la posibilidad de una disposición de haces cruzados para sistemas de satélite con haces de cobertura restringida para mejorar la utilización de la anchura de banda y del arco orbital. Puede reducirse considerablemente la potencia de ruido de interferencia y permitir una menor separación entre satélites. En circunstancias favorables, esta disposición puede traducirse en una reducción de la separación mínima entre satélites de hasta un 30% en comparación con el caso de las disposiciones de haces no cruzados; no obstante, deben hacerse nuevos estudios para cada caso concreto.

4.3 *Flexibilidad en el posicionamiento de los satélites*

Tal vez sea necesario trasladar un satélite de una posición orbital a otra dentro de su arco de servicio, después de la entrada en servicio, a fin de permitir el acceso de una nueva red. La mejora del acceso a la órbita obtenido de este modo será mayor si el arco de servicio es largo. Sin embargo, la provisión de un arco de servicio largo puede tener un efecto considerable en el diseño óptimo de una red, en particular de las antenas de haz puntual del satélite, y puede tener alguna repercusión en la calidad. La aplicación de un cambio de posición orbital en servicio puede tener considerables consecuencias de explotación (véase el Informe 1002).

4.4 *Utilización inhomogénea de la órbita*

4.4.1 *Estudios de separación orbital mediante las características específicas del sistema*

Se han efectuado estudios, en que se ha calculado la separación necesaria entre satélites y la capacidad que puede obtenerse en la red para sistemas con características diversas, escogidas arbitrariamente. Se supone que las antenas de las estaciones terrenas se ajustan a la Recomendación 465.

Un estudio [CCIR, 1978-82b] muestra que, en términos generales, no es probable que las diferencias en la capacidad de la banda de base en las redes MF-AMDF sean una fuente importante de inhomogeneidad. En dicho estudio se determinaron las distancias de separación requeridas entre dos redes idénticas de satélites de la clase Intelsat-IV-A, con estaciones terrenas con valores G/T de unos 40 dB(K^{-1}), para distintos pares de tipo de tráfico en un mismo canal. Entre los tipos de tráfico figuraban el tráfico multicanal en AMDF y el tráfico de televisión con MF.

Las distancias de separación que se requerían para cumplir una interferencia máxima de una sola fuente de 600 pW0p variaban entre 1° y 3,27° para distintas combinaciones de tráfico en MF-AMDF, y entre 1,57° y 4,0° para distintos tipos de tráfico MF-AMDF y tráfico de televisión MF de barrido lento. Esto indicaría que en los sistemas MF-AMDF, la inhomogeneidad debida a las variaciones en el tipo de tráfico es menos importante que las diferencias en las características de las antenas de la estación terrena o de la estación espacial.

Sin embargo, el mismo estudio mostró que las distancias de separación en el caso de tráfico SPADE, de un solo canal por portadora, y de portadoras de elevada densidad espectral, incluidas las portadoras de televisión de barrido lento, podían llegar hasta 6°.

En el Informe 559 se mencionan otros estudios. Algunos de los resultados pueden resumirse como sigue:

- con una relación G/T de unos 40 dB(K^{-1}) en la estación terrena y utilizando bien MDP o bien MDF-MF de gran excursión, se requiere típicamente una separación entre satélites de 1,5° a 3,0° en un arco orbital ocupado en forma homogénea;
- con una relación G/T de unos 28 dB(K^{-1}) en la estación terrena, se requiere una separación entre satélites de 3° o 4° en el caso de MF de gran excursión, pero sólo se requeriría 1,5° aproximadamente en el caso de MDP;
- con MF de pequeña excursión, la separación puede ser dos o tres veces mayor que con MF de gran excursión;

– cuando un satélite que da servicio a estaciones terrenas con una relación $G/T = 40$ dB(K^{-1}) es adyacente a uno que da servicio a estaciones terrenas con una relación $G/T = 28$ dB(K^{-1}), la separación puede ser dos o tres veces mayor que la que necesitaría cada una de las redes en un arco orbital ocupado en forma homogénea.

No obstante, en la práctica habrá diferencias entre las redes de satélites y es conveniente hallar modos para minimizar el efecto de estas diferencias en la eficacia de la utilización del espectro y de la órbita. Se han estudiado los dos métodos siguientes:

– la optimización de la utilización inhomogénea de la órbita;

– metodologías de utilización de la órbita y el espectro,

y los resultados se examinan en los puntos 4.4.2 y 4.4.3. Los estudios de la aplicación de limitaciones en las características de la red (véase el punto 4.5) mostraron que este método no es viable en la actualidad.

4.4.2 *Optimización de la utilización inhomogénea de la órbita*

Los estudios hechos con el objeto de establecer estrategias prácticas para utilizar eficazmente la OSG y el espectro en el caso de redes muy diferentes han producido los resultados consignados a continuación.

La anchura de banda y el arco orbital utilizados por un conjunto de redes de satélites es función tanto de la utilización de la anchura de banda como de la separación angular mínima necesaria entre los satélites para satisfacer un determinado criterio de interferencia. Suponiendo que la utilización de la anchura de banda no sea una variable, puede obtenerse una medida de la eficacia del uso de la anchura de banda y del arco orbital a partir de la separación angular necesaria entre los diversos satélites y del arco orbital ocupado por el conjunto de satélites en su totalidad.

La separación angular que debe existir entre los satélites es función de muchos parámetros de la red, como los diagramas de radiación de antena, los modos de acceso múltiple, las ganancias de los transpónderes del satélite, la dispersión de energía, etc.

En un estudio [CCIR, 1974-78] se supuso que:

– algunos satélites dan servicio únicamente a estaciones terrenas con antenas grandes, y otros sólo a estaciones terrenas con antenas pequeñas;

– la ganancia de los transpondedores del satélite puede ajustarse con el fin de poder variar la relación entre el nivel de ruido del enlace descendente y el nivel de ruido del enlace ascendente, para reducir al mínimo la interferencia total del sistema, y

– los transpondedores del satélite se explotan en un modo casi lineal.

En este caso, pueden deducirse las siguientes conclusiones:

a) La ganancia de la antena de la estación terrena tiende a ser el factor dominante para determinar los requisitos relativos a la separación en la órbita. Una diferencia de ganancia de 20 dB puede traducirse en una relación de utilización de la órbita de 6,3 a 1.

b) Los requisitos de separación entre satélites vienen determinados por la interferencia que produce la red que utiliza estaciones terrenas con antenas pequeñas en la red cuyas estaciones terrenas emplean antenas grandes. La interferencia en el sentido opuesto puede ser inferior a la existente entre dos redes que emplean antenas grandes en las estaciones terrenas.

c) El ajuste de las relaciones entre los niveles de ruido atribuidos a los enlaces ascendente y descendente, en las redes que utilizan satélites adyacentes, puede permitir una menor separación entre los satélites. La posibilidad de controlar la ganancia del transpondedor del satélite es importante a este respecto.

d) El aislamiento de las redes de satélites que emplean antenas pequeñas en las estaciones terrenas con respecto a las que emplean antenas grandes en las estaciones terrenas, por medio de la agrupación de los satélites, sobre todo si además se efectúa una atribución mayor de ruido de interferencia a las estaciones terrenas con antenas pequeñas, puede mejorar la utilización global de la órbita. Pero esta técnica sólo es eficaz si cada grupo contiene varios satélites, y serán menester otras técnicas para minimizar la separación entre los satélites dentro de los grupos, a fin de que ninguno de éstos exija un arco orbital total demasiado grande.

e) La colocación en posiciones adyacentes entre sí de los satélites cuyas zonas de cobertura no se superponen, puede mejorar la utilización global de la órbita.

Debe observarse que se han planificado sistemas de satélites que no se ajustan a las hipótesis de partida. En este caso las conclusiones a), b), c) y d) no son necesariamente válidas.

Otro estudio [CCIR, 1982-86a] examinó el efecto de las variaciones de la p.i.r.e. de la estación espacial sobre la eficacia de la utilización de la órbita. La relación resulta más compleja que la simple diferencia de p.i.r.e. entre las diferentes redes implicadas, ya que las redes con diferentes p.i.r.e. tienen otros parámetros diferentes de compensación tales como el diámetro de la estación terrena. En el estudio se supone que:

– Cierto número de satélites está ubicado en la OSG lo más cerca posible los unos de los otros. Todos los satélites dan servicio a la misma zona o a zonas superpuestas.

- En uno de los casos analizados, un satélite ubicado en una posición central tenía una p.i.r.e. 10 dB *más alta* que los demás satélites (homogéneos). En un segundo ejemplo, un satélite ubicado en una posición central tenía una p.i.r.e. 10 dB *más baja* que sus vecinos.

- Las diferencias en la p.i.r.e. de los satélites en las disposiciones de ocupación orbital analizadas se debían a diferencias en las ganancias de las antenas de los vehículos espaciales, debidas, a su vez, a diferencias en el área de sus respectivas zonas de servicio.

- En cada ejemplo analizado, todos los satélites tenían los mismos valores globales de C/N y C/I que se indican en las Recomendaciones 353, 466, 522 y 523.

- Cada red utiliza antenas de estación terrena de iguales dimensiones tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente, pero las antenas de la red de inferior potencia pueden ser, y de hecho deberían serlo, diferentes de las de la red de potencia superior, si han de mantener los mismos valores globales de C/N y de C/I.

- Todas las estaciones terrenas son lo suficientemente grandes como para tener la misma característica de ganancia de los lóbulos laterales de la antena, $K - 25 \log \varphi$; (el valor de K no interesa).

- No hay inhomogeneidad entre los tipos de tráfico cursados por las diferentes redes.

En resumen, en el estudio se examinaron las separaciones orbitales relativas necesarias cuando las diferentes redes tienen un mismo valor (p.i.r.e. + G/T), pero con valores de p.i.r.e. y G/T que varían ampliamente. No se tiene en cuenta ni la discriminación de la antena del vehículo espacial ni las inhomogeneidades de tráfico entre las redes, puesto que estos factores son separables cuando se considera la utilización de la órbita.

Se encontró que en las condiciones anteriores, la separación necesaria entre las redes de satélites de alta potencia y de baja potencia es superior a la correspondiente entre dos redes idénticas de baja potencia con antenas de las estaciones terrenas de mayor tamaño, pero que es inferior a la separación necesaria entre dos estaciones espaciales idénticas de p.i.r.e. elevada. Este resultado indica que no se produce necesariamente una reducción significativa en la eficacia de la utilización de la órbita cuando se colocan satélites con grandes diferencias de p.i.r.e. en la misma posición de la OSG.

Una definición de la homogeneidad de los sistemas de satélite con diferentes zonas de servicio y el análisis de la influencia de la homogeneidad en la capacidad máxima de la OSG figuran en [Kantor, 1985].

La optimización de situaciones de utilización inhomogénea de la órbita parece poder ser solucionada caso por caso, lo que permite analizar diferentes combinaciones de satélites para determinar la mejor disposición, y por lo tanto se presta muy bien al tratamiento por computador. Algunos ejemplos específicos de los resultados proporcionados por los programas de computador se indican en [CCIR, 1970-74e, f, g].

Se ha aplicado esta técnica analítica a algunas de las características preliminares de diversos sistemas nacionales de satélites de los Estados Unidos de América. También se examinaron algunas características del sistema nacional del Canadá, a pesar de que las características supuestas no tienen en cuenta todos los parámetros de explotación de dichos sistemas (ni siquiera el caso crítico del AMDF). Con las hipótesis indicadas se demuestra que, pese a una ubicación adecuada de los satélites, en este heterogéneo conjunto de satélites no pueden obtenerse niveles aceptables de interferencia con una separación uniforme de 3°, incluso con discriminación por polarización. No obstante, estos mismos sistemas podrían tener una separación media de unos 3° mediante una coordinación muy cuidadosa. En la medida en que los parámetros del sistema real difieran de los del sistema supuesto, será preciso volver a examinar los resultados caso por caso. Estos resultados pueden compararse con una situación ideal en la que en un conjunto homogéneo de sistemas que utilicen MDF-MF, con antenas de un diámetro no inferior a 10 m en las estaciones terrenas, se consigue una separación orbital de 2° a 3°.

En el anexo II se describe un método sencillo de presentación de cálculos de interferencias para dos sistemas de satélites adyacentes.

4.4.3 *Metodologías de utilización de la órbita y del espectro*

Ciertas transmisiones en redes de satélites pueden causar interferencia relativamente considerable a algunas otras transmisiones. Un caso particular, en el que las emisiones de TV con MF y dispersión de la energía de la portadora a la frecuencia de trama causan interferencia a las emisiones de SCPC se examina en el Informe 867. Esos casos pueden considerarse como muy inhomogéneos. Se producen situaciones semejantes cuando hay interferencia entre redes con antenas de la estación terrena de aperturas grande y pequeña. En principio, esa inhomogeneidad puede reducirse produciendo emisiones muy incompatibles mediante segmentación de la órbita o aplicando metodologías de utilización del espectro.

La segmentación de la órbita probablemente permita una reducción de la heterogeneidad sin restringir las características del sistema en un mismo grado. Sin embargo, la segmentación de la órbita impondría probablemente restricciones en la elección de la ubicación de la órbita de los satélites. Además en cada uno de los enlaces entre los segmentos orbitales designados para las diferentes gamas de parámetros, existiría probablemente un arco orbital que no podría utilizarse para los satélites adecuados para cada gama de valores sin una interferencia excesiva entre las redes. La pérdida de la utilización de estos arcos reduciría de forma significativa los beneficios que surgirían de la reducción de la heterogeneidad dentro de los segmentos. Además, se observa que ciertas redes de satélites dan servicio a estaciones terrenas cercanas a los límites de cobertura global, debido a esto, sus arcos de servicio son muy pequeños y es necesario ubicar estos satélites en posiciones determinadas, de forma precisa, por factores geográficos.

Los peores casos de interferencia se producen entre portadoras con características sumamente inhomogéneas. El objeto de las metodologías de utilización del espectro es limitar o impedir que se presenten tales casos de interferencia, a fin de evitar una excesiva separación entre satélites, lo que supondría un despilfarro del recurso órbita.

Cabe prever diversos grados de rigidez si se dividen las portadoras en tres clases, a saber, portadoras de baja capacidad, portadoras de mediana capacidad y portadoras de alta densidad:

- segmentación rígida: se dividen las bandas de frecuencias en sub-bandas, cada una de las cuales se destina exclusivamente a una clase de portadoras;
- segmentación flexible: se dividen las bandas de frecuencias en sub-bandas, cada una de las cuales se destina a una clase de portadoras con carácter prioritario y no con carácter exclusivo;
- armonización de la utilización del espectro o utilización «escalonada» del mismo: cada banda deberá utilizarse, a partir del límite inferior, en sentido ascendente por portadoras de baja capacidad y, a partir del límite superior, en sentido descendente, por portadoras de alta densidad.

Según una cuarta opción, se excluyen las portadoras de banda estrecha de las regiones en las que las portadoras de banda ancha presentan una elevada densidad de potencia de cresta. En este caso, las porciones pequeñas del espectro deberán designarse como regiones de alta densidad de potencia. En una quinta opción, la utilización flexible del espectro, las portadoras SCPC evitan la gran densidad de energía de las portadoras TV-MF.

Esas cinco opciones demuestran que es preciso elegir entre la flexibilidad de explotación y la utilización eficaz del espectro disponible. En cualquiera de las opciones hay una reducción de la anchura de banda disponible para otras redes. Sería también necesario formular suposiciones sobre la dimensión de las futuras poblaciones de las redes para cada una de las gamas de parámetros antes de que pudieran alcanzarse decisiones sobre el procedimiento óptimo para dividir la anchura de banda total disponible en segmentos. Una vez tomadas estas decisiones, no sería viable modificar tales segmentos durante varias decenas de años, aunque se utilizara el espectro con una intensidad desigual, si se demostrara posteriormente que las suposiciones sobre las poblaciones de la red eran incorrectas, o si las poblaciones cambiaran sustancialmente con el tiempo; esto tendería a reducir la mejora en la eficacia que se esperaba gracias a la reducción de la heterogeneidad dentro de los segmentos del espectro. Sin embargo, esta última observación no se aplica a la «armonización de la utilización del espectro o utilización escalonada del espectro», ya que esta opción no implica una división de la anchura de banda disponible en segmentos.

Las opciones consideradas se presentan y analizan en el Informe 1000.

4.5 *Descripción de redes de satélites mediante parámetros generalizados a los efectos de planificación y coordinación*

Al realizar operaciones de planificación de atribuciones y/o de planificación y coordinación multilaterales, puede ser conveniente describir las redes de satélites que interesen mediante una o más series de parámetros generalizados. Seis de esas series de parámetros generalizados han sido examinadas por el CCIR y/o la CAMR ORB-85, a saber:

- parámetros A, B, C, D de la red;
- una serie alternativa de parámetros A, B, C, D;
- parámetros A*, B*, C*, D* que atañen a la interferencia total, más bien que a la interferencia de una sola fuente;
- el aislamiento entre redes de satélites;
- la separación orbital característica de una red de satélites, y
- determinación de la interferencia entre redes de satélites utilizando los aumentos normalizados de la temperatura equivalente de ruido.

Cada una de estas series de parámetros tiene sus ventajas y sus inconvenientes cuando se aplica a la planificación orbital o a la planificación y coordinación multilaterales. Tales características se describen en el anexo III.

5. Utilización sistemática de las bandas de frecuencias atribuidas

5.1 *Agrupación por pares de las bandas de frecuencias*

5.1.1 *Agrupación por pares de las bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite*

En el Cuadro de atribución de frecuencias del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT se especifican las bandas de frecuencias del SFS que han de utilizarse en los sentidos ascendente y descendente. Sin embargo, no se establece en el Reglamento de Radiocomunicaciones que un satélite utilice pares específicos de bandas a este respecto. La utilización de la OSG y del espectro de frecuencias sería más eficiente y la coordinación de las redes de satélites más fácil si se agrupasen por pares ciertas bandas de frecuencias.

Por razones históricas, se utilizan conjuntamente las bandas de frecuencias de 6 y de 4 GHz, según se atribuyeron antes de la CAMR-79, en los sistemas existentes y en proyecto del SFS. De manera similar las bandas de 14 y 11/12 GHz previas a la CAMR-79 están comenzando a utilizarse juntas. No ha aparecido todavía ningún esquema de utilización para el uso de las nuevas bandas del SFS atribuidas por la CAMR-79 en estas zonas del espectro. Los estudios hasta ahora realizados no han identificado todavía los pares de bandas que ofrecen la mejor disposición técnica. En efecto, los resultados obtenidos hasta el presente indican que no hay ninguna razón técnica importante para preferir una forma determinada de agrupación por pares.

Existen algunas dificultades para aplicar el principio de la agrupación de bandas por pares. Pueden mencionarse las siguientes:

- Sólo unas pocas bandas de frecuencias atribuidas al SFS se utilizan extensamente y aún ha de estudiarse amplia y detalladamente la mejor manera de emplear las demás.
- Están ya en órbita satélites experimentales que trabajan en más de un par de bandas de frecuencias, y pronto se lanzarán satélites operacionales similares del SFS. Será conveniente que en tales satélites las bandas de frecuencias estén interrelacionadas totalmente o en parte.
- Existen diferencias considerables entre las atribuciones de frecuencias al SFS en las tres Regiones de la UIT.
- Las bandas de frecuencias del SFS pueden emplearse para comunicaciones con satélites de otros servicios, como el servicio de radiodifusión por satélite y los diversos servicios móviles por satélite. En estos casos, se transmitirá una portadora al satélite en una banda del SFS, pero será retransmitida en una banda atribuida a un servicio completamente diferente, o viceversa.

Teniendo en cuenta estas dificultades, es dudoso que una futura Conferencia Administrativa de Radiocomunicaciones estipule que se utilicen pares de bandas específicos en los futuros sistemas. No obstante, podría prepararse una lista de pares de bandas de frecuencias utilizando las directrices técnicas siguientes:

- Es preferible que la relación entre las frecuencias de la banda central de las bandas del enlace ascendente y del enlace descendente no sea tan grande que el diseño de la antena resulte difícil, ni tan pequeña que resulte difícil el diseño del duplexor.
- Las bandas unidas en pares, que no tienen porqué incluir necesariamente toda la anchura de banda de las atribuciones de frecuencias, deben tener una anchura de banda igual en la mayoría de los casos.
- Cuando sea posible evitarlo, ninguna frecuencia de una banda debe ser un múltiplo simple de otra frecuencia de su banda par.
- Los pares ya bien establecidos en la práctica deben mantenerse.
- En cuanto sea viable y necesario, deben darse consideraciones para enlaces de conexión, teniendo debidamente en cuenta la actual utilización del espectro por el servicio fijo por satélite.
- El continuo uso de las prácticas establecidas de interconexión de un par de bandas a otro en un satélite multibanda debe tener en cuenta el objetivo básico de los pares de bandas.

5.1.2 *Consideraciones sobre la frecuencia de traslación para los satélites de banda estrecha*

Algunos satélites sólo necesitan ocupar una parte de la banda de frecuencias atribuida. En dichos casos se facilitaría la coordinación entre varios satélites de banda estrecha que ocupen la misma parte de la órbita de los satélites geoestacionarios, si todos los satélites utilizaran la misma frecuencia de traslación entre el enlace ascendente y el enlace descendente.

5.1.3 *Uso de pares múltiples de bandas de frecuencias en satélites*

En algunos sistemas por satélite puede ser económico y operacionalmente ventajoso utilizar más de un par de bandas de frecuencias, pues ello permite aumentar la anchura de banda efectiva del sistema. Este suele ser el modo más económico de aumentar la capacidad de comunicaciones de un sistema. El uso de múltiples bandas de frecuencias no influye demasiado en la economía de utilización del espectro de

frecuencias o de la OSG cuando sólo un par de bandas de frecuencias se utiliza intensivamente en la parte correspondiente de la órbita; sin embargo, tiene varias desventajas cuando el segundo par se utiliza también de forma intensiva. Dichas desventajas son las siguientes:

- el procedimiento de coordinación de las asignaciones de frecuencia adquirirá mayor complejidad y dejará de ser independiente la optimización de la ubicación orbital de los satélites que trabajen en las diversas bandas de frecuencias, con lo que se reducirá la eficacia de tales procedimientos;
- las separaciones angulares necesarias en los diversos pares de bandas de frecuencias serán probablemente diferentes, con lo que surgirá la posibilidad de que sólo podrá utilizarse plenamente la órbita en un par de bandas de frecuencias.

La utilización de múltiples pares de bandas de frecuencias en un solo satélite en el servicio fijo por satélite puede originar pocas pérdidas en la utilización de la anchura de banda y del arco orbital si:

- las redes que utilizan satélites adyacentes tienen características similares;
- las ganancias de antena y la relación G/T de las estaciones terrenas tienen, en términos generales, el mayor valor prácticamente alcanzable en todas las bandas utilizadas;
- ciertos parámetros de los sistemas (incluidos el tipo de modulación, la distribución del ruido entre los enlaces ascendente y descendente, y el margen para el ruido de interferencia) dentro de un par de bandas se diseñan y ajustan para utilizar al máximo la anchura de banda y la órbita.

En la utilización heterogénea de la órbita, la pérdida de la capacidad sería probablemente superior, aunque no parece probable que se produzca una fuerte disminución de la efectividad en la utilización de la órbita, a menos que una parte considerable de los satélites que ocupan un arco de la órbita emplee múltiples pares de bandas de frecuencias. Pero esto debe estudiarse más extensamente.

Se han sugerido dos tipos de estrategia para reducir el efecto de este problema en situaciones orbitales que podrían llevar a una utilización ineficaz:

- en ciertas configuraciones multibanda es posible ajustar los parámetros del sistema para reducir al mínimo las pérdidas generales de capacidad de la órbita y del espectro. Ello equivale generalmente a igualar los ángulos de separación necesarios en las diversas bandas;
- puede ser posible dejar sitio entre dos satélites multibanda para un nuevo satélite que trabaje solamente en un par de las bandas de frecuencias utilizadas en los satélites multibanda. Sin embargo, ello podría implicar el reajuste de las características y parámetros de las redes por satélite.

Se recomienda que se tengan en consideración estas dos posibles estrategias para determinar las características y parámetros de los sistemas por satélite que utilicen más de un par de bandas de frecuencias.

5.2 *Utilización de bandas de frecuencias en los enlaces ascendentes y descendentes*

Tal vez sea viable aumentar el número de satélites que utilizan un par de bandas de frecuencias en un arco determinado de la OSG si se invierten las asignaciones de frecuencias entre satélites adyacentes, de modo que la banda asignada al enlace ascendente de un satélite sea la banda asignada al enlace descendente del inmediato. Esta técnica podría hasta cierto punto competir con otros métodos que sirvan para aumentar la capacidad de la órbita, como el empleo de antenas de satélite de alta ganancia, o la discriminación por polarización, para reducir la interferencia entre satélites alternos, y podría hacer necesaria una revisión de los criterios de compartición de bandas de frecuencias compartidas con servicios terrenales. No obstante, el principio básico fue adoptado por la CAMR-79 para los enlaces de conexión del servicio de radiodifusión por satélite en 17,7-18,1 GHz (en todas las Regiones) y 10,7-11,7 GHz (en la Región 1 únicamente). La extensión del principio a los enlaces ascendentes y descendentes de las redes del SFS tiene interés y convendría seguir estudiándola (véanse los Informes 557 y 561).

5.3 *Utilización de bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite para enlaces de conexión*

Han de ser también objeto de estudio las bandas de frecuencias técnicamente preferidas para conectar con satélites de servicios tales como el servicio móvil marítimo por satélite, el servicio móvil aeronáutico por satélite y el servicio de radiodifusión por satélite. En el primero y segundo casos, las necesidades totales de anchura de banda para los enlaces ascendente y descendente son relativamente reducidas. La anchura de banda total probablemente necesaria para la conexión con satélites de radiodifusión sería mucho mayor que las necesidades previstas para los servicios móviles por satélite.

La elección conveniente de las bandas de frecuencias se halla en curso en estudio en el marco de los Programas de Estudios 30A/4, 30C/4 y el Informe 561 y en el presente Informe sólo se indican los principios que deben aplicarse a fin de obtener una utilización óptima de la OSG y del espectro.

Sin duda alguna, será necesario identificar las bandas de frecuencias que estarían disponibles para las conexiones entre estaciones terrenas costeras y satélites del servicio móvil situados en cualquier punto de la órbita. Para poder utilizar eficazmente dichas bandas de frecuencias en otras partes de la órbita, es conveniente que las mismas estén disponibles para las redes del SFS. Debe hacerse un esfuerzo a fin de evitar una incompatibilidad demasiado grande entre las características de las emisiones utilizadas en los servicios móviles y el SFS para no exigir una gran separación orbital.

La CAMR-79 consideró el problema de las atribuciones de bandas de frecuencias a los enlaces de conexión con los satélites de radiodifusión que funcionan en la banda de 12 GHz, y se atribuyeron tres bandas de frecuencias concretas al SFS (Tierra-espacio), pero limitadas a los enlaces de conexión con los satélites de radiodifusión.

Además, debe entenderse que cualquier banda del SFS (Tierra-espacio) puede también utilizarse para los enlaces de conexión, con los procedimientos normales de coordinación, salvo la banda de 14,0-14,5 GHz en la que su utilización para los enlaces de conexión con los satélites de radiodifusión se ha reservado a los países exteriores a Europa y a Malta (véase también el Informe 561).

La utilización de las tres bandas especificadas para enlaces de conexión del SFS causará escasa pérdida de espectro al SFS pero la utilización de otras bandas del enlace ascendente del SFS para enlaces de conexión del servicio de radiodifusión por satélite tendrá graves repercusiones en el SFS, salvo cuando la banda de frecuencias del enlace descendente esté también compartida por estos dos servicios.

5.4 *Utilización de nuevas bandas de frecuencias*

La atribución de nuevas bandas de frecuencias al SFS por la CAMR-79, ha incrementado en gran medida la capacidad potencial de la OSG. La gran parte de estas nuevas bandas de frecuencias se hallan por encima de 10 GHz. Serán necesarios muchos estudios para poder evaluar la influencia que ha de tener el empleo de estas bandas de frecuencias más elevadas en las técnicas de utilización de la órbita que se examina en este Informe. Sin embargo, pueden identificarse ya las siguientes consecuencias:

- el empleo de antenas de satélite muy directivas se verá facilitado, y esto hará aumentar considerablemente las posibilidades de reutilización de frecuencias;
- la propagación por la troposfera será mucho menos favorable que en las frecuencias más bajas que se emplean en la actualidad. Esto hará necesario utilizar márgenes de potencia más grandes en los enlaces descendentes y, quizá, diversidad en el espacio en las estaciones terrenas. Estos problemas se examinan en los Informes 205, 522 y 720;
- en algunas de estas nuevas bandas se dispone de mayores anchuras de banda, lo cual facilitará el desarrollo de redes por satélite de capacidad muy elevada.

Así, pues, es probable que las nuevas bandas de frecuencias más elevadas resulten atractivas para las redes por satélite de gran capacidad, aunque las bandas de frecuencias más reducidas serán preferibles para muchos sistemas. Debiera darse prioridad a los estudios sobre propagación en estas frecuencias más elevadas, en particular entre 10 y 30 GHz.

En la actualidad se utilizan 500 MHz de anchura de banda en 6/4 GHz en cada dirección, enlaces ascendentes y enlaces descendentes. En la CAMR-79 se atribuyó una anchura de banda adicional al SFS en ambas bandas, duplicando aproximadamente la capacidad disponible.

La plena utilización de las bandas del SFS por debajo de 10 GHz ofrece un interés particular, siempre que las condiciones reglamentarias y de coordinación lo permitan, dado que las condiciones favorables del medio de propagación asociadas a esta banda permiten a las estaciones terrenas trabajar con ángulos de elevación reducidos y facilitan la reutilización de frecuencias mediante la polarización ortogonal, factores ambos que contribuyen a la utilización eficaz de la órbita y del espectro. No obstante, en algunos países, las atribuciones a servicios distintos del SFS pueden impedir la utilización de alguna de estas bandas. Un problema particular es la compartición entre el servicio de radiolocalización y el SFS.

Es posible tratar la anchura de banda adicional atribuida como si fueran bandas separadas y diseñar los sistemas con arreglo a ello sin ningún problema de tipo técnico. No obstante, a fin de mantener la flexibilidad en el diseño de la arquitectura del sistema y de reducir al mínimo la complejidad de las interconexiones en el satélite, conviene transmitir y recibir la totalidad de la anchura de banda mediante una sola antena, especialmente en la estación terrena. Se informó [CCIR, 1982-86b] de diversos estudios y realizaciones que demuestran la viabilidad técnica de construir estaciones terrenas y vehículos espaciales aptos para la anchura de banda ampliada del SFS por debajo de 10 GHz.

Los sistemas alimentadores de antena de la estación terrena y del vehículo espacial son los elementos más importantes respecto a la ampliación de la anchura de banda. Pruebas realizadas con componentes de la bocina de alimentación diseñados para polarización circular y que funcionan en toda la anchura de banda, han demostrado que pueden lograrse con las tecnologías actuales antenas complejas de vehículo espacial con reutilización de frecuencia para una anchura de banda de 800 MHz (3,4-4,2 GHz y 5,850-6,775 GHz), así como antenas de vehículo espacial con coberturas mediante haz sencillo que funcionan en la totalidad de la banda (3,4-4,8 GHz y 5,850-7,075 GHz).

También se ha demostrado recientemente para varios tamaños de antena la utilización de sistemas alimentadores de antena de estación terrena que incorporan 800 MHz de espectro (3,4-4,2 GHz y 5,850-6,775 GHz). Parece factible incorporar en una sola antena de estación terrena la totalidad de la banda de 3,4-7,075 GHz. La realización de otros componentes con anchuras de banda superiores presenta menos dificultades.

6. Armonización de la red

6.1 *Coordinación de las redes del servicio fijo por satélite*

El Reglamento de Radiocomunicaciones contiene procedimientos administrativos y técnicos para identificar otras redes de satélites, existentes o en proyecto, a las que una nueva red podría causar una interferencia demasiado grande, o recibirla de ellas, y otros procedimientos para determinar los cambios que han de introducirse para que la interferencia no exceda en realidad de los niveles permisibles acordados. Véanse los artículos 11 y 13 y los apéndices 3, 4 y 29 del Reglamento de Radiocomunicaciones. Véanse también los Informes 454, 455 y 871.

Estos procedimientos son rigurosos, pero laboriosos y llevan tiempo. Se están estudiando otros métodos técnicos para realizar el proceso de coordinación. Véanse los Informes 870 y 1003.

6.2 *Técnicas de computador*

Según los estudios realizados en el Japón y en los Estados Unidos de América, existen programas de computador que pueden ser utilizados para optimizar las asignaciones de frecuencias en dos o más satélites. La optimización puede tener por objeto reducir al mínimo la separación requerida entre dos satélites o reducir al mínimo la máxima interferencia cocanal recibida a cualquier frecuencia. También pueden utilizarse otros criterios para la optimización. El criterio de programación adoptado en estos dos estudios es algo diferente. Estas técnicas pueden emplearse también para optimizar los planes de frecuencias en el marco de la reutilización de frecuencias para un satélite.

La utilización de tales técnicas de computador puede conducir a reducciones importantes en las separaciones requeridas entre satélites, particularmente cuando éstos no practican la reutilización de frecuencias. Sin embargo, la coordinación necesaria entre sistemas de satélites provocaría dificultades de explotación sustanciales debido a la falta de capacidad para responder a las modificaciones de los requisitos de los usuarios. No obstante, la presión de los nuevos sistemas podría hacer necesaria alguna coordinación de las asignaciones de frecuencias de este tipo.

7. Utilización de satélites geosíncronos en órbitas inclinadas

Teóricamente, sería posible utilizar, en las mismas frecuencias, dos, tres o incluso más satélites, espaciados a lo largo de una estrecha figura en forma de ocho, centrada en una determinada longitud [Rowe y Penzias, 1968]. Si en vez de órbitas circulares inclinadas, se eligen órbitas sincrónicas, elípticas e inclinadas, el satélite, visto desde la Tierra, se mueve en un lugar geométrico en forma de circunferencia deformada y alargada (en forma de pera). Puesto que los puntos de este lugar geométrico no se cortan entre sí, la colocación de satélites a lo largo de este lugar geométrico puede verse facilitada.

Cabe concebir también que se aumente el número máximo de satélites mediante la adopción de un sistema híbrido, según el cual se haga uso de una combinación de satélites estacionarios y casi estacionarios, bien colocados en órbitas circulares, bien en órbitas elípticas [Shinji y Kurose, 1969].

Puede reducirse al mínimo el seguimiento de la antena de la estación terrena en el caso de satélites espaciados a lo largo de una estrecha figura en forma de ocho, si los enlaces de telecomunicaciones se establecen entre satélites en puntos de mayor aproximación [Wadsworth, 1980]. En una versión, tres satélites están separados uniformemente a lo largo de la figura en forma de ocho con objeto de crear dos satélites virtuales en servicio permanente, uno al Norte del Ecuador y otro al Sur, según se describe en la fig. 4. Estos satélites virtuales se mueven en espacios separados por varios grados de latitud, determinados por las interferencias mutuas. A título de ejemplo, para una separación mínima de 3° entre los dos satélites activos, basta una inclinación de órbita de 2°. El movimiento resultante de cada satélite virtual está limitado por 1° de latitud y 2 min de arco de longitud para que sólo se necesite un seguimiento escaso. Otra versión de la figura en ocho con transferencia, utilizando cuatro satélites, tiene la ventaja de estar autoprotegida en el caso de avería y permite evitar las interrupciones debidas a la posición del Sol. Esta versión puede también retrosituarse en un intervalo de longitud ocupado por el satélite geoestacionario. Además, en ese tipo de órbitas, los satélites pueden extender su zona de servicio hasta latitudes más altas que las brindadas por los satélites geoestacionarios situados en la misma longitud.

Todos los métodos anteriores de reutilización de frecuencias aumentan el costo del segmento espacial y del sector terreno en comparación con el sistema de satélites puramente geoestacionarios, siendo improbable su explotación comercial en un futuro cercano debido a dificultades prácticas.

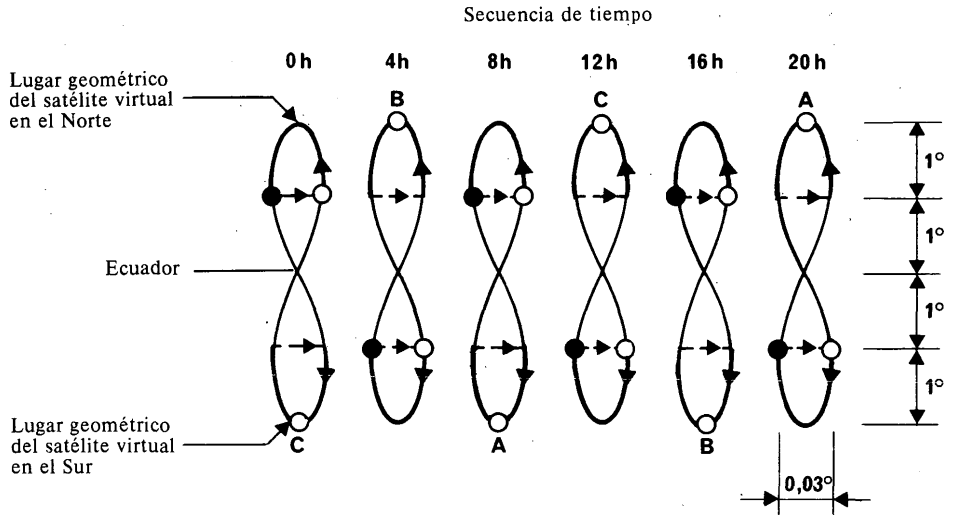


FIGURA 4 – *Dos satélites cuasi-geoestacionarios de telecomunicaciones por intervalo de longitud*

8. Introducción escalonada en el tiempo de medidas de economía en la utilización de la órbita

Para satisfacer las crecientes necesidades de cursar tráfico de los sistemas de satélites que utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios, es importante que se introduzcan técnicas de conservación de órbita en los sistemas en explotación tan pronto como sea técnicamente posible, y que su empleo sea consecuente con una explotación satisfactoria de los sistemas correspondientes. Sin embargo, se reconoce que tales técnicas no siempre son consecuentes con los objetivos de mínimo costo de diseño de los sistemas. Las citadas técnicas de economía en la utilización de la órbita incluyen, entre otras:

- reducción de los lóbulos laterales en los diagramas de antenas de las estaciones terrenas;
- reducción de la p.i.r.e. fuera del eje de las estaciones terrenas;
- técnicas para reducir la separación orbital necesaria entre sistemas que cursan tráfico SCPC y los que cursan tráfico de televisión analógica; entre estas técnicas cabe señalar los métodos mejorados de dispersión de energía o la flexibilidad en la elección de las frecuencias de los canales SCPC para situarlos donde la interferencia presenta un nivel aceptable;
- flexibilidad en la posición en órbita tras el lanzamiento para dar lugar a la introducción de nuevas redes;
- mejora de las características de las antenas de los satélites incluida la reducción de la radiación fuera de la zona de cobertura;
- limitación de los haces globales a una fracción determinada de la anchura de banda atribuida;
- aumento de los niveles máximos de interferencia de una sola fuente y total mediante el diseño de sistemas en los que la interferencia entre redes contribuya en mayor proporción al balance total de ruido;
- técnicas de modulación/codificación mejoradas, tales como la codificación digital de la señal de imagen;
- aislamiento por polarización cruzada para reutilización de frecuencias;
- técnicas de linealización del transpondedor;
- regeneración a bordo, cuando proceda.

Es necesario estudiar con urgencia la factibilidad técnica, costo, repercusión en la explotación y mejora de la utilización de la órbita con cada una de estas técnicas. Estas deberían introducirse de manera ordenada a través de Recomendaciones, teniendo en cuenta los factores anteriores, y tan rápidamente como sea necesario para asegurar que la capacidad de la OSG es adecuada para satisfacer las necesidades de tráfico de los sistemas que la utilizan. Su introducción podría tener que ser más rápida en algunas bandas de frecuencias y en algunas porciones de la OSG que en otras.

9. Estimación de la capacidad teórica de la órbita de los satélites geoestacionarios

Es posible hacer estimaciones de la capacidad total de la OSG en cualquier punto dado de la evolución y de la aplicación de las técnicas de conservación de la órbita, si se formulan hipótesis sobre las zonas de servicio de las redes de satélites. Esta estimación, que pudiera expresarse, por ejemplo en Mbit/s o MHz de anchura de banda de transmisión utilizable por grado de arco orbital, variará de acuerdo con la variedad de aplicaciones que se suponga (véase el Informe 711). Sin embargo, es evidente que la capacidad total es ya muy grande, utilizando las técnicas actuales, independientemente de las clases de aplicaciones supuestas, y que esta capacidad aumentará considerablemente a medida que se apliquen mejores técnicas examinadas en este Informe. Ya se han hecho algunos cálculos de la capacidad total [CCIR, 1982-86c, d] y se continúa estudiando este asunto como se muestra en el anexo IV.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FEDER, A. [1976] Transmission performance objectives for national satellite telephone circuits. *Austral. Telecomm. Res.*, Vol. 10, **2**, 59-74.

KANTOR, L. Y. [julio de 1985] Análisis de homogeineidad de los sistemas de comunicación por satélite. *Boletín de Telecomunicaciones*, Vol. 52, 7, 421-424.

QUAGLIONE, G. y GIOVANNONI, M. [mayo de 1983] Orbital inclination effects on communication satellite system design. *IEEE Trans. Aerospace Eelectron. Systems*, Vol. AES-19, **3**, 447-453.

ROWE, H. E. y PENZIAS, A. A. [diciembre de 1968] Efficient spacing of synchronous communication-satellites. *BSTJ*, Vol. 47, **10**, 2379-2433.

SHINJI, M. y KUROSE, Y. [septiembre de 1969] Orbit allocation of domestic communications-satellites. *Proc. IEEE* (Lett.), Vol. 57, **9**, 1655-1656.

WADSWORTH, D. V. Z. [1980] Longitude re-use plan, double communication satellite capacity of geostationary arc. Proc. AIAA 8th Communications Satellite Systems Conference, Orlando, Florida, Estados Unidos de América.

Documentos del CCIR

[1970-74]: **a.** 4/76 (Estados Unidos de América); **b.** 4/58 (Estados Unidos de América); **c.** 4/224 (Estados Unidos de América); **d.** 4/245 (Canadá); **e.** 4/55 (Estados Unidos de América); **f.** 4/231 (Estados Unidos de América); **g.** 4/233 (Estados Unidos de América).

[1974-78]: 4/47 (Estados Unidos de América).

[1978-82]: **a.** 4/72 (Estados Unidos de América); **b.** 4/83 y Add.1 (Canadá).

[1982-86]: **a.** 4/229 (Canadá); **b.** 4/85 (Grupo Interino de Trabajo 4/1); **c.** 4/6 (Grupo Interino de Trabajo 4/1); **d.** 4/82 (Grupo Interino de Trabajo 4/1).

BIBLIOGRAFÍA

MIZUNO, T., PRASANNA, S., MURATANI, T., OHKAWA, M. y MIZUIKE, T. [26-29 de noviembre de 1984] Frequency band segmentation as a means of increasing efficient use of the geostationary satellite orbit. IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM'84), Atlanta, Georgia, Estados Unidos de América. Conf. Record, Vol. 1, 4.3.1-4.3.5.

ROSENBAUM, A. S. [febrero de 1969] PSK error performance with Gaussian noise and interference. *BSTJ*, Vol. 48, **2**, 413-442.

Lista de Informes pertinentes del CCIR

Informe 388	Informe 558	Informe 1000
Informe 390	Informe 559	Informe 1001
Informe 391	Informe 561	Informe 1002
Informe 555	Informe 870	Informe 1003
Informe 556	Informe 998	
Informe 557	Informe 999	

ANEXO I

MODELACIÓN DE LA POLARIZACIÓN LINEAL PARA CÁLCULOS DE INTERFERENCIA

1. Introducción

Tradicionalmente, los satélites del servicio fijo en las bandas en 6/4 ó 14/11 GHz utilizan polarización lineal. Cuando ambos sentidos ortogonales de polarización se incorporan en un solo satélite, se dobla el espectro disponible dentro de la zona de servicio considerada como objetivo. En la banda 14/11 GHz, y por encima de ella, cuando las condiciones atmosféricas comienzan a afectar a la propagación, la orientación de la polarización se elegiría normalmente para minimizar estos efectos. Sin embargo, debido a la curvatura de la Tierra, esta optimización suele aplicarse solamente a una porción de la zona de servicio como se ilustra en el ejemplo de la fig. 5.

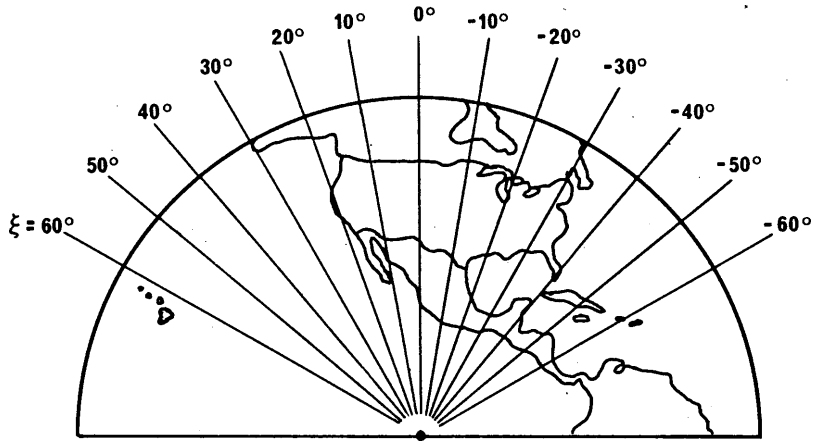


FIGURA 5 – *Contornos de orientación de polarización constante, ξ, con respecto al plano que contiene la vertical local; el satélite a 105° de longitud Oeste radia polarización lineal en el plano meridiano*

Es realizable un esquema de polarización graduada para una gran zona de servicio si, como suele ser el caso, la antena del satélite tiene múltiples alimentadores. Este esquema mantendría la orientación de la polarización próxima al óptimo en toda la zona de servicio.

Se ha sugerido el empleo de discriminación por polarización para reducir el entorno de interferencia de múltiples satélites. Sin embargo, la orientación óptima para minimizar la interferencia es diferente de la orientación óptima para la mínima degradación de la propagación en general.

Se dispone de muy poca información sobre modelos adecuados de las características de polarización cruzada de antenas de satélites o de antenas de estación terrena (véase el Informe 555). La modelación de la despolarización debida a los hidrometeoros se trata en el Informe 722. Este anexo se ocupa del cálculo del ángulo entre los planos de polarización debido a la geometría relativa de un par de satélites y sus correspondientes zonas de servicio.

2. Modelo simple de enlace satélite-Tierra

El enlace satélite-Tierra (o Tierra-satélite) ha sido analizado extensamente por varios investigadores. Se incluyen algunos análisis típicos de los efectos de despolarización en [Hogg y Chu, 1975; Shkarofsky, 1977 y Spellman, 1977]. En particular Shkarofsky [1977] da un procedimiento matemático que tiene en cuenta todas las contribuciones conocidas a la despolarización. No obstante, las formulaciones contenidas en estas referencias son sumamente complejas y farragosas. En el Informe 633 se incluye un modelo simplificado adecuado para el análisis de interferencia de primer orden. Este modelo utiliza el concepto de ganancia equivalente de un enlace parcial (es decir, la conexión Tierra-espacio o la conexión espacio-Tierra) como sigue.

La ganancia equivalente (en forma de relación de potencias) de un enlace parcial puede representarse por la siguiente aproximación:

$$G = G_1 \cdot \cos^2 \beta + G_2 \cdot \text{sen}^2 \beta$$
$$G_1 = G_{tp} \cdot G_{rp} \cdot A + G_{tc} \cdot G_{rc} \cdot A + G_{tp} \cdot G_{rc} \cdot A \cdot X + G_{tc} \cdot G_{rp} \cdot A \cdot X$$
$$G_2 = \left(\sqrt{G_{tp} \cdot G_{rc} \cdot A} + \sqrt{G_{tc} \cdot G_{rp} \cdot A}\right)^2 + G_{tp} \cdot G_{rp} \cdot A \cdot X + G_{tc} \cdot G_{rc} \cdot A \cdot X \quad (1)$$

donde:

β : ángulo, para polarización lineal, de alineación relativo entre el plano de polarización de la señal recibida y el plano de polarización de la antena de recepción,

G_{tp} : característica de ganancia copolar de la antena de transmisión expresada como relación de potencias (Recomendaciones 465 y 580, Informes 390 y 391 para estaciones terrenas, Informe 558 para satélites),

G_{tc} : característica de ganancia contrapolar de la antena de transmisión expresada como relación de potencias (Informe 555),

G_{rp} : característica de ganancia copolar de la antena de recepción expresada como relación de potencias (Recomendaciones 465 y 580 e Informes 390, 391 y 558),

G_{rc} : característica de ganancia contrapolar de la antena de recepción expresada como relación de potencias (Informe 555),

A : desvanecimiento producido por la lluvia expresado como relación de potencias ($\leqslant 1$) (Informe 564),

X : despolarización producida por la lluvia expresada como relación de potencias ($\ll 1$) (Informe 722).

En los puntos que siguen se incluyen cálculos para obtener el ángulo β para los casos siguientes:

- polarización alineada para minimizar los efectos del desvanecimiento producido por la lluvia y
- polarización alineada para minimizar la interferencia.

Utilizando el concepto de ganancia equivalente, la potencia de la portadora deseada, C, o la potencia interferente de una sola fuente, I, en cada enlace parcial viene dada simplemente por:

$$C \text{ (o } I) = P_T - L_{FS} - L_{CA} + 10 \log G \quad \text{dBW} \quad (2)$$

donde:

P_T : potencia de la antena transmisora deseada (interferente) (dBW),

L_{FS} : pérdida en el espacio libre en el enlace deseado (interferente) (dB),

L_{CA} : absorción con cielo despejado en el enlace deseado (interferente) (dB),

G : ganancia equivalente en el enlace deseado (interferente) (dB).

3. Orientación de la polarización para minimizar la despolarización producida por la lluvia

Como se ilustra en la fig. 5, el plano de polarización aparente en la superficie de la Tierra es función de las coordenadas geográficas del punto de puntería, del punto de prueba que se considera y del satélite. La fórmula para este ángulo de polarización viene dada por Shkarofsky [1977]:

$$\text{tg } \varepsilon = \frac{\text{sen } \psi_b \cdot \cos \psi_p \cdot \text{sen } (\lambda_p - \lambda_s) - \cos \psi_b \cdot \text{sen } \psi_p \cdot \text{sen } (\lambda_b - \lambda_s)}{\text{sen } \psi_b \cdot \text{sen } \psi_p + \cos \psi_b \cdot \cos \psi_p \cdot \text{sen } (\lambda_b - \lambda_s) \cdot \text{sen } (\lambda_p - \lambda_s)} \quad (3)$$

donde:

ψ : latitud,

λ : longitud,

b : punto de puntería,

p : punto de prueba,

s : satélite.

En lo anterior se ha supuesto que el plano de polarización se optimiza para el mínimo desvanecimiento producido por la lluvia en el punto de puntería, es decir, en alineación con la horizontal local o la vertical local. En forma funcional, la ecuación (3) puede escribirse:

$$\varepsilon = f(\psi_b, \lambda_b, \psi_p, \lambda_p, \lambda_s)$$

Para determinar la componente de interferencia en el punto de prueba p, se necesita conocer la diferencia de ángulos de polarización.

Por tanto, si las señales deseada e interferente son «copolares», el ángulo β de la ecuación (1) puede expresarse como:

$$\beta = | \varepsilon_1 - \varepsilon_2 | + \delta \tag{4}$$

donde:

$\varepsilon_1 = f(\psi_{b_1}, \lambda_{b_1}, \psi_p, \lambda_p, \lambda_{s_1})$,

$\varepsilon_2 = f(\psi_{b_2}, \lambda_{b_2}, \psi_p, \lambda_p, \lambda_{s_2})$,

b_1 : punto de puntería del satélite deseado s_1,

b_2 : punto de puntería del satélite interferente s_2,

δ : margen de desalineación de la antena de estación terrena y tolerancias rotacionales de los haces de satélite.

Si las señales deseada e interferente son «contrapolares», el ángulo β_χ, en el caso más desfavorable, es:

$$\beta_\chi = \frac{\pi}{2} - \varepsilon_1 - \varepsilon_2 - \delta \tag{5}$$

En algunas circunstancias, la distinción entre copolar y contrapolar puede ser puramente académica. Así, para los fines de este análisis, se supondrá la siguiente definición:

si las dos señales deseadas están alineadas con la horizontal local respectiva o con las verticales locales respectivas, se considerarán copolares.

4. Orientación de polarización para minimizar la interferencia

La interferencia mínima se produce cuando en la órbita de los satélites los planos de polarización son ortogonales, es decir, cuando los planos de polarización se hallan en el plano ecuatorial o en el plano del eje norte-sur de la Tierra. El Informe 814 da la siguiente fórmula para el ángulo de polarización, ε', cuando el vector de polarización de la onda transmitida es paralelo al plano ecuatorial:

$$\operatorname{tg} \varepsilon' = \frac{\operatorname{sen} (\lambda_p - \lambda_s)}{\operatorname{tg} \psi} \sqrt{1 + \left(\frac{a \operatorname{sen} \xi}{1 - a \cos \xi} \right)^2} \tag{6}$$

$$\cos \xi = \cos (\lambda_p - \lambda_s) \cdot \cos \psi_p$$

a : radio de la Tierra dividido por el radio de la órbita $\simeq 0{,}151$

Por tanto, en forma funcional:

$$\varepsilon' = g(\psi_p, \lambda_p, \lambda_s)$$

Cuando las señales deseada e interferente son «copolares», es decir, cuando ambas tienen los planos de polarización paralelos al plano ecuatorial o cuando ambos son perpendiculares al plano ecuatorial, el ángulo relativo, β, entre los planos de polarización deseado e interferente viene dado por:

$$\beta = | \varepsilon'_1 - \varepsilon'_2 | + \delta \tag{7}$$

donde:

$\varepsilon'_1 = g(\psi_p, \lambda_p, \lambda_{s_1})$,

$\varepsilon'_2 = g(\psi_p, \lambda_p, \lambda_{s_2})$,

s_1 : satélite deseado,

s_2 : satélite interferente.

Análogamente, cuando ambas señales son contrapolares, el ángulo relativo β_χ viene dado por:

$$\beta_\chi = \frac{\pi}{2} - \varepsilon'_1 - \varepsilon'_2 - \delta \tag{8}$$

Las variaciones de ε' se indican en la fig. 6.

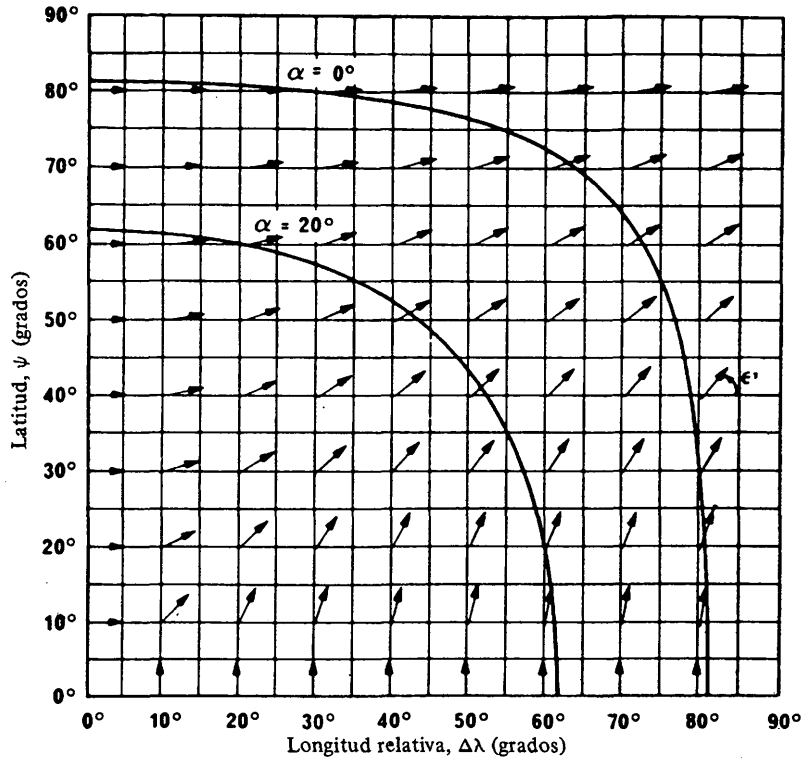


FIGURA 6 – *Variación del ángulo de polarización recibido en la Tierra*

a: Ángulo de elevación

5. Conclusión

Se da una formulación del ángulo de alineación relativo entre el plano de polarización de la señal recibida y el plano de polarización de la antena receptora (y, por analogía, el ángulo de alineación de transmisión relativo) para dos posibles orientaciones de una transmisión linealmente polarizada. Una orientación produce efectos de propagación mínimos, y la otra orientación minimiza la interferencia mutua.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HOGG, D. C. y CHU, T. S. [septiembre de 1975] The role of rain in satellite communications. *Proc. IEEE*, Vol. 63, **9**, 1308-1331.

SHKAROFSKY, I. P. [junio de 1977] Depolarization due to precipitation in satellite communications. *RCA Rev.*, Vol. 38, **2**, 257-309.

SPELLMAN, M. [noviembre de 1977] Lower crosspole levels for safe frequency re-use. *Microwaves.*

ANEXO II

MÉTODO DE PRESENTACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE INTERFERENCIAS PARA DOS SISTEMAS DE SATÉLITES ADYACENTES

Este método se basa en la definición de dos parámetros de heterogeneidad entre los dos satélites adyacentes, y un parámetro de compatibilidad entre los dos sistemas de satélites (incluidas las respectivas estaciones terrenas). Se supone que los satélites cubren la misma zona geográfica y utilizan exactamente las mismas bandas de frecuencias en los enlaces ascendentes y descendentes. Estas restricciones pueden suprimirse ulteriormente.

Consideremos en primer lugar el caso del sistema de satélites B que interfiere al sistema de satélites A. Definamos la heterogeneidad en la recepción, U_{BA}, y la heterogeneidad en la transmisión, V_{BA}, del satélite B con respecto al satélite A:

$$U_{BA} = P_B - P_A \tag{9}$$

$$V_{BA} = E_B - E_A \tag{10}$$

donde:

P_A, P_B son las densidades de flujo de potencia (en dB) necesarias para la recepción en el satélite indicadas por el subíndice, y E_A, E_B los valores de la p.i.r.e. (en dB) de los satélites, respectivamente. Señálese que, debido a las hipótesis antes enunciadas, los valores deseados de un sistema son al mismo tiempo valores de interferencia del otro sistema.

Definamos el factor de compatibilidad K_{BA} (en dB) del sistema B con respecto al sistema A:

$$K_{BA} = -10 \log \left\{ 10^{0,1\,[U_{BA} - \Delta G_B (f_{up})]} + 10^{0,1\,[V_{BA} - \Delta G_A (f_{down})]} \right\} \tag{11}$$

donde:

ΔG_A, ΔG_B: diferencias existentes entre la ganancia máxima y el valor de ganancia del lóbulo lateral en la dirección que forma con respecto al eje un ángulo $\varphi = 1°$, calculadas a partir del diagrama de radiación de referencia (incluida la corrección para D/λ para pequeñas antenas) del Informe 391, para las estaciones terrenas del sistema indicado por el subíndice. (Obsérvese que para las pequeñas antenas, la ganancia del lóbulo lateral así calculada es sólo teórica);

f_{up}, f_{down}: frecuencias de los enlaces ascendente y descendente.

Puede demostrarse que:

$$25 \log \theta_{BA} = \left(\frac{C}{N}\right)_A - 10 \log \left(\frac{q}{1-q}\right) - K_{BA} \tag{12}$$

donde:

$\left(\frac{C}{N}\right)_A$: relación nominal portadora/ruido (en dB) a la entrada del receptor de la estación terrena del sistema A;

q: relación de interferencia procedente de una sola fuente admitida (por ejemplo $q = 0{,}04$ para un criterio del 4%), y

θ_{BA}: separación angular (vista desde la estación terrena) entre los satélites, en la cual el criterio de una sola fuente queda exactamente satisfecho para la interferencia del sistema B al sistema A (se tiene en cuenta la interferencia de los enlaces ascendente y descendente).

K_{BA} se llama factor de compatibilidad porque un incremento en K_{BA} hace más pequeña la distancia angular (B es más tolerable para A).

Es útil trazar curvas de constante K_{BA} utilizando U_{BA} y V_{BA} como ejes de coordenadas. En la fig. 7 se muestra un ejemplo, en el que el contorno de $K_{BA} = +11{,}3$ dB para diámetros de antena $D_A = 5$ m y $D_B = 1$ m, $f_{up} = 14$ GHz y $f_{down} = 12{,}5$ GHz, se ve en la parte inferior izquierda del cuadrante. En la zona sombreada $K_{BA} > 11{,}3$ dB. Se escogió K_{BA} de modo que correspondiese a $\theta_{BA} = 5°$ en un sistema para el cual $(C/N)_A = 15$ dB y $q = 0{,}04$ como puede verificarse en la ecuación (12). Es evidente que, si los satélites tienen una separación de 5°, el criterio de interferencia procedente de una sola fuente en el sistema A queda satisfecho en todas partes en el interior de la zona sombreada en el plano U_{BA} y V_{BA}.

La interferencia del sistema A al sistema B puede tratarse del mismo modo. Únicamente se intercambian los subíndices. Se observa que $U_{AB} = -U_{BA}$ y $V_{AB} = -V_{BA}$. Por esa razón, puede trazarse en la misma figura el contorno de K_{AB}, según se muestra en el ángulo superior derecho de la fig. 7. Si $(C/N)_B = 15$ dB y $q = 0{,}04$, entonces $K_{AB} = 11{,}3$ dB corresponde a una distancia angular de 5°, y a esa distancia queda satisfecho el criterio de interferencia procedente de una sola fuente para el sistema B que está en el interior de la curva. Se observa que, en este caso, no hay valores de U y V que satisfagan tal criterio simultáneamente para ambos sistemas, con una separación de 5° entre los satélites.

En la fig. 8 se presenta el mismo caso que el que se acaba de citar, excepto que se han trazado también los contornos para $D_B = 2$ m y $D_B = 3$ m. Los límites admisibles para las heterogeneidades entre los satélites pueden verse por las curvas inmediatamente, para cada elección de D_B.

La hipótesis restrictiva de que los satélites sirven la misma zona geográfica y ocupan exactamente las mismas bandas de frecuencias puede eliminarse introduciendo un factor aditivo de corrección U_{BA} y V_{BA}. El efecto del diagrama de las antenas de los satélites y la superposición solamente parcial de las bandas de frecuencias pueden incluirse en estos factores de corrección.

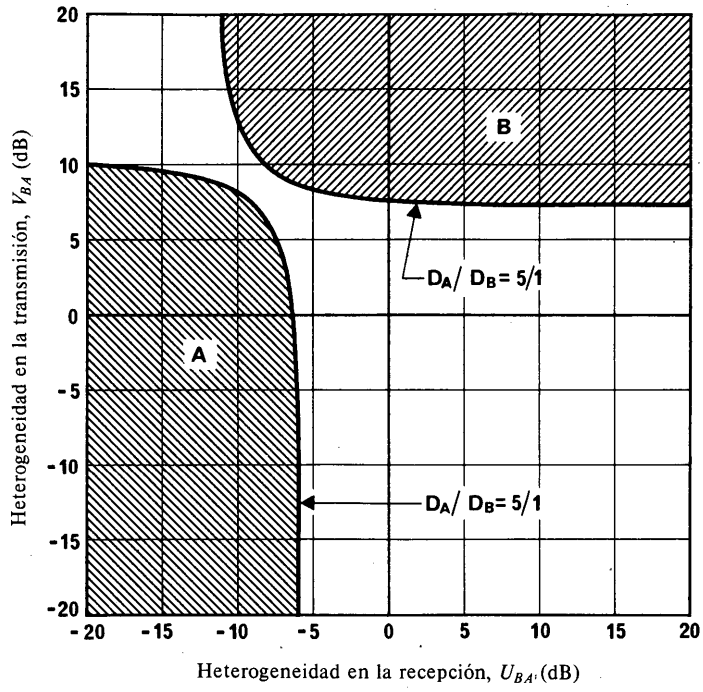


FIGURA 7 – *Principio del trazado de curvas de interferencia procedente de una sola fuente*

A: Criterio de interferencia de una sola fuente que se satisface para el sistema A
B: Criterio de interferencia de una sola fuente que se satisface para el sistema B

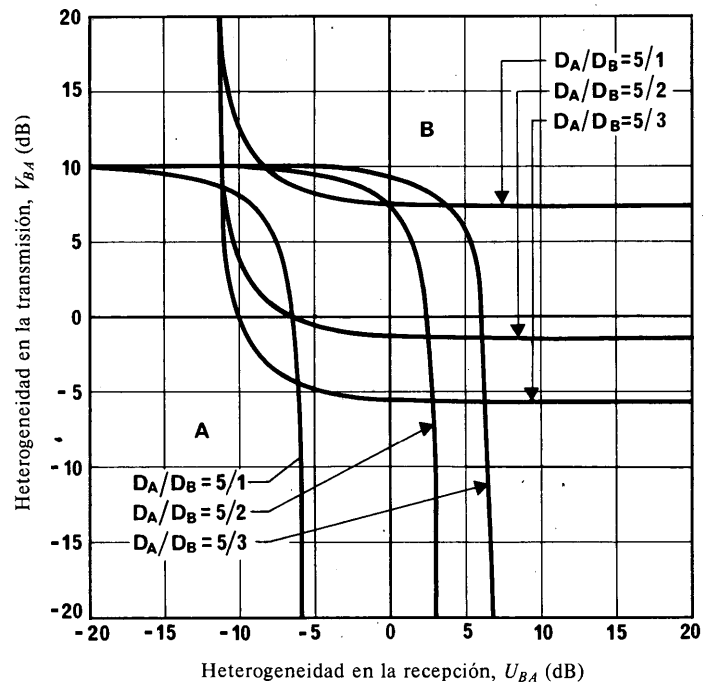


FIGURA 8 – *Ejemplo de un estudio de interferencia procedente de una sola fuente. Separación angular de los satélites 5°. C/N = 15 dB (ambos sistemas), q = 0,04*

A: Criterio de interferencia de una sola fuente que se satisface para el sistema A
B: Criterio de interferencia de una sola fuente que se satisface para el sistema B

BIBLIOGRAFÍA

HAIKONEN, T. [enero de 1983] Método para calcular la interferencia procedente de una sola fuente entre sistemas de satélites. *Boletín de Telecomunicaciones*, Vol. 50, 1, 30-33.

ANEXO III

PARÁMETROS GENERALIZADOS DE UNA RED DE SATÉLITES PARA LA GESTIÓN DE LA ÓRBITA

1. Introducción

La CAMR ORB-85 ha decidido que ciertas bandas de frecuencias atribuidas al SFS se gestionen mediante un Plan de atribuciones y algunas otras de esas bandas mediante procedimientos reglamentarios perfeccionados con posterioridad a la celebración de reuniones multilaterales de planificación.

Para que esos procesos de gestión de la órbita puedan tener lugar, es conveniente elaborar una o más series de parámetros generalizados que sirvan para describir adecuadamente las redes del SFS en el proceso de tal gestión de la órbita. En el pasado, se han utilizado determinados parámetros generalizados para aplicaciones muy específicas: por ejemplo, $\Delta T/T$ para el umbral de coordinación. Otros han sido estudiados con miras a mejorar la eficacia de la utilización de la órbita mediante la imposición de limitaciones: por ejemplo, los parámetros A, B, C, D. Se han elaborado otros más para aplicaciones particulares, que comprenden entre otras, la separación orbital característica (SOC), el aislamiento, las variantes de los parámetros A, B, C, D y los aumentos de la temperatura de ruido equivalente.

Es preciso que esas series de parámetros generalizados describan las redes de satélite existentes y planificadas con la suficiente precisión para que su aplicación en el proceso de gestión de la órbita resulte útil, y, al mismo tiempo, han de ser lo suficientemente sencillas y generales para que pueda modelarse cualquier red del SFS de manera precisa con los programas de computador utilizables en el proceso de planificación. En el punto 4.5 del presente Informe se enumeran seis de esas series de posibles parámetros generalizados, descritas con más detalle en el presente anexo. Cada una de esas series permite calcular de manera simplificada la interferencia entre redes del servicio fijo por satélite.

2. Conjuntos de parámetros generalizados

2.1 *Parámetros de red A, B, C y D*

El conjunto de parámetros generalizados A, B, C y D se tomó en consideración, en un principio, para investigar la manera de reducir la inhomogeneidad entre redes de satélite, con miras a mejorar la utilización de la órbita. Esos parámetros se diseñaron con objeto de describir las características esenciales de una red de satélites desde el punto de vista de la interferencia entre redes, por lo que podrían utilizarse para la nueva tarea.

Los parámetros A, B, C y D se definen como sigue:

Parámetro A : Máxima p.i.r.e de enlace ascendente por unidad de anchura de banda en la dirección de la órbita de los satélites geoestacionarios, radiada en un ángulo θ con respecto al eje del haz principal de la antena de estación terrena.

Parámetro B : Sensibilidad de enlace ascendente, definida como la mínima densidad de flujo de potencia (dfp) espectral interferente en la órbita de los satélites geoestacionarios que corresponde al valor máximo recomendado de interferencia de una sola fuente en un canal.

Parámetro C : Máxima dfp espectral producida en la superficie de la Tierra por las emisiones del satélite.

Parámetro D : Sensibilidad de enlace descendente, definida como la mínima dfp espectral interferente en la superficie de la Tierra que llega con un ángulo θ con respecto a la dirección de la señal deseada, que corresponde al máximo valor recomendado de interferencia de una sola fuente en un canal.

Si se restringieran los parámetros A, B, C y D a una gama de valores suficientemente pequeña como para producir un incremento significativo en la utilización eficaz de la órbita y del espectro, entonces algunas de las redes ya en servicio deberían modificar de forma sustancial las características básicas del sistema. De una forma similar, el diseño de nuevos sistemas se limitaría de forma significativa.

De momento no es factible aumentar la eficacia de utilización de la órbita y del espectro SFS aplicando las nociones descritas en el punto 4.4.3 de este Informe. Sin embargo, en un futuro, tales nociones pueden ser viables y útiles para lograr una mayor homogeneidad entre redes de satélites. Se requieren nuevos estudios.

2.2 *Un conjunto alternativo de parámetros A, B, C y D*

Una variación determinada del método A, B, C, D obliga a modificar los parámetros B y C, de suerte que reflejen su incidencia en el medio ambiente exterior a la cobertura deseada, pero manteniendo A y D en su forma habitual. Los parámetros se definen del siguiente modo:

Parámetro A(θ) : Valor máximo permisible de la potencia radiada por la estación terrena en la banda de frecuencias en cuestión, calculada en función del ángulo θ con la dirección de radiación máxima.

Parámetro B(β) : Densidad de flujo de potencia admisible que pueden crear en el emplazamiento del satélite útil las señales interferentes de otros sistemas de comunicación por satélite que llegan con el ángulo β respecto del eje de la antena de recepción del satélite útil, parámetro éste que caracteriza la sensibilidad a la interferencia del receptor del satélite.

Parámetro C(β) : Densidad de flujo de potencia máxima permisible que crea en la superficie de la Tierra la radiación del satélite, calculada en función del ángulo β con la dirección de radiación máxima.

Parámetro D(θ) : Densidad de flujo de potencia admisible que pueden crear en la superficie de la Tierra las señales interferentes de otros sistemas de satélite que llegan con el ángulo θ respecto de la dirección de la señal útil, parámetro éste que caracteriza la sensibilidad del equipo receptor de la estación terrena a la interferencia.

Esta variante parece remediar, en parte, algunas de las deficiencias percibidas en la serie original A, B, C, D, pero requiere estudio adicional. La capacidad para establecer valores realistas para B y C en esa variación depende también de la definición adecuada de las características de la antena del satélite.

2.3 *Parámetros A*, B*, C*, y D*, una segunda variante de los parámetros A, B, C, y D basada en la interferencia total*

Una segunda variante entraña la modificación del parámetro C para que refleje su incidencia en el espacio situado fuera de la zona de cobertura deseada y para relacionar B y D, no con el criterio de una sola fuente de interferencia, sino con el criterio de la interferencia total.

Este conjunto requiere también la aplicación de la definición de una unidad de anchura de banda adecuada. La anchura de banda definida puede medir hasta 500 MHz cuando se utilicen los parámetros indicados en las etapas preliminares de la coordinación multilateral o de la elaboración de un plan de atribuciones. Cuando se utilicen esos mismos parámetros para etapas de coordinación más detalladas, la anchura de banda definida puede ser reducida como la de los transpondedores, e incluso como la anchura de banda de cada portadora.

Los parámetros de esta serie se definen como sigue:

Parámetro $A_i^*(\theta)$: Densidad máxima de la p.i.r.e. del enlace ascendente en la anchura de banda definida, en la dirección de la OSG, radiada en un ángulo θ con respecto al eje del haz principal de la i-ésima estación terrena.

Parámetro $B_i^*(\theta)$: Densidad de potencia máxima admisible de la interferencia total, medida para la portadora de densidad mínima de que se trate, en la anchura de banda definida a la salida de la antena receptora de la i-ésima estación espacial.

Parámetro $C_i^*(\varphi)$: Densidad máxima de la p.i.r.e. del enlace descendente en la anchura de banda definida, en la dirección de la superficie de la Tierra, radiada en un ángulo φ con respecto al eje del haz principal de la i-ésima estación espacial.

Parámetro D_i^* : Densidad de potencia máxima admisible de la interferencia total, medida para la portadora de densidad mínima existente en la anchura de banda definida, a la salida de la antena receptora de la i-ésima estación terrena.

La aplicación en esta situación particular se basa en un cálculo simplificado de la C/I global que habría que emplear para apoyar un ejercicio de planificación mediante la especificación de límites que tengan en cuenta la cobertura y varios parámetros de referencia. Como en el caso general de parámetros A, B, C, D, hay cierto número de limitaciones, y, para cada una de las variantes, existen posibilidades de introducir determinadas restricciones.

2.4 *El concepto de aislamiento*

El aislamiento entre dos redes puede derivarse como sigue: En la ecuación c/i básica (para la definición de los símbolos, véase el cuadro II de este anexo):

$$c/i = \left[\frac{p'_1 g'_1(\theta)\, g_2(\psi')}{p_1 g_1 g_2} + \frac{p'_3 g'_3(\psi)\, g_4(\theta')}{p_3 g_3 g_4} \right]^{-1} \qquad (13)$$

las relaciones $p'_1/(p_1 g_1 g_2)$ y $p'_3/(p_3 g_3 g_4)$ pueden sustituirse de los presupuestos de potencia de los enlaces ascendente y descendente en las redes interferente e interferida como sigue:

$$p'_1/(p_1 g_1 g_2) = \frac{(c/n)'_u \, b' \, T'_2}{(c/n)_u \, b \, T_2 \, g'_1 \, g'_2} \tag{14a}$$

$$p'_3/(p_3 g_3 g_4) = \frac{(c/n)' \, T'_l \, b'}{(c/n) \, T_l \, b \, g'_3 \, g'_4} \tag{14b}$$

Definiendo

$$(c/n)' \, / \, (c/n)'_u = n'_1 \tag{15a}$$

$$(c/n) \, / \, (c/n)_u = n_1 \tag{15b}$$

y pasando b, b', (c/n) y $(c/n)'$ al lado izquierdo se obtiene la «ecuación de aislamiento»:

$$(c/i) \frac{(c/n)' \, b'}{(c/n) \, b} = \left[\frac{n_1 \, (g_2/T_2) \, g'_1 \, (\theta)}{n'_1 \, (g'_2/T'_2) \, g'_1 \Delta g_2 \, (\psi')} + \frac{(g_4/T_l) \, g_4 \, (\theta')}{(g'_4/T'_l) \, g_4 \Delta g'_3 \, (\psi)} \right]^{-1} \tag{16}$$

El miembro izquierdo de la ecuación (16) contiene sólo parámetros que describen las transmisiones interferentes y su interacción, y a su magnitud se da el nombre de aislamiento requerido; el miembro derecho contiene sobre todo las principales características de diseño de la red, es igual a la pérdida por acoplamiento entre redes, y recibe el nombre de aislamiento disponible. Como ambos parámetros θ y θ' son separaciones topocéntricas entre satélites, el aislamiento disponible es una función de la separación entre satélites.

A partir de la ecuación (16), se puede definir de la siguiente manera el aislamiento requerido y el aislamiento disponible:

El aislamiento requerido es la relación de potencias «portadora deseada/señales no deseadas» (c/i) requerida para proteger una transmisión contra la interferencia inaceptable de otra, normalizada en relación con las relaciones necesarias de «portadora/densidad de ruido» (c/n_0) de las dos transmisiones.

y

El aislamiento disponible (pérdida por acoplamiento entre redes) de una red A en relación con una red B es la relación de las potencias recibidas en dos puntos desde una transmisión originada en la red B, normalizada en relación con las temperaturas de ruido efectivas en los puntos de recepción. Los dos puntos de recepción son los receptores de la red B y de la red A respectivamente.

Cabe perfeccionar más la ecuación básica de aislamiento:

– Cuando una transmisión interferente tenga una anchura de banda necesaria menor que la transmisión deseada, hay que dejar cierto margen para las contribuciones de interferencia adicionales en el término c/i. Convendría suponer, en tal caso, que toda la interferencia obedecería a un conjunto de portadoras interferentes del mismo tipo, con una separación de frecuencia igual. En el caso de interferencia con transmisiones MF, si con $(c/i)_{req\,j}$ denota la relación requerida c/i para la j-ésima portadora interferente que se supone produce la interferencia admisible total, la relación c/i efectiva que se habría de utilizar para el término c/i en el miembro izquierdo de la ecuación (16) sería:

$$(c/i)_{req\,ef} = \sum_{todas\ j} (c/i)_{req\,j} \tag{17}$$

refiriéndose el símbolo Σ a la suma de las contribuciones de todas las portadoras cuyas anchuras de banda necesarias se suporpongan a la de la portadora interferida. Se obtiene una expresión equivalente para el caso en que una transmisión digital esté sujeta a interferencia.

– En algunos casos, se puede disponer de discriminación por polarización en el enlace ascendente y descendente. Esa discriminación aumentaría el aislamiento disponible o disminuiría la separación requerida entre satélites. Existen excelentes estimaciones de la discriminación por polarización para el caso de satélites con la misma ubicación y la misma cobertura (ψ, ψ', θ, $\theta' = 0°$). Para otros casos conviene reunir datos adicionales.

- Los términos n_1/n'_1, T_l y T'_l no son independientes de los parámetros de transmisión supuestos. El término n_1/n'_1 es controlable mediante la incorporación de unos pasos de ganancia de satélite adecuados en el diseño del satélite y la elección de ajustes adecuados, que afectan a las necesidades de potencia del enlace ascendente. Las temperaturas de ruido del enlace, T_l y T'_l se pueden dividir en componentes dependientes de la transmisión e independientes de la transmisión; se puede hacer que las componentes dependientes de la transmisión formen parte del aislamiento requerido.
- Es necesario adaptar la noción de aislamiento para hacer posible su utilización con redes que sólo experimentan interferencia en el enlace ascendente o en el enlace descendente o que tienen transpondedores de satélite distintos de los convertidores de frecuencia simple.
- Hay que tener en cuenta la condición ψ y/o $\psi' < 0°$, es decir, cuando las zonas de servicio se superponen.

Ejemplos de aplicación

El cuadro I representa una matriz de tipos de portadoras en la que se indica el aislamiento entre redes que se necesitaría para limitar la interferencia procedente de una sola fuente a 600 pW0p y al 4% del ruido de la banda de base para televisión.

2.5 *Separación orbital característica de una red de satélites*

La *separación orbital característica (SOC)* de una red puede definirse como la separación mínima requerida entre una serie hipotética de satélites idénticos que dan servicio a una determinada zona de servicio, en el supuesto de que estos satélites tienen separaciones uniformes a lo largo del arco visible.

La separación orbital requerida entre dos redes no similares y que no tienen la misma cobertura puede expresarse en términos de la SOC y un factor de multiplicación apropiado, lo que resulta especialmente sencillo en los casos en que:

- las p.i.r.e. fuera del eje de las estaciones terrenas son iguales, y
- las p.i.r.e. fuera del eje de las estaciones espaciales son iguales.

Por ejemplo, si las zonas de servicio de los enlaces ascendente y descendente son las mismas y las redes deseada e interferente están separadas por una discriminación en el satélite de D dB,

$$\text{Separación orbital requerida} = (\text{SOC}) \times 10^{-\frac{D}{25}}$$

Si las zonas de servicio de los enlaces ascendente y descendente fuesen diferentes, la expresión no sería mucho más compleja.

La SOC es, pues, en esencia, una propiedad de una determinada red. Se aplica independientemente de que en la práctica haya o no más de un satélie que dé servicio a una cierta zona de servicio. Puede cuantificarse fácilmente, y no exige la consideración detallada de parámetros técnicos, tipos de tráfico utilizados, normas en materia de interferencia, etc. Dado que es posible cuantificarla, resulta fácil de normalizar y puede servir de base para la definición equitativa de cualquier método de compartición del recurso espectro/órbita.

2.6 *Determinación de la interferencia utilizando la temperatura de ruido equivalente normalizada*

Este método se basa en la técnica presentada en el apéndice 29 del Reglamento de Radiocomunicaciones y descrita en el Informe 454, convenientemente modificada para dar resultados precisos. Para ello, el umbral del 4% empleado en el apéndice 29 se sustituye por umbrales que dependen de las portadoras que intervienen y que cumplen los criterios del CCIR.

2.6.1 *Valores normalizados de incremento relativo de la temperatura de ruido equivalente admisible del enlace*

El método requiere primeramente determinar el incremento total de la temperatura de ruido equivalente del enlace como resultado de los diversos tipos de transmisión de las dos redes.

Los valores normalizados de incremento relativo de la temperatura de ruido equivalente del enlace vienen dados por:

$$\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_N = \frac{I}{N_0 B_2}$$

donde

I/N_0 : relación de la potencia interferente a la densidad de ruido térmico de la portadora deseada,

B_2 : anchura de banda definida por la relación de la potencia P' de la portadora interferente a su densidad espectral de potencia máxima p'_m:

$$p'_m = P'/B_2$$

CUADRO I – *Aislamiento requerido* entre transmisiones (dB)*

Deseada \ Interferente		MDF-MF, Índice alto				MDF-MF, Índice medio				TV-MF	
		12 c	60 c	252 c	792 c	60 c	132 c	432 c	792 c	600 (1)	2000 (1)
SCPC	MDP	30,2	29,4	30,5	33,4	38,4	38,0	38,7	39,8	47,8	44,7
	MF-compandida	29,2	28,4	29,5	32,4	37,4	37,0	37,7	38,8	44,7	40,5
MDF-MF Índice alto	12 c	27,6	28,4	29,7	32,6	36,8	37,0	37,9	39,0	40,5	35,9
	60 c	24,5	26,7	29,4	32,5	33,4	35,2	37,6	38,9	37,4	35,2
	252 c	24,5	23,6	27,4	32,0	32,0	31,4	35,3	37,7	32,4	32,1
	792 c	24,5	23,6	24,4	29,9	32,0	31,6	31,9	34,6	27,9	27,9
MDF-MF Índice medio	60 c	24,5	27,5	29,6	32,6	34,6	36,0	37,7	38,9	38,5	35,5
	132 c	24,6	25,5	29,1	32,5	32,0	34,0	37,2	38,7	35,9	34,5
	432 c	24,6	24,1	26,4	31,6	32,1	32,3	34,3	37,0	31,5	31,0
	792 c	24,6	23,9	24,5	30,3	32,2	31,8	32,3	35,2	29,1	28,9
TV	TV-MF	27,4	28,0	28,8	31,8	32,0	34,0	36,6	37,5	33,0	33,0
Valor eficaz del índice de modulación		2,65	2,17	1,55	1,24	1,10	0,96	0,82	0,76		

* Para satisfacer los actuales criterios de interferencia de una sola fuente del CCIR.
(1) Desviación de cresta a cresta (kHz) de la dispersión de energía a la frecuencia de trama.
c: Canales.

CUADRO II – *Definición de los símbolos utilizados*

c/i	Relación numérica entre las potencias de la portadora deseada y de la interferencia
p_i, g_i, T_i	Potencia de la portadora (p), ganancia nominal de la antena (g) y temperatura de ruido del sistema receptor (T), observadas en las cuatro antenas que comprenden todo el trayecto de transmisión; i = 1: antena de transmisión de la estación terrena; i = 2: antena de recepción del satélite; i = 3: antena de transmisión del satélite; i = 4: antena de recepción de la estación terrena
p'_i, g'_i, T'_i, etc.	Los parámetros que llevan el signo prima son los asociados con la transmisión o la red interferentes
T_l, T'_l	Temperatura de ruido del enlace en las estaciones terrenas receptoras, respectivamente, interferida e interferente
$\Delta g_2(\psi') = g_2/g_2(\psi')$	Discriminación (1) de la antena receptora del satélite de la red interferida, en la dirección ψ', de la zona de servicio de la red interferente
$\Delta g'_3(\psi) = g'_3/g'_3(\psi)$	Discriminación (1) de la antena transmisora del satélite de la red interferente, en la dirección ψ, de la zona de servicio de la red interferida
$g'_1(\theta)$	Ganancia de la antena transmisora de la estación terrena de la red interferente, en la dirección θ, del satélite de la red interferida (2)
$g_4(\theta')$	Ganancia de la antena receptora de la estación terrena de la red interferida, en la dirección θ', del satélite de la red interferente. (3) En general, $\theta \simeq \theta'$ de modo que, con un diagrama de referencia común de antena $(A + B \log \xi)$, $g'_1(\theta) = g_4(\theta')$
$(c/n)_u$, (c/n)	Relación requerida «portadora/ruido», respectivamente, del enlace total y del enlace ascendente (con el símbolo prima para la red interferente)
b, b'	Anchura de banda necesaria de la red interferida e interferente, respectivamente

(1) Discriminación espacial solamente, en relación con las ganancias g_2, g'_3 en el borde del haz.
(2) Se supone polarización igual con g'_1.
(3) Se supone polarización igual con g_4.

Los cálculos de I/N_0 y $(\Delta T/T)_N$ se dan en el apéndice I.

El método de cálculo para $(\Delta T/T)_N$ depende del tipo de portadoras deseada e interferente. Se consideran cinco tipos:

- MDF-MF
- SCPC-MF
- SCPC digital (SCPC-DIG)
- Digital de banda ancha (DIG-BA)
- Televisión-MF (TV-MF)

Para un tipo determinado de portadora deseada y un tipo dado de portadora interferente, el valor de $(\Delta T/T)_N$ obtenido (utilizando el método que corresponda a ese par de tipos de portadora) depende de los parámetros de las portadoras, tales como anchura de banda y codificación.

A fin de limitar los cálculos necesarios, cada tipo general de portadora se descompone en varios subtipos, de modo que para cada pareja de tipos, los parámetros de las portadoras no afecten ya a $(\Delta T/T)_N$ (siempre que estos parámetros permanezcan en el margen especificado para cada tipo) (véase el cuadro III).

De este modo, el econocimiento del tipo de las dos portadoras consideradas basta para determinar el valor de $(\Delta T/T)_N$ correspondiente, y las portadoras se clasifican según dicho tipo.

Un análisis inicial de las portadoras ha permitido identificar unos 50 tipos diferentes:

- alrededor de 20 MDF-MF, caracterizados por el número de canales y la banda atribuida:
- varios SCPC-MF, caracterizados por la banda atribuida;
- unos 15 DIG-BA (banda ancha) caracterizados por la velocidad binaria, tipo de codificación y número de estados;
- varios SCPC-DIG, caracterizados por la velocidad binaria, tipo de codificación y número de estados;
- varios TV-MF, caracterizados por la banda atribuida y las características de dispersión de energía.

Para simplificar la presentación del cuadro de umbrales, los 50 tipos de portadora se han agrupado en 12 categorías que se recogen en el cuadro IV.

Los valores correspondientes de $\Delta T/T$ para cada par de categorías deseada e interferente de los tipos de portadora se indican en el cuadro V.

2.6.2 *Aplicación*

Este método podría utilizarse para determinar la necesidad de coordinación, y dado que refleja mejor que el apéndice 29 del Reglamento de Radiocomunicaciones el caso de interferencia real, podrían eliminarse cierto número de procedimientos de coordinación.

Además, como contribución a una futura planificación basada en la coordinación multilateral, este método proporcionaría un medio más preciso para determinar la interferencia mutua.

3. Resumen

Los parámetros generalizados deben ser lo suficientemente flexibles para permitir que el diseñador del sistema de satélites elija los parámetros del sistema adecuados, como son el tamaño de las antenas, la potencia de transmisión, etc. Además de la selección flexible de los parámetros del sistema, otro requisito importante de los parámetros generalizados es que permitan al diseñador del sistema aprovechar las ventajas derivadas del empleo de características mejoradas, tales como la reducción de lóbulos laterales de las antenas. Se considerará que el empleo de estos parámetros generalizados permitirá obtener esa flexibilidad.

No parece haber una falta de conjuntos aplicables de parámetros generalizados para describir las redes de satélites en un ejercicio de gestión de la órbita. Es preciso examinar con urgencia la aplicabilidad de los seis conjuntos aquí descritos, tanto desde el punto de vista de la exactitud de modelación como desde el punto de vista del desarrollo de programas de computador en preparación de la CAMR ORB-88, y posiblemente de proporcionar la información necesaria para elegir conjuntos adecuados para su ulterior desarrollo y aplicación en la CAMR ORB-88 y para coordinación multilateral.

CUADRO III – *Tipos de portadoras normalizadas*

MDF-MF N.º	Tipo		N/V	B_{oc} (MHz)	$f_{mín}$ (kHz)	$f_{máx}$ (kHz)	Δf_{st} (kHz)	Δf_m (kHz)
1	12	1,3	12	1,13	12,0	60,0	108,5	159,0
2	12	2,5	12	2,2	12,0	60,0	238,9	350,0
3	24	2,5	24	1,96	12,0	108,0	163,4	275,0
4	60	2,5	60	2,25	12,0	252,0	136,5	276,0
5	72	2,5	72	2,25	12,0	300,0	124,5	261,0
6	60	5,0	60	3,96	12,0	252,0	270,1	546,0
7	132	5,0	132	4,45	12,0	552,0	223,5	529,0
8	192	5,0	192	4,51	12,0	804,0	180,0	459,0
9	96	7,5	96	5,87	12,0	408,0	359,8	799,0
10	192	7,5	192	6,40	12,0	804,0	297,2	758,0
11	252	7,5	252	6,74	12,0	1052,0	259,7	733,0
12	132	10,0	132	7,50	12,0	552,0	430,0	1020,0
13	252	10,0	252	8,49	12,0	1052,0	357,4	1009,0
14	312	10,0	312	8,96	12,0	1300,0	320,0	1005,0
15	252	15,0	252	12,39	12,0	1052,0	576,4	1627,0
16	432	15,0	432	12,95	12,0	1796,0	400,2	1479,0
17	432	20,0	432	17,99	12,0	1796,0	615,8	2276,0
18	612	20,0	612	17,70	12,0	2540,0	453,7	1996,0
19	432	25,0	432	20,59	12,0	1796,0	727,3	2688,0
20	792	25,0	792	22,34	12,0	3284,0	498,4	2494,0
21	972	25,0	972	25,00	12,0	4028,0	410,0	2274,0
22	972	36,0	972	35,99	12,0	4028,0	796,7	4417,0

SCPCA N.º	Tipo		B_{oc} (kHz)	$f_{mín}$ (kHz)	$f_{máx}$ (kHz)	Δf (kHz)
23	0,020		20,0	0,3	3,4	5,8
24	0,025		25,0	0,3	3,4	12,0
25	0,030		30,0	0,3	3,4	8,5
26	0,090		90,0	0,3	3,4	3,4
27	0,180		180,0	0,3	3,4	3,3

SCPCN N.º	Tipo	N/E	B_{oc} (kHz)	Velocidad binaria (kbit/s)
28	0,064	4	38,0	64,0
29	0,085	4	50,0	85,0
30	0,128	4	150,0	128,0
31	0,256	4	300,0	256,0
32	0,502	4	600,0	512,0

NUM-LB N.º	Tipo	N/E	B_{oc} (MHz)	Velocidad binaria (Mbit/s)
33	2Q	4	1,44	2,048
34	3Q	4	1,84	3,072
35	4Q	4	2,25	4,096
36	8Q	4	5,0	8,448
37	10Q	4	5,0	10,0
38	17Q	4	10,2	17,0
39	25Q	4	18,0	24,6
40	34Q	4	20,6	34,368
41	40Q	4	20,0	40,0
42	50Q	4	25,6	50,0
43	120Q	4	75,0	120,0
44	139Q	4	82,0	139,264
45	147Q	4	110,0	147,0

TV/MF N.º	Tipo	Δf (MHz)	B_{oc} (MHz)	Δf_{pm} (MHz)	Δf_{pnm} (MHz)	f_{bal} (Hz)
46	TV.17	4,75	17,5	1,0	2,0	60/30
47	TV.20	4,8	20,0	1,0	2,0	50
48	TV.30	6,2	30,0	2,0	4,0	50
49	TV.35	5,0	30,0	2,0	4,0	50/25
50	TV.36	11,0	32,0	1,0	2,0	50

SCPCA: SCPC (analógico)
SCPCN: SCPC (digital)
NUM-LB: Digital, banda ancha
N/V: N.º de canales
N/E: N.º de estados
B_{oc}: Anchura de banda ocupada

Δf: Excursión de frecuencia
Δf_{pm}: Excursión de frecuencia (portadora modulada)
Δf_{pnm}: Excursión de frecuencia (portadora no modulada)
f_{bal}: Frecuencia de barrido
Δf_{st}: Excursión de frecuencia (señal de prueba)
Δf_m: Excursión de frecuencia (señal múltiplex)

CUADRO IV – *Categorías de portadora*

Tipo de portadora		N.º
MDF-MF	$B_{oc} \leq 3$ MHz	1-5
	3 MHz < $B_{oc} \leq 7$ MHz	6-11
	7 MHz < $B_{oc} \leq 15$ MHz	12-16
	$B_{oc} > 15$ MHz	17-22
Digital de banda ancha	$B_{oc} \leq 3$ MHz	33-35
	3 MHz < $B_{oc} \leq 7$ MHz	36-37
	7 MHz < $B_{oc} \leq 15$ MHz	38
	$B_{oc} > 15$ MHz	39-45
SCPC	MDP	28-32
	MF compandida	23-27
TV-MF	$\Delta f \leq 7$ MHz	46-49
	$\Delta f > 7$ MHz	50

B_{oc}: Anchura de banda ocupada
Δf: Excursión de frecuencia

CUADRO V – *Valores umbrales de $\Delta T/T$*

Portadora deseada	Portadora interferente	MDF-MF				Digital de banda ancha				SCPC		MF-TV	
	B_{oc} (MHz)	<3	3-7	7-15	>15	<3	3-7	7-15	>15	MDP	MF compandida	$\Delta f \leq 7$	$\Delta f > 7$
MDF-MF	<3	7	6	6	6	4	5	5	4	5	80	6	6
	3-7	10	7	6	6	6	5	5	4	12	230	6	6
	7-15	19	10	7	6	8	5	5	4	25	503	6	9
	>15	35	17	10	7	14	7	5	4	50	998	10	16
Digital de banda ancha	<3	7	5	4	4	4	4	4	4	10	191	4	4
	3-7	23	10	6	4	9	4	4	4	33	665	5	10
	7-15	47	20	10	5	18	8	7	4	68	1356	10	20
	>15	82	36	18	7	32	14	8	4	120	2393	18	36
SCPC	MDP	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1,5
	MF compandida	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	1	1
TV-MF	$\Delta f \leq 7$	58	25	13	5	23	10	5	2	85	1695	13	25
	$\Delta f > 7$	18	8	4	1,5	7	3	2	0,5	27	538	4	8

Nota. – Cuando puedan incluirse varias portadoras interferentes en la anchura de banda deseada, estos valores deben reducirse de acuerdo con el número de estas portadoras interferentes.

APÉNDICE I

CÁLCULO DE I/N_0 Y $(\Delta T/T)_N$

Los parámetros que se utilizan son los siguientes:

B_0 : anchura de banda de la señal deseada (Hz),

B_1 : anchura de banda de la señal interferente (Hz),

I/N_0 : relación «portadora interferente/densidad de potencia de ruido»,

C/N_0 : relación «portadora deseada/densidad de potencia de ruido»,

C/I : relación «portadora deseada/portadora interferente»,

B_2 : anchura de banda definida por la relación entre la potencia interferente (P') y su densidad espectral máxima de potencia p'_m,

$$p'_m = P'/B_2$$

α : fracción de potencia de la señal interferente recibida después de ser filtrada por el filtro receptor de señal deseada (véase el Informe 388),

N : potencia de ruido $N = N_0 \cdot B_0$.

Los valores normalizados admisibles de incremento relativo de temperatura de ruido equivalente del enlace están dados por:

$$\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_N = \frac{I}{N_0 B_2}$$

1. Portadoras deseadas MDF-MF

La interferencia de banda de base N_p, en pW0p, viene dada por (Informe 388):

$$10 \log N_p = 87{,}5 - B - 10 \log \frac{C}{I} \quad \text{dB}$$

$$= 87{,}5 - P + 10 \log b + 10 \log D(f, f_0) - 20 \log \frac{\delta f}{f}$$

$$= -10 \log \frac{2}{1-\varepsilon} - 10 \log \frac{C}{I}$$

en donde:

B : factor de reducción de interferencia,

b : anchura de banda del canal telefónico (Hz),

δf : excursión eficaz del tono de prueba de la señal deseada (Hz),

f_m : frecuencia superior de la banda de base de la señal deseada multiplexada (Hz),

ε : relación f_{min}/f_m de la frecuencia inferior a la superior en la banda de base de la señal deseada multiplexada,

$D(f, f_0)$: producto de convolución de los espectros deseado e interferente,

f_0 : separación entre las frecuencias portadoras de la señal deseada e interferente (Hz),

f : frecuencia central del canal seleccionado, situada en la banda de base de la señal deseada (Hz),

$P =$ 10 log $p(f/f_m)$: preacentuación (dB).

El ruido térmico, después de la demodulación, viene dado por:

$$10 \log N_{th} = 87{,}5 - P - 10 \log \frac{C}{N_0} + 10 \log b - 20 \log \frac{\delta f}{f} \quad \text{dB}$$

en donde:

$N_0 = kT_0$: densidad de potencia de ruido en el enlace deseado,

siendo k : constante de Boltzmann,

y T_0 : temperatura de ruido del sistema de recepción,

de donde se obtiene:

$$10 \log \frac{N_p}{N_{th}} = 10 \log \frac{I}{N_0} - 3 + 10 \log D(f, f_0) \quad \text{dB}$$

$$\frac{N_p}{N_{th}} = \frac{I}{N_0} \cdot \frac{D(f, f_0)}{2}$$

El criterio bilateral establecido por el CCIR corresponde a un valor de $N_p = 600$ pW, para un valor de N_{th} igual a 10 000 pW. Por consiguiente:

$$\frac{I}{N_0} = 0{,}06 \cdot \frac{2}{D(f, f_0)} = \frac{0{,}12}{D(f, f_0)}$$

donde:

$$\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_N = \frac{0{,}12}{D(f, f_0)} \cdot \frac{1}{B_2}$$

2. Portadora deseada SCPC-MF

2.1 *Portadora interferente MF-TV*

El ruido térmico viene dado por:

$$10 \log N_{th} = 188{,}7 - 10 \log C/N_0 - 20 \log \delta f \quad \text{dB}$$

δf: excursión eficaz de la señal SCPC-MF deseada (Hz)

Después de aplicar el compresor-expansor se obtiene generalmente:

$$C/N_0 = 10^{13{,}4}/\delta f^2$$

- si $B_0 > B_1$, no existe problema,
- si $B_0 < B_1$, se debe respetar el criterio $10 \log C/I - 8 \log \delta \geqslant 26$ dB

por consiguiente:

$$\frac{I}{N_0} = \frac{C}{N_0} \cdot \frac{I}{C} = \frac{C}{N_0} \cdot \frac{1}{10^{2{,}6} \cdot \delta^{0{,}8}}$$

o sea:

$$\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_N = \frac{C}{N_0} \cdot \frac{1}{10^{2{,}6} \cdot \delta^{0{,}8}} \cdot \frac{1}{B_2}$$

con:

$$\delta = \frac{B_0}{\Delta f} \quad \text{y} \quad B_2 = \Delta f$$

Δf: excursión de frecuencia de la dispersión de energía de la señal TV (Hz).

2.2 *Portadora interferente de otros tipos de modulaciôm*

El criterio a respetar es: $\alpha\ I/N = 10\%$

2.2.1 *Portadora interferente digital*

– si $B_0 > B_1 : \frac{I}{N_0} = 0{,}1\, B_0$ y $B_2 = B_1$

por lo cual: $\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_N = 0{,}1 \cdot \frac{B_0}{B_2} = 0{,}1 \cdot \frac{B_0}{B_1}$

– si $B_0 < B_1 : \frac{I}{N_0} = 0{,}1\, B_1$ y $B_2 = B_1$

y entonces: $\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_N = 0{,}1 \cdot \frac{B_1}{B_2} = 0{,}1$

2.2.2 *Portadora interferente analógica*

– si $B_0 > B_1 : \frac{I}{N_0} = \frac{B_0}{10}$ y $\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_N = 0{,}1 \cdot \frac{B_0}{B_2}$

– si $B_0 < B_1 : \frac{I}{N_0} = \frac{1}{10} \cdot \frac{B_0}{\alpha}$ y $\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_N = 0{,}1 \cdot \frac{B_0}{\alpha B_2}$

3. Portadora deseada SCPC digital

3.1 *Portadora interferente TV-MF*

C/N_0 viene dada por:

$$C/N_0 = \frac{E}{N_0} \cdot D_u$$

donde

E: energía por bit,

D_u: velocidad binaria deseada,

N_0 : densidad de potencia de ruido.

Para un cierto valor de la proporción de errores, se deduce de ahí E/N_0:

– si $B_0 > B_1$, no es de aplicación,

– si $B_0 < B_1$, debe cumplirse el criterio: $10 \log C/I - 6 \log \delta \geqslant 27{,}5$ dB (véase el Informe 867)

por consiguiente: $\frac{I}{N_0} = \frac{C}{N_0} \cdot \frac{1}{10^{2{,}75} \cdot \delta^{0{,}6}}$

de donde: $\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_N = \frac{C}{N_0} \cdot \frac{1}{10^{2{,}75} \cdot \delta^{0{,}6}} \cdot \frac{1}{B_2}$

con: $\delta = \frac{B_0}{\Delta f}$ y $B_2 = \Delta f$

Δf: excursión de frecuencia de la dispersión de energía de la señal TV (Hz).

3.2 *Portadora interferente de otros tipos de modulación*

El criterio a respetar es: $\alpha\ I/N = 4\%$ (véase la Recomendación 523).

De aquí se obtienen los resultados (véase el punto 4):

3.2.1 *Portadora interferente digital*

– si $B_0 > B_1 : \dfrac{I}{N_0} = 0{,}04\ B_0$ y $B_2 = B_1$

y entonces: $\left(\dfrac{\Delta T}{T}\right)_N = 0{,}04 \cdot \dfrac{B_0}{B_2} = 0{,}04 \cdot \dfrac{B_0}{B_1}$

– si $B_0 < B_1 : \dfrac{I}{N_0} = 0{,}04\ B_1$ y $B_2 = B_1$

por consiguiente: $\left(\dfrac{\Delta T}{T}\right)_N = 0{,}04 \cdot \dfrac{B_1}{B_2} = 0{,}04$

3.2.2 *Portadora interferente analógica*

– si $B_0 > B_1 : \dfrac{I}{N_0} = 0{,}04\ B_0$ y $\left(\dfrac{\Delta T}{T}\right)_N = 0{,}04 \cdot \dfrac{B_0}{B_2}$

– si $B_0 < B_1 : \dfrac{I}{N_0} = 0{,}04 \cdot \dfrac{B_0}{\alpha}$ y $\left(\dfrac{\Delta T}{T}\right)_N = 0{,}04 \cdot \dfrac{B_0}{\alpha B_2}$

4. Portadora deseada digital de banda ancha

La Recomendación 523 señala el siguiente criterio del CCIR: $\alpha\ I/N = 4\%$

4.1 *Portadora interferente digital*

– si $B_0 > B_1 : \alpha = 1$

entonces: $\dfrac{I}{N_0} = \dfrac{I}{N} \cdot \dfrac{N}{N_0} = \dfrac{I}{N} \cdot B_0 = 0{,}04\ B_0$ y $B_2 = B_1$

y en conclusión: $\left(\dfrac{\Delta T}{T}\right)_N = 0{,}04 \cdot \dfrac{B_0}{B_2} = 0{,}04 \cdot \dfrac{B_0}{B_1}$

– si $B_0 < B_1 : \alpha = B_0/B_1$

por consiguiente: $\dfrac{I}{N_0} = \dfrac{\alpha I}{N} \cdot \dfrac{N}{N_0} \cdot \dfrac{1}{\alpha} = 0{,}04\ B_0 \cdot \dfrac{B_1}{B_0} = 0{,}04\ B_1$ y $B_2 = B_1$

y en conclusión: $\left(\dfrac{\Delta T}{T}\right)_N = 0{,}04 \cdot \dfrac{B_1}{B_2} = 0{,}04$

4.2 *Portadora interferente analógica*

– si $B_0 > B_1$: $\alpha = 1$

por consiguiente: $\frac{I}{N_0} = \frac{I}{N} \cdot \frac{N}{N_0} = 0{,}04\, B_0$ y $\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_N = 0{,}04 \cdot \frac{B_0}{B_2}$

– si $B_0 < B_1$: $\frac{I}{N_0} = \frac{\alpha I}{N} \cdot \frac{N}{N_0} \cdot \frac{1}{\alpha} = 0{,}04 \cdot \frac{B_0}{\alpha}$ y $\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_N = 0{,}04 \cdot \frac{B_0}{\alpha \cdot B_2}$

5. Portadora deseada TV-MF

De conformidad con la Recomendación 567, se debe verificar lo siguiente:

$$\frac{S}{N_{th}} \geqslant 53 \text{ dB durante el } 99\% \text{ del tiempo.}$$

La relación señal video de televisión a ruido, después de la demodulación, viene dada por:

$$10 \log \frac{S}{N_{th}} = 10 \log \frac{C}{N_0} + 20 \log \frac{r_1 \cdot \Delta F}{F_m} - 10 \log \frac{F_m}{3} + P + Q$$

ΔF: excursión de frecuencia a las frecuencias inferiores de la señal TV-MF (Hz)

F_m: frecuencia superior de banda de base (Hz) de la señal TV-MF,

P: preacentuación,

Q: ponderación,

r_1: relación señal video a señal de luminancia.

– Para un sistema de televisión 625/50:

$Q = 11{,}2$ dB $\quad P = 13$ dB $\quad r_1 = 0{,}714$

$P + Q = 24{,}2$ dB

por consiguiente: $C/N_0 = 10^{(53 - K_{TV})/10}$

donde: $K_{TV} = P + Q + 10 \log 3\, r_1^2 \cdot \frac{\Delta F^2}{F_m^3}$

$$= 24{,}2 + 10 \log 1{,}53 \cdot \frac{\Delta F^2}{F_m^3}$$

Se debe cumplir el criterio $10 \log C/\alpha I \geqslant 35$ dB

por consiguiente: $\frac{I}{N_0} = \frac{I}{C} \cdot \frac{C}{N_0} = \frac{1}{10^{3{,}5}} \cdot \frac{C}{N_0}$

– si $B_0 > B_1$: $\alpha = 1 \qquad \left(\frac{\Delta T}{T}\right)_N = \frac{C}{N_0} \cdot \frac{1}{10^{3{,}5}} \cdot \frac{1}{B_2}$

– si $B_0 < B_1$: $\left(\frac{\Delta T}{T}\right)_N = \frac{C}{N_0} \cdot \frac{1}{10^{3{,}5}} \cdot \frac{1}{\alpha \cdot B_2}$

ANEXO IV

ESTIMACIONES DE LA CAPACIDAD TEÓRICA DE LA ÓRBITA DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS BASADAS EN MODELOS DE INTERFERENCIA RADIOELÉCTRICA Y EXAMEN DE LOS FACTORES TÉCNICOS QUE INFLUYEN EN DICHA CAPACIDAD

1. Introducción

Este Informe contiene información sobre los diversos factores técnicos susceptibles de aumentar el número de satélites que utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios, en cualquier par de bandas de frecuencia, sin interferencias inaceptables. Este anexo ofrece una estimación cuantitativa de los beneficios que actualmente se consideran alcanzables mediante la aplicación de estas técnicas.

2. Definición de la capacidad

En el análisis de la capacidad orbital, hay dos factores que presentan interés: primero, aquellos que influyen en el número total de satélites que pueden tener cabida en la OSG, y segundo, los que repercuten en la utilización general de la anchura de banda espectral dentro de un solo satélite.

En este anexo sólo se trata el primero de estos factores, el número de accesos, ya que el segundo grupo, aun siendo importante, se relaciona primordialmente con las técnicas de modulación y generalmente no es considerado en las Recomendaciones.

3. Capacidad de acceso

El número máximo de reutilizaciones de frecuencias depende de varias tecnologías, cada una de las cuales influye sobre él de alguna manera, y mientras dichas tecnologías puedan perfeccionarse se podrá incrementar el número de reutilizaciones. Existen también técnicas de diseño que pueden contribuir al aumento en cuestión.

Las citadas tecnologías pueden agruparse en dos categorías relacionadas con la importancia de su influjo, mientras que las técnicas que condicionan el diseño del sistema representa una tercera categoría. Estas categorías son las siguientes:

Tecnología básica (influjo fuerte)

- características de radiación de las antenas del vehículo espacial,
- características de radiación de las antenas de la estación terrena,
- polarización.

Tecnología básica (influjo débil)

- límites del mantenimiento en posición,
- límites de puntería de la antena del vehículo espacial.

Técnicas (diseño del sistema)

- margen de interferencia (influjo medio a fuerte),
- tratamiento a bordo.

Estas tecnologías se basan en el soporte físico y sus mejoras dependen de la investigación y desarrollo, que avanza impulsada por las necesidades. Las técnicas incluyen un elemento material, el tratamiento a bordo, mientras que el margen de interferencia se basa en aspectos de explotación que afectan a la calidad obtenida.

4. Técnicas y tecnologías básicas

4.1 *Características de radiación de la antena del vehículo espacial*

La capacidad de utilizar la misma (o casi la misma) posición en la OSG para atender más de una zona de cobertura se ve limitada por la radiación de la antena del vehículo espacial fuera de la zona de cobertura, a través de los lóbulos laterales.

Al disminuir el nivel de radiación en la región de los lóbulos laterales en función del incremento del ángulo a partir del eje (llegando a reducirse suficientemente mediante el control de esos lóbulos laterales de la antena) puede utilizarse la misma frecuencia desde la misma posisión orbital para una segunda zona de cobertura. La fig. 9 ilustra el principio de este concepto: «*n*» satélites situados en la posición A (o un solo satélite con «*n*» haces) pueden utilizar una misma frecuencia para dar servicio a las «*n*» zonas de cobertura A, visibles desde esa posición. El valor de «*n*» viene establecido por la apertura angular (α) de las zonas de cobertura, supuesta uniforme para mayor sencillez, y por la consecución práctica de un decrecimiento de nivel de los lóbulos laterales suficiente para permitir la reutilización de la frecuencia en zonas de coberturas no adyacentes. Para estos fines, se supone que la polarización es idéntica.

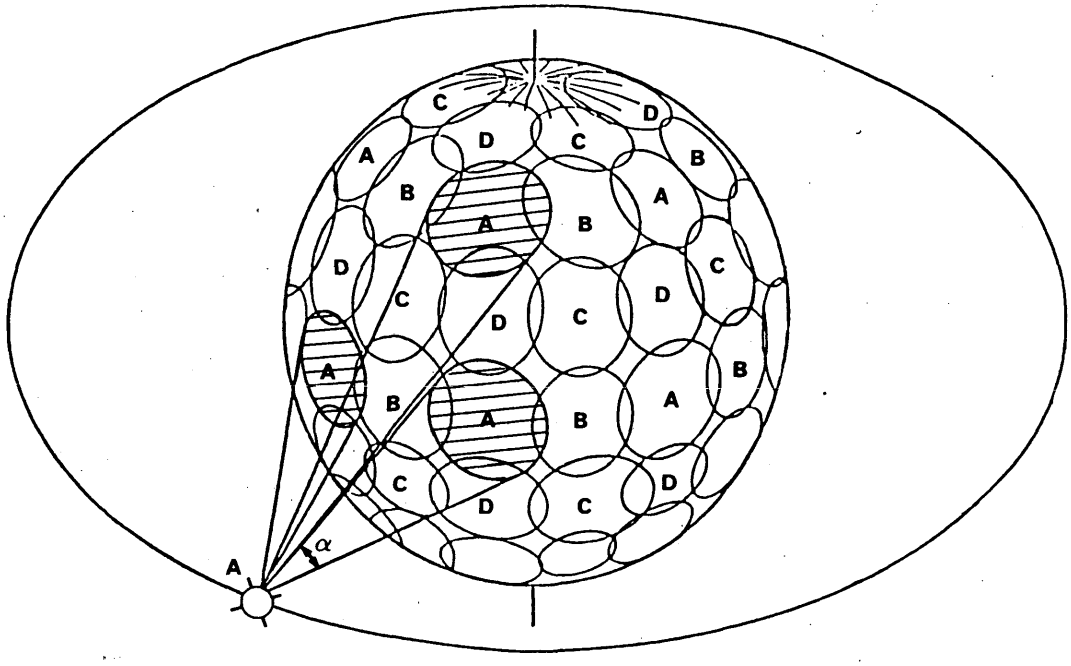


FIGURA 9 – *Reutilización de frecuencias desde una misma posición orbital*

Puede apreciarse que, cuanto más pequeñas sean las zonas de cobertura, mayor será el número de reutilizaciones que pueden conseguirse desde una sola posición. La fig. 10 representa esta relación general, indicando el notable influjo del nivel de los lóbulos laterales de la antena del vehículo espacial sobre la capacidad total de reutilización de frecuencias.

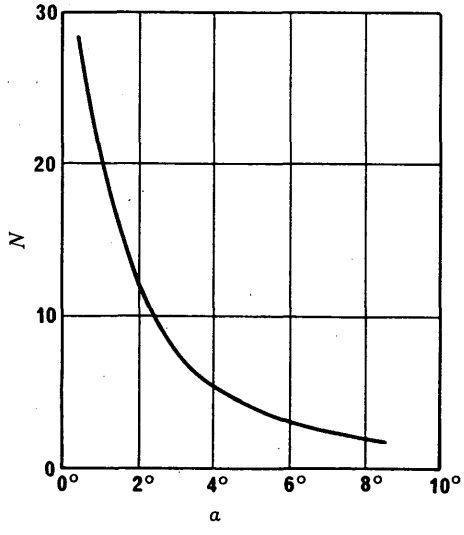


FIGURA 10 – *Efectos del aislamiento de la antena del vehículo espacial*

N: N.° de reutilizaciones de frecuencia desde una misma posición

α: Apertura angular de las zonas de cobertura

Existen límites prácticos a la reducción de tamaño de la zona de cobertura, impuestos por la relación D/λ de la antena, la cual, en las frecuencias inferiores, se verá restringida por el tamaño físico de la antena que puede lanzarse en un periodo concreto. También plantea un problema la necesidad de cubrir zonas más amplias, y zonas que tengan forma irregular en correspondencia con regiones geográficas reales.

La utilización de antenas de haz conformado se presenta como solución a este último problema, aunque su aplicación venga también limitada por los tamaños físicos de las antenas susceptibles de lanzamiento. Esta tecnología proporciona un buen control de los lóbulos laterales sin limitar el tamaño de la zona de cobertura. La tasa de decrecimiento de los lóbulos laterales es por consiguiente independiente de la zona de cobertura, y sólo depende de la relación D/λ de los haces elementales que constituyen el haz conformado. Para D/λ del orden de 32, los datos medidos que figuran en el Informe 558 indican que se consigue 30 dB de aislamiento desde el borde del haz a unos 3° aproximadamente a partir de dicho borde, para una antena cuya zona de cobertura subtienda ángulos de 1,5° a 8°. Aunque no pueda asegurarse que un aislamiento de 30 dB sea adecuado para todos los casos, es razonable intentar obtener este valor.

Suponiendo este grado de aislamiento, la superficie de la Tierra sería divisible en áreas de 30° × 30° (aproximadamente 3° × 3° vistas desde la OSG), obteniendo así un total de 60 de tales zonas en todo el mundo, de las que unos 2/3 contendrían tierra deshabitada. El número de tales sectores que podrían utilizar la misma posisión orbital sería de 5 por término medio, en una hipótesis conservadora. Sin considerar la utilización de las propiedades direccionales de las antenas de la estación terrena, que se examinan después, cada sector geográfico de 30° podría tener acceso exclusivo a unos 30° de la OSG que serían compartidos entre las zonas de cobertura comprendidas en ese sector. El número total de reutilización dependerá obviamente de la separación alcanzable entre satélites que atienden al mismo sector.

4.2 *Niveles de los lóbulos laterales de una antena de estación terrena*

La segunda de las tecnologías importantes de acceso está relacionada con los lóbulos laterales de la antena de la estación terrena. El número de reutilizaciones de frecuencia posibles desde una misma zona de cobertura viene impuesto por la mínima separación entre satélites, factible para conseguir un cierto nivel de interferencia. La fig. 11 ilustra este principio, y en ella la zona de cobertura «C» puede utilizar una misma frecuencia con los satélites «C», separados en la órbita por un ángulo de φ grados, visto desde la superficie terrestre.

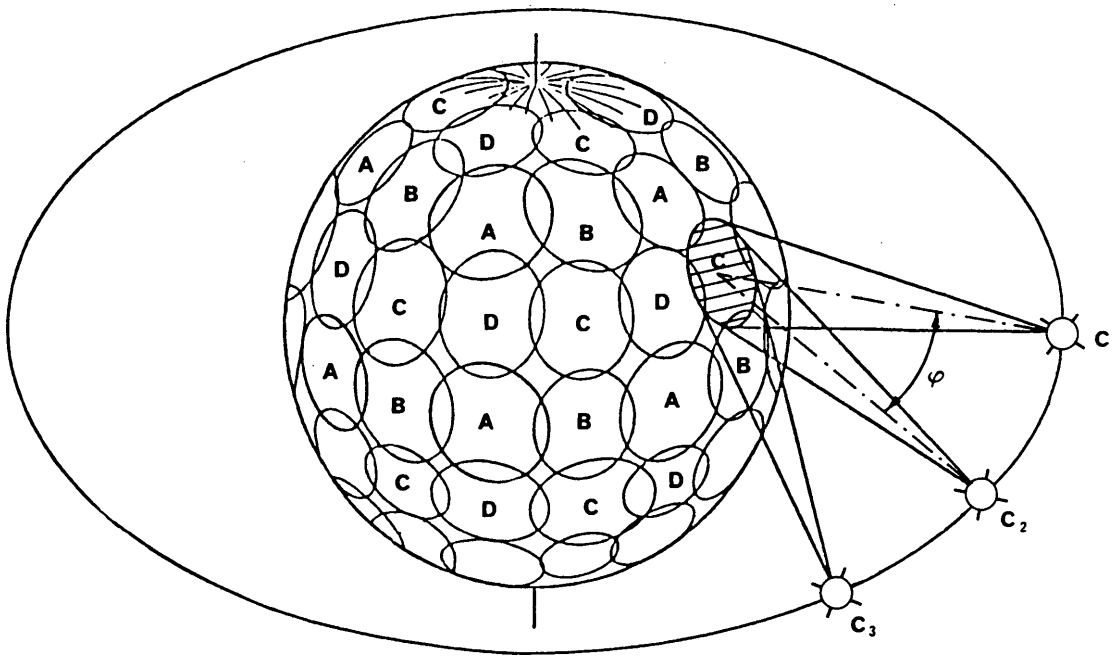


FIGURA 11 – *Reutilización de frecuencias desde una misma zona de cobertura*

Los niveles de lóbulos laterales de las antenas de una estación terrena no dependen excesivamente de las dimensiones físicas. Sin embargo, el control de lóbulos laterales por medio de las actuales tecnologías está sujeto a límites económicos prácticos. Es factible ya conseguir una envolvente normalizada que mejore alrededor de 3 dB la definida en la Recomendación 465 mediante antenas alimentadas simétricamente, en especial en la región de los lóbulos laterales cercanos ($<8°$). Utilizando alimentaciones descentradas, se ha demostrado una mejora ulterior de 10 dB e incluso más, aunque a expensas de aumentar los costos.

La aplicación práctica de los niveles de lóbulos laterales indicados en la Recomendación 465 suele dar lugar a unos 4° de separación de los satélites que atienden la misma zona geográfica, y de la mejora de 3 dB propuesta en la Recomendación 580 resultaría una reducción hasta 3° aproximadamente. Es probable que sea más difícil lograr ulteriores reducciones, aunque parece que utilizando tecnología de alimentación descentrada podrían alcanzarse valores cercanos a 1,5°.

La combinación del número de utilizaciones de la órbita que permite una separación de 3° con el número de reutilizaciones de cada posición orbital por medio de los diagramas de radiación de la antena del satélite tratados en el punto anterior, arrojaría en la práctica un total aproximado de unas 600 reutilizaciones en una sola polarización. El cuadro VI resume los posibles niveles de mejora en la reutilización de frecuencias sobre la base de la calidad de funcionamiento de la antena de la estación terrena y de las antenas de satélite en sus regiones de lóbulos laterales.

4.3 *Polarización*

La doble polarización puede duplicar de forma muy sencilla las posibilidades de reutilización y se está practicando actualmente en varias redes. En principio, esto puede duplicar todos los valores dados en el cuadro VI.

CUADRO VI – *Resumen de reutilizaciones de frecuencia (Una sola polarización)*

Dimensión de la cobertura vista desde el satélite (grados)	Separación entre satélites a lo largo del arco orbital (grados)	Número de reutilizaciones por banda (todos los sectores)	Número de reutilizaciones por banda (sectores que contengan tierra)
2 × 3	2	1350	900
	3	900	600
	4	675	450
3 × 3	2	900	600
	3	600	400
	4	450	300

4.4 *Mantenimiento en posición*

La práctica usual es mantener la posición Este-Oeste dentro de ± 0,1°, aunque sea factible reducir este margen a alrededor de ± 0,01°, con algún costo adicional. El influjo de tal mejora es pequeño, dado que se necesita una separación básica entre satélites por lo menos de 1° para atender a una zona de servicio común.

4.5 *Precisión de puntería de la antena del satélite*

Actualmente está relacionada con la anchura del haz, y se expresa como porcentaje de la misma; sin embargo, al extenderse el uso de haces conformados, la precisión tendrá que relacionarse con la separación angular de las zonas de cobertura, puesto que el ancho del haz no tendrá ya significado. En tanto que la precisión de puntería sea solamente una fracción muy pequeña de la separación, el influjo de mejoras muy apreciables será reducido.

4.6 *Margen de interferencia*

Al admitirse el aumento de interferencia entre redes, puede incrementarse el número de accesos a expensas de alguna reducción en capacidad por acceso. Con los niveles actuales (600 pW0p para interferencia de una sola fuente, 2000 pW0p para la total), es posible conseguir alguna mejora adicional aumentando el margen de interferencia, aunque todo aumento superior a 3 dB en el nivel producido por una sola fuente, o de 1 dB en la interferencia total, repercutirá ocasionando una rápida disminución. Se puede obtener un modesto incremento en la capacidad de acceso del orden del 20%, aumentando hasta 1000 pW0p el nivel de interferencia producida por una sola fuente y hasta 2500 pW0p la interferencia total.

4.7 *Tratamiento a bordo*

Un tratamiento a bordo del satélite por demodulación/regeneración/modulación desacopla eficazmente los ruidos en el enlace descendente y en el ascendente, y ayuda a reducir al mínimo las degradaciones de la señal producidas por amplificadores no lineales en cascada y filtros limitadores de banda en la cadena de transmisión de extremo a extremo. El efecto neto es el de permitir más reutilizaciones de frecuencia al reducir la separación mínima necesaria entre satélites. La regeneración a bordo típicamente suele elevar en un 60% el número de reutilizaciones.

4.8 *Modulación y codificación*

En este campo la tecnología progresa con rapidez, prometiendo aumentar sustancialmente a corto plazo la capacidad de cursar tráfico de la OSG.

Algunos de los avances resultan de mejoras introducidas en el sistema telefónico total, incluyendo el encaminamiento por trayectos terrenales, mientras que otros se han desarrollado específicamente para sistemas espaciales. Ejemplos de los primeros son la modulación digital y la interpolación de voz; de los últimos, las mejoras en linealidad de transpondedores y de aislamiento entre sistemas. Todos ellos, separados o en conjunto, contribuyen a introducir planes de modulación y de acceso múltiple más eficaces en cuanto a la anchura de banda, que a su vez determinan una mayor capacidad por transpondedor.

4.9 *Linealización de los transpondedores*

Operando en el modo de acceso múltiple, la linealización del amplificador de potencia del transpondedor hace posible operar más cerca de la saturación (típicamente con una reducción de potencia de 3 dB respecto a saturación) para obtener una característica dada de portadora/ruido de intermodulación, con el correspondiente aumento en el número de portadoras amplificadas simultáneamente que pueden tener cabida en un solo transpondedor. Esta técnica es también apropiada para el caso de portadora única, y suelen estimarse en un 30% las mejoras de capacidad alcanzables.

4.10 *Compensación de las interferencias*

Aunque esta tecnología no se utilice ahora generalmente, a largo plazo puede permitir el uso de estaciones terrenas en situaciones especialmente difíciles. Si bien existen dificultades técnicas asociadas con el desarrollo y uso de esta tecnología y cuyas implicaciones sobre el costo no se conocen bien todavía, se ha demostrado su viabilidad en casos especiales. El desarrollo futuro de equipos de bajo costo puede permitir la aplicación general de esta técnica.

Los compensadores pueden dividirse en dos grupos: pasivos y activos. Los primeros tienen posibilidad de conseguir ventajas en bandas anchas a bajo costo, pero requieren un considerable desarrollo de las técnicas de microondas. Si la compensación se aplica a la antena de una estación terrena, en principio pueden obtenerse importantes mejoras en sectores de abertura angular reducida.

La segunda técnica de compensación se basa en los componentes activos y su costo actual es generalmente elevado. Se ha demostrado que aporta grandes mejoras, aunque en anchos de banda reducidos, para fuentes de interferencia separadas.

La compensación de interferencias es una tecnología cuyo desarrollo debe estimularse, con el fin de determinar su factibilidad en extensas aplicaciones y de obtener estimaciones más certeras de su influjo en el costo.

5. Bandas de frecuencias aplicables

La capacidad básica de la OSG para satélites de telecomunicación está directamente relacionada con la anchura de banda atribuida. Los análisis y evaluaciones realizados sobre tal capacidad se han dirigido predominantemente a dos conjuntos de bandas de frecuencias: 6/4 GHz y 14/11 GHz; ello es un exponente de que en esas frecuencias se ha centrado el principal desarrollo tecnológico.

Como resultado, en los análisis llevados a cabo se han obtenido informaciones más fiables, aptas para ser utilizadas. Pese a lo expuesto, las metodologías para determinar la capacidad de satélites del SFS en estas bandas de frecuencias son también aplicables a otras bandas de frecuencia del mencionado servicio. En particular, se proyecta utilizar las bandas 30/20 GHz a fines de esta década o durante la próxima. Se podrá evaluar la capacidad orbital en estas bandas con más precisión cuando se definan claramente las características de estos sistemas.

6. Estimaciones del número total de satélites y reutilizaciones de frecuencia que pueden acomodarse en la OSG

Se puede estimar la posibilidad de reutilización de frecuencia de la OSG sobre la base de la información ofrecida más arriba y demás información disponible. En dos estudios independientes, que se describen a continuación, se proporcionan estimaciones del número total de satélites que podrían acomodarse en la OSG.

6.1 *Modelo de optimización de las posiciones de satélite, con referencia a la distribución geográfica de las zonas de servicio*

Se pueden colocar dos satélites muy cerca uno del otro merced a la discriminación proporcionada por las antenas de haz puntual de satélite. Mediante un programa por computador para la optimización de las posiciones de satélite, se puede determinar una disposición óptima de los satélites, y utilizarla para reducir el arco orbital total empleado [Hatsuda y Murotani, 1979; Hatsuda, 1982].

A manera de ejemplo, se calculó el arco orbital total exigido para acomodar 8 satélies con las zonas de servicio que se muestran en la fig. 12. Se supone que estos sistemas de satélites son homogéneos en sus parámetros técnicos, que se enumeran en «el modelo de referencia» del cuadro VII.

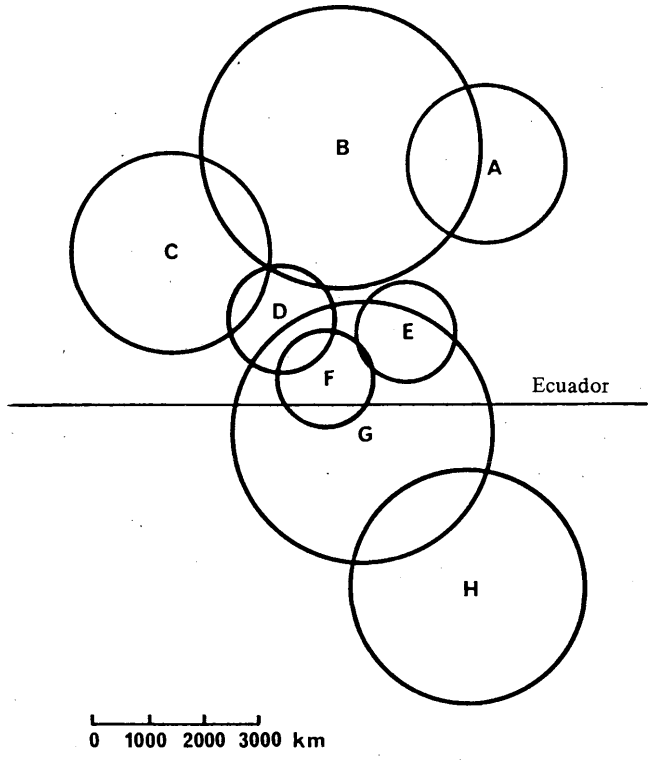
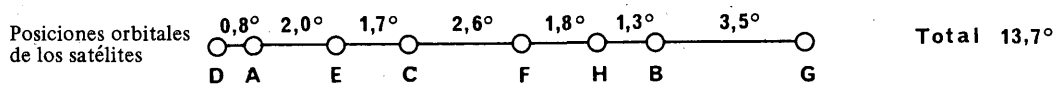


FIGURA 12 – *Ejemplo de ocho zonas de servicio diferentes (bandas de 6/4 GHz)*



CUADRO VII – *Ejemplo de cálculo de la capacidad de la órbita*

Elemento	
1. Método de cálculo	Disposición óptima sobre la base de la distribución de las zonas de servicio
2. Modulación	Telefonía AMDT
3. Diagrama de lóbulos laterales de la antena de la estación terrena	$G(\theta) = 32 - 25 \log \theta$
4. Diámetro de la antena de estación terrena	7,5 m
5. Nivel de lóbulos laterales de la antena de satélite	Fig. 10 del Informe 558, con una meseta a −20 dB
6. Precisión de mantenimiento en posición del satélite (μ)	$\mu = \pm 0{,}1°$
7. Precisión de puntería de la antena de satélite (ε)	$\varepsilon = \pm 0{,}1°$
8. Conformación del haz	Haz circular
9. Margen de lluvia	Se emplea para las bandas de 14/11 GHz y 30/20 GHz
10. Relación *C/I*	30 dB

Los procedimientos de cálculo son los siguientes:

- se determina el factor de reducción de la interferencia causada por la separación entre los haces de la antena de satélite a partir de la extensión de las zonas de servicio o de la distancia entre las zonas de servicio;
- se determina la matriz de separación orbital entre satélites exigida para las 8 zonas de servicio;
- se calcula la disposición óptima de los satélites y el arco orbital total necesario mediante el programa de optimización.
- se efectúan cálculos con y sin polarización ortogonal.

La fig. 12 muestra también para las bandas 6/4 GHz, la disposición óptima de las posiciones en el caso de utilización de la misma polarización para todas las redes de satélite. Teniendo en cuenta la tolerancia supuesta de mantenimiento en posición, la separación media es de unos 2°, y suponiendo que este valor es válido para la órbita completa, sería posible acomodar un total de 170 satélites (o 170 reutilizaciones de frecuencia), como se muestra en el cuadro VIII.

CUADRO VIII – *Total de satélites y de reutilizaciones de frecuencia*

Bandas de frecuencias (GHz)	Número de satélites	Número de reutilizaciones de frecuencia
6/4	170	170
14/11	400	880
30/20	670	1870
Totales	1240	2920

Se utilizó el mismo modelo geográfico para las bandas 14/11 GHz y 30/20 GHz, aunque en estos casos la reutilización de frecuencia dentro de las zonas de cobertura se obtuvo utilizando múltiples haces puntuales de satélite y los mismos parámetros del cuadro VII. Se obtuvo una media de dos reutilizaciones de frecuencia por zona de cobertura en 14/11 GHz y una media de tres en 30/20 GHz. Las separaciones entre satélites se reducen en 14/11 GHz a menos de la mitad de la separación en 6/4 GHz y a alrededor de un cuarto en 30/20 GHz.

Los resultados globales se resumen en el cuadro VIII, que indica los números totales de satélites y reutilizaciones de frecuencias obtenidos con este modelo concreto. Los números totales pueden duplicarse utilizando doble polarización y pueden conseguirse aumentos aún mayores utilizando antenas de estación terrena conformes con la Recomendación 580. También parece posible aumentar los valores, en 6/4 GHz en particular, mediante el uso de antenas de satélite de haz conformado para las zonas de cobertura más grandes.

6.2 *Estimaciones basadas en el Plan de la CARR SAT-83*

La estimación de la capacidad orbital del servicio fijo por satélite (SFS) puede basarse en los resultados del Plan del servicio de radiodifusión por satélite (SRS) en la Región 2 en 1983 (CARR SAT-83). Este Plan intentaba dar cabida a todas las necesidades reconocidas, y de tal manera que la capacidad orbital asignada se elevara al máximo en cada una de las posiciones orbitales aceptables, manteniendo al mismo tiempo flexibilidad suficiente para realizar en el futuro sistemas diferentes.

Un parámetro importante que puede deducirse del Plan de la CARR SAT-83 es el factor de reutilización de frecuencias, el cual se basa en las características geográficas y en la antena del vehículo espacial que han de utilizarse en dicho Plan. Dicho factor es la relación de la capacidad de canales que se deduciría del Plan a la capacidad de canales que existiría si se mantuviera una separación uniforme entre los satélites. En el caso del Plan ya mencionado existen 1144 asignaciones de canales dentro del arco orbital, sin considerar las asignaciones a múltiples zonas de servicio. Sin embargo, si se supone una separación de satélites uniforme de 9°, sólo serían posibles 15 satélites o reutilizaciones de frecuencia, es decir, 480 canales. Por lo tanto, el factor de reutilización de frecuencia geográfico/vehículo espacial sería 1144/480, o sea 2,4.

Suponiendo que tales resultados pueden extrapolarse al SFS para diversas separaciones orbitales entre satélites que atienden arcos de servicio similares, el citado factor de reutilización de frecuencia de 2,4 daría los resultados del cuadro IX. Por ser menor la posibilidad de emplear haces estrechos en las bandas 6/4 GHz, que en la de 17/12 GHz, es posible que tienda a *reducirse* este factor cuando se aplica al SFS en las bandas 6/4 GHz. No obstante, en el SFS no existe ninguna limitación que impida utilizar aquella parte del arco en la que los eclipses equinocciales suceden antes de la medianoche local. Esto *aumentaría* la capacidad por encima del equivalente de la disponible en el Plan de la CARR SAT-83. Dado que los dos factores tienden a compensarse, y puesto que no se disponía de más información, se utilizó la cifra 2,4 como valor «nominal» con estimaciones de valores superior e inferior a 2 y 3, respectivamente.

En el cuadro IX se ofrecen estimaciones de valores superior, nominal e inferior de la primera capacidad orbital de la Región 2 en las bandas 6/4 GHz, y luego se espera que en la Región 2 se utilice una capacidad global que abarque los 360° completos del arco basada en una extrapolación simple de la capacidad de la órbita.

Deben extremarse las precauciones al extrapolar los resultados del Plan del SRS al SFS. Sin embargo, si se pueden emplear los parámetros generalizados (véase el anexo III a este Informe), los resultados pueden ser aplicables.

CUADRO IX – *Estimaciones de la capacidad de la órbita para el SFS en las bandas 6/4 GHz en el Plan de la CARR SAT-83*

Parámetro	Valor superior	Valor nominal	Valor inferior
Separación nominal en el SFS	2°	3°	4°
Límite del arco occidental, Región 2	150° W	145° W	140° W
Límite del arco oriental, Región 2	10° W	20° W	30° W
Anchura de arco, Región 2	140° W	125° W	110° W
Factor geográfico	3	2,4	2
Número de satélites, Región 2	210	103	56
Estimación global	540	296	183

7. Resumen

Aunque esta tentativa de cálculo de la capacidad orbital utilice conceptos algo simplificados, sus resultados siguen siendo útiles por caracterizar las posibilidades actuales y señalar las provechosas tecnologías que hay que desarrollar con el mayor interés para garantizar que la OSG continúe siendo capaz de satisfacer las necesidades del futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HATSUDA, T. y MUROTANI, M. [junio de 1979] The effects of the geographical distribution of service areas on the geostationary satellite orbit utilization. *Trans. Inst. Electron. Comm. Engrs. Japan*, Vol. 62-B, **6**, 519-526.

HATSUDA, T. [mayo de 1982] Estimation of transmission capacity of geostationary satellite orbit as influenced by technical parameters. Proc. 13th International Symposium on Space Technology and Science, 817-819.

INFORME 1000

METODOLOGÍAS DE UTILIZACIÓN DEL ESPECTRO

(Programa de Estudios 28A/4)

(1986)

1. Introducción

Se considera que la metodología de utilización de una banda de frecuencias permite reducir la inhomogeneidad entre redes en el plano de la frecuencia. Cuanto más heterogéneos son los tipos de portadoras, más complejo es el procedimiento de coordinación y mayor resulta la separación necesaria entre redes.

En este sentido, se han estudiado diversos métodos de utilización del espectro. Para cada método se efectúa:

- un análisis de su aplicación en la práctica;
- un análisis de sus ventajas e inconvenientes desde el punto de vista de sus repercusiones en los sistemas existentes y proyectados.

2. Metodologías relativas a la segmentación de las bandas

La segmentación del espectro puede efectuarse de diversas maneras. El primer método se denomina macro-segmentación y consiste en la división de las bandas de frecuencias en grandes bloques; típicamente con las anchuras de banda de muchos transpondedores se obtienen solo unos pocos segmentos. Para caracterizar a cada uno de los segmentos pueden utilizarse dos técnicas diferentes, una basada en la clasificación de las portadoras, y la otra, en los valores de los parámetros; en cada caso pueden utilizarse diferentes conjuntos de reglas.

El segundo método se denomina micro-segmentación. Consiste en la división en pequeños bloques, típicamente de la anchura de banda de un transpondedor.

2.1 *Macrosegmentación por el procedimiento de clasificación de las portadoras*

Se identifican tipos normales de portadoras y se definen diversas clasificaciones. En el cuadro I se observa cómo pueden identificarse e incluirse en una de las tres categorías consideradas 50 portadoras diferentes.

Las portadoras se han clasificado en 3 categorías:

- portadoras de elevada densidad: TV-MF; y
  MDF-MF de bajo índice de modulación.
- portadoras de baja capacidad: SCPC; y
  portadoras digitales y analógicas de baja capacidad o baja potencia.
- portadoras medias: MDF-MF de índice de modulación medio a elevado;
  AMDT; y
  portadoras digitales de banda ancha.

Las portadoras medias son compatibles con uno u otro de los dos tipos precedentes por lo que respecta a las interferencias mutuas. En consecuencia, únicamente los dos primeros tipos de portadoras (de elevada densidad y de baja capacidad) deberían separarse según las reglas de utilización racional del espectro; las portadoras medias podrían situarse en cualquier lugar. A tal efecto, la banda atribuida (en general con una anchura de 500 ó 250 MHz) se divide en sub-bandas de baja capacidad y sub-bandas de elevada densidad. Esta división podría realizarse adjudicando las partes inferiores de la anchura de banda atribuida, a las portadoras de baja capacidad y las partes superiores, a las de elevada densidad y sólo podrían utilizar cada sub-banda las portadoras de la clase asignada. La determinación de las modalidades óptimas de segmentación depende de las bandas de frecuencia consideradas.

Por ejemplo, puede utilizarse la disposición siguiente:

Sub-banda (MHz)	*Clase*
4500 a (4500 + *X*)	Baja capacidad
(4500 + *X*) a (4500 + *Y*)	Portadoras medias junto con portadoras de capacidad baja y capacidad elevada no superpuestas
(4500 + *Y*) a 4800	Elevada densidad

Si bien la utilización de una sub-banda neutra proporciona cierta flexibilidad para hacer frente a pequeños desequilibrios del tráfico con respecto a las categorías, este método presenta el gran inconveniente de su rigidez. Si en los sistemas existentes hubiera que proceder a la reubicación de las portadoras en las sub-bandas apropiadas, esto representaría un problema en algunos sistemas, ya que podrían existir grandes limitaciones, bien del equipo, o bien de anteriores arreglos de coordinación.

La rigidez de este método podría reducirse permitiendo a las redes utilizar cualquier sub-banda para cualquier tipo de portadora pero siguiendo una estructura de utilización correspondiente a las clasificaciones de uso. Para el ejemplo anterior, el orden de utilización seguiría el orden de frecuencias crecientes para el caso de portadoras de baja capacidad y el de frecuencias decrecientes para el de portadoras de elevada densidad. En caso de que, debido a ello, surjan dificultades entre redes, tendrán preferencia las portadoras correspondientes a la clasificación de sub-bandas, si las dificultades no pudieran resolverse de otra manera.

Cualquiera que sea la regla que se utilice, este método general tiene limitaciones en los casos en que existe un alto grado de desequilibrio del tráfico dentro de una red de satélites con respecto a las clasificaciones de las portadoras que se han identificado. Por ejemplo, en Canadá y en los Estados Unidos, varias redes tienen sólo portadoras de densidad elevada (TV-MF). También se realizan actualmente redes que sólo llevan portadoras de baja capacidad. En ambos casos, el único recurso será la separación orbital.

Otra limitación se refiere a las situaciones en las que las administraciones necesitan portadoras de elevada y baja densidad, pero con necesidades de frecuencia totales correspondientes a un solo transpondedor. A estas administraciones tal vez no les sea posible utilizar eficazmente el transpondedor si se exige el cumplimiento de normas de este tipo.

CUADRO I – *Macrosegmentación por el procedimiento de clasificación de las portadoras*

MDF-MF N.º	Tipo		N/V	B_{oc} (MHz)	$f_{mín}$ (kHz)	$f_{máx}$ (kHz)	Δf_{st} (kHz)	Δf_m (kHz)	Categoría de las portadoras		
									FC	M	HD
1	12	1,3	12	1,13	12,0	60,0	108,5	159,0	x		
2	12	2,5	12	2,2	12,0	60,0	238,9	350,0	x		
3	24	2,5	24	1,96	12,0	108,0	163,4	275,0		x	
4	60	2,5	60	2,25	12,0	252,0	136,5	276,0		x	
5	72	2,5	72	2,25	12,0	300,0	124,5	261,0		x	
6	60	5,0	60	3,96	12,0	252,0	270,1	546,0		x	
7	132	5,0	132	4,45	12,0	552,0	223,5	529,0		x	
8	192	5,0	192	4,51	12,0	804,0	180,0	459,0		x	
9	96	7,5	96	5,87	12,0	408,0	359,8	799,0		x	
10	192	7,5	192	6,40	12,0	804,0	297,2	758,0		x	
11	252	7,5	252	6,74	12,0	1052,0	259,7	733,0		x	
12	132	10,0	132	7,50	12,0	552,0	430,0	1020,0			x
13	252	10,0	252	8,49	12,0	1052,0	357,4	1009,0			x
14	312	10,0	312	8,96	12,0	1300,0	320,0	1005,0			x
15	252	15,0	252	12,39	12,0	1052,0	576,4	1627,0			x
16	432	15,0	432	12,95	12,0	1796,0	400,2	1479,0			x
17	432	20,0	432	17,99	12,0	1796,0	615,8	2276,0			x
18	612	20,0	612	17,70	12,0	2540,0	453,7	1996,0			x
19	432	25,0	432	20,59	12,0	1796,0	727,3	2688,0			x
20	792	25,0	792	22,34	12,0	3284,0	498,4	2494,0			x
21	972	25,0	972	25,00	12,0	4028,0	410,0	2274,0			x
22	972	36,0	972	35,99	12,0	4028,0	796,7	4417,0			x
SCPCA N.º	Tipo			B_{oc} (kHz)	$f_{mín}$ (kHz)	$f_{máx}$ (kHz)	Δf (kHz)				
23	0,020			20,0	0,3	3,4	5,8		x		
24	0,025			25,0	0,3	3,4	12,0		x		
25	0,030			30,0	0,3	3,4	8,5		x		
26	0,090			90,0	0,3	3,4	3,4		x		
27	0,180			180,0	0,3	3,4	3,3		x		
SCPCN N.º	Tipo		N/E	B_{oc} (kHz)	Velocidad binaria (kbit/s)						
28	0,064		4	38,0	64,0				x		
29	0,085		4	50,0	85,0				x		
30	0,128		4	150,0	128,0				x		
31	0,256		4	300,0	256,0				x		
32	0,502		4	600,0	512,0				x		
NUM-LB N.º	Tipo		N/E	B_{oc} (MHz)	Velocidad binaria (Mbit/s)						
33	2Q		4	1,44	2,048					x	
34	3Q		4	1,84	3,072					x	
35	4Q		4	2,25	4,096					x	
36	8Q		4	5,0	8,448					x	
37	10Q		4	5,0	10,0					x	
38	17Q		4	10,2	17,0					x	
39	25Q		4	18,0	24,6					x	
40	34Q		4	20,6	34,368					x	
41	40Q		4	20,0	40,0					x	
42	50Q		4	25,6	50,0					x	
43	120Q		4	75,0	120,0					x	
44	139Q		4	82,0	139,264					x	
45	147Q		4	110,0	147,0					x	
TV-MF N.º	Tipo	Δf (MHz)		B_{oc} (MHz)	Δf_{pm} (MHz)	Δf_{pnm} (MHz)	f_{bal} (Hz)				
46	TV.17	4,75		17,5	1,0	2,0	60/30				x
47	TV.20	4,8		20,0	1,0	2,0	50				x
48	TV.30	6,2		30,0	2,0	4,0	50				x
49	TV.35	5,0		30,0	2,0	4,0	50/25				x
50	TV.36	11,0		32,0	1,0	2,0	50				x

SCPCA: SCPC (analógico)
SCPCN: SCPC (digital)
NUM-LB: Digital, banda ancha
N/V: N.º de canales
N/E: N.º de estados
B_{oc}: Anchura de banda ocupada
Δf: Excursión de frecuencia

Δf_{pm}: Excursión de frecuencia (portadora modulada)
Δf_{pnm}: Excursión de frecuencia (portadora no modulada)
f_{bal}: Frecuencia de barrido
Δf_{st}: Excursión de frecuencia (señal de prueba)
Δf_m: Excursión de frecuencia (señal múltiplex)
F C: Baja capacidad
M: Portadora media
H D: Elevada densidad

2.2 *Macrosegmentación por el método del valor de los parámetros*

Se ha estudiado un método diferente para la determinación de los segmentos de sub-bandas basado en límites de valores específicos de parámetros tales como la p.i.r.e de la estación terrena, tipo de modulación, anchura de banda de la portadora y diversas combinaciones de los parámetros A, B, C y D [Mizuno y otros, 1984].

Los resultados del análisis demuestran que la división de las bandas 6/4 GHz en dos segmentos reduce a la mitad la separación de satélites requerida, con respecto al caso en que la banda no se ha dividido. El análisis demuestra también que pueden lograrse las mejoras más importantes en cuanto a anchura de banda de la portadora, p.i.r.e. en el enlace ascendente y p.i.r.e. en el enlace descendente. La fig. 1 muestra algunos resultados.

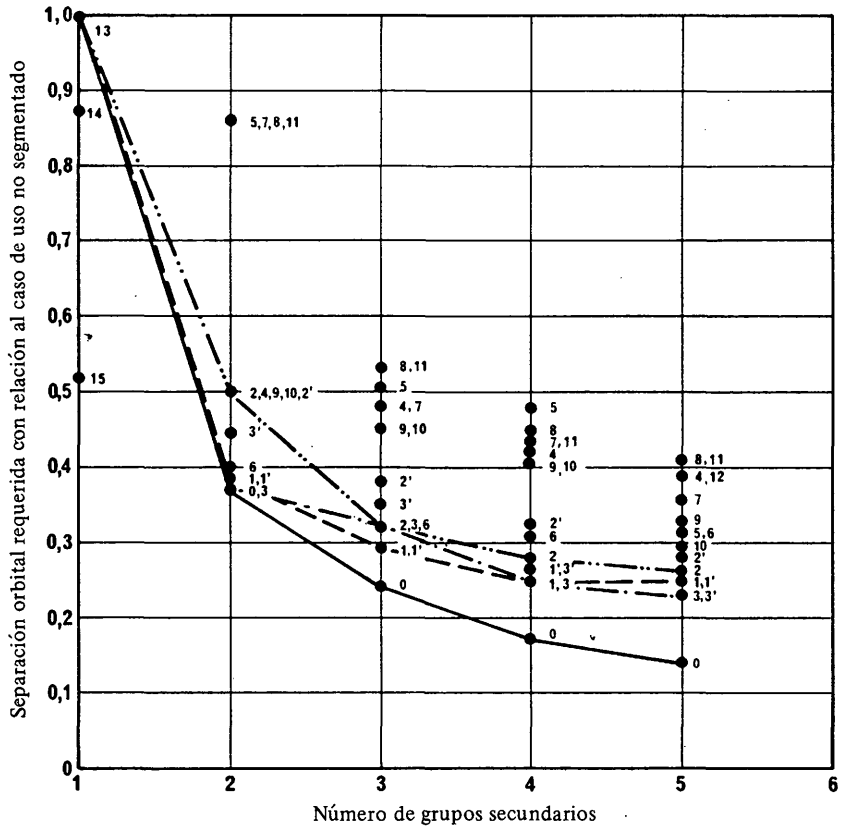


FIGURA 1 – *Separación requerida entre satélites en las bandas en 6/4 GHz (excluyendo las consideraciones sobre multihaces)*

0 Óptimo ———————
1 Anchura de banda _ _ _ _ _ _ _ _
2 p.i.r.e. del enlace ascendente _ . . _ . . _
3 p.i.r.e. del enlace descendente _ . _ . _
4 Parámetro A
5 Parámetro B
6 Parámetro C
7 Parámetro D
8 A/B
9 C/D
10 Máx. (A/B, C/D)
11 Mín. (A/B, C/D)
12 Tipo de modulación
13 Sin segmentación
14 Excluyendo la coexistencia de TV-MF y SCPC-MDP
15 Excluyendo la coexistencia de TV-MF y (SCPC-MDP o SCPC-MF)

El signo de prima indica que las p.i.r.e. de las portadoras de INTELSAT son máximas.

Desde el punto de vista de la influencia de ambos procedimientos, (clasificación de las portadoras y método del valor de los parámetros) en los sistemas existentes y proyectados, todo procedimiento de segmentación llevará consigo una reordenación de las portadoras en los sistemas. Ello puede resultar de difícil realización especialmente en satélites complejos de haces múltiples en los que la ubicación de las portadoras se funda en complicadas consideraciones relacionadas con la cobertura y la conectividad. Si, en tales casos, se aplicaran procedimientos estrictos de segmentación de las bandas, podría perfectamente verse reducida la eficacia de utilización del recurso espectro órbita.

2.3 *Microsegmentación*

Con arreglo a este método, se considera la subdivisión en anchuras de banda del orden de un transpondedor. Se emplea un sistema de clasificación de las portadoras de tal manera que las sub-bandas se identifican para la utilización con portadoras de elevada densidad y para evitar portadoras de baja capacidad. A diferencia de la macrosegmentación, las sub-bandas se identifican con relación a la anchura de banda de un transpondedor (por ejemplo, 36 MHz) y no con referencia a toda una banda de frecuencias (por ejemplo, 500 MHz).

Por ejemplo, si se consideran anchuras de banda de tranpondedor de 36 MHz, se identificarán las sub-bandas, como se indican a continuación, donde f_0 es la frecuencia central del transpondedor y X será un limite de banda que debe determinarse; un valor de 1 a 2 MHz de anchura de banda daría cabida a la mayoría de las portadoras de elevada densidad.

Sub-banda (MHz)	*Clasificación de las portadoras*
$(f_0 - X)$ a $(f_0 + X)$	Densidades elevada y media
$(f_0 + X)$ a $(f_0 + 36)$	Capacidades media y baja
$(f_0 - 36)$ a $(f_0 - X)$	Capacidades media y baja

Este método se utiliza ya en la práctica en varias redes. Las frecuencias centrales del transpondedor se evitan en muchos casos en la elaboración de planes de asignación de frecuencias para portadoras SCPC. Desequilibrios de tráfico entre portadoras de baja capacidad y elevada densidad no impiden la realización de este método.

Una dificultad estriba en la falta de normalización de los planes de frecuencias y anchuras de banda de los transpondedores. En el servicio fijo por satélite a 6/4 GHz predominan anchuras de banda de transpondedor de 36 y 72 MHz. A 14/12 GHz se utilizan en las redes de satélite anchuras de banda de 36, 43, 54 y 72 MHz. Por consiguiente, la micro-segmentación a priori dentro de un transpondedor específico será de utilidad limitada si el satélite adyacente utiliza una anchura de banda de transpondedor diferente.

3. Otras metodologías

3.1 *Armonización de la utilización del espectro*

En lugar de la segmentación, sería posible contemplar una utilización armoniosa del espectro siguiendo la regla siguiente:

> Las frecuencias de las portadoras de TV y de elevada densidad pueden ocupar la banda de frecuencias atribuida desde la parte superior hacia abajo, mientras que las portadoras SCPC y de baja capacidad irían desde la parte inferior hacia arriba, o viceversa, dependiendo del margen de frecuencias considerado. Se simplificarían así en muchos casos los problemas y se evitaría una utilización rígida. Este procedimiento podría establecerse como orientación.

No obstante, al igual que la macrosegmentación, este método no ofrece soluciones cuando se presenta un gran desequilibrio del tráfico.

3.2 *Utilización flexible*

Según este método, las inhomogeneidades entre los planes de frecuencia de satélites adyacentes se examinarían durante la fase de coordinación siguiendo el criterio de no situar portadoras SCPC en las proximidades o en las mismas frecuencias que portadoras de TV-MF, dentro de la banda de dispersión de energía que se indica en el punto 2.3.

4. Resumen

Pueden formularse las observaciones siguientes:

- Incluso sin una segmentación estricta, puede mejorarse considerablemente la eficacia de utilización de la órbita evitando asignar cofrecuencias a las portadoras TV-MF y SCPC. Esto puede lograrse en la práctica atribuyendo a la TV y a SCPC segmentos separados con arreglo a disposiciones flexibles, aunque hay que señalar que, para las administraciones que sólo requieren poco tráfico, ello puede dar lugar a una utilización ineficaz del segmento espacial.
- Todo sistema rígido de segmentación entrañará más inconvenientes que beneficios.
- Convendría elaborar orientaciones conducentes a una utilización armoniosa, en particular para las bandas de frecuencia que actualmente están poco utilizadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MIZUNO, T., PRASANNA, S., MURATANI, T., OHKAWA, M. y MIZUIKE, T. [26-29 de noviembre de 1984] Frequency band segmentation as a means of increasing efficient use of the geostationary satellite orbit. IEEE Global Telecommunications Conference. (GLOBECOM'84), Atlanta, Georgia, Estados Unidos de América, Conf. Record, Vol. 1, 4.3.1-4.3.5.

INFORME 1001

LÍMITES DE DENSIDAD DE LA p.i.r.e. FUERA DEL EJE PARA ESTACIONES TERRENAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Programa de Estudios 28A/4)

(1986)

1. Introducción

La interferencia producida por un transmisor de estación terrena en los receptores de satélite de otras redes puede relacionarse directamente con la densidad de la p.i.r.e. espectral fuera del eje de la antena de la estación terrena interferente. Es función no sólo de las características de los lóbulos laterales de la antena de la estación terrena sino del nivel de potencia del transmisor y de su densidad espectral, que a su vez está influida por el diseño global del sistema de satélites.

La determinación de un límite recomendado para la densidad espectral de p.i.r.e. fuera del eje del haz principal puede abordarse desde una doble perspectiva:

- limitación del nivel de interferencia causada a otro satélite, teniendo especialmente en cuenta la interferencia producida en las redes cuyas estaciones terrenas están dotadas de grandes antenas;
- determinación de la p.i.r.e. dentro del eje del haz principal que deben tener las estaciones terrenas, especialmente aquellas que tienen antenas relativamente pequeñas, y examen de la ganancia previsible dentro y fuera del eje del haz principal de dichas antenas.

2. Consideración de un límite de densidad de la p.i.r.e. fuera del eje para la banda en 6 GHz

Partiendo de ambos puntos de vista, mencionados más arriba, se ha llegado a la conclusión de que el límite recomendado para el enlace ascendente en una frecuencia de alrededor de 6 GHz debería expresarse de la forma que se indica a continuación.

Para cualquier ángulo, φ, igual o superior a 2,5° respecto del eje del haz principal de la antena de una estación terrena, la p.i.r.e. por 4 kHz en cualquier dirección a 3° o menos de la órbita de los satélites geoestacionarios no debe ser superior a los valores siguientes:

Ángulo respecto del eje	*Valor máximo de la p.i.r.e./4 kHz*	
$2{,}5° \leqslant \varphi \leqslant 25°$	$(E - 25 \log \varphi)$	dB(W/4 kHz)
$25° < \varphi \leqslant 180°$	$(E - 35)$	dB(W/4 kHz)

En esta expresión el valor de E debería estar comprendido entre 32,0 y 38,5. Su valor debería ser lo más reducido posible y variará de una banda de frecuencias a otra. Para algunas aplicaciones de sistemas de satélites, puede ser conveniente establecer un límite de densidad de la p.i.r.e. fuera del eje utilizando un valor más estricto de E (por ejemplo, 32) en la región angular cercana (por ejemplo, para $\varphi \leqslant 7°$) y entonces disminuir el valor de E para los ángulos fuera de eje superiores. Este tipo de límite escalonado puede reducir la radiación fuera del eje en aquellas regiones angulares en las que el valor sería más efectivo al limitar la interferencia a los satélites adyacentes.

Desde el punto de vista de la interferencia tolerable en una red de satélites cuyas estaciones terrenas están dotadas de grandes antenas, cabe observar que para $E = 38{,}5$, una estación terrena podría radiar a 5° fuera del eje una p.i.r.e. con una densidad máxima de 21,0 dB(W/4 kHz).

Desde el punto de vista de las necesidades razonables de las estaciones terrenas con antenas pequeñas, podrían considerarse los cuatro casos siguientes:

Caso 1: Portadora MF de gran potencia – estación grande

Caso 2: Televisión MF – estación pequeña (antena global del satélite)

Caso 3: Televisión MF – enlace ascendente del satélite de radiodifusión

Caso 4: Un solo canal por portadora (SCPC) – banda estrecha.

Suponiendo:

- temperatura de ruido del satélite: $\leqslant$ 3000 K;
- ganancia de la antena del satélite: $\geqslant$ 16 dB;
- la antena de la estación terrena se ajusta a la Recomendación 465 para ángulos respecto del eje del haz principal inferiores a 25°, pero la envolvente de los lóbulos laterales tiene un nivel constante de −3 dBi para ángulos superiores a 25°;
- 10 log (temperatura de ruido de la estación terrena) $\geqslant$ 19.

(El cuadro I muestra los valores de la densidad mínima de potencia para un ángulo de 5° con relación al eje.)

CUADRO I – *Densidad mínima de la p.i.r.e. fuera del eje del haz principal para portadoras típicas*

	MDF-MF 1332 canales 36 MHz de anchura de banda RF	Televisión MF	Televisión MF enlace ascendente del satélite de radiodifusión	SCPC global
G/T del satélite (dB (K^{-1}))	– 7	– 17	0	– 17
C/T del enlace ascendente (dB(W/K))	– 125	– 137	– 134	– 154
p.i.r.e. (dBW)	82	80	66	63
Ganancia de la antena transmisora de la estación terrena (dB)	60	53	46	53
Potencia de entrada RF en la antena de la estación terrena (dBW)	22	27	20	10
Densidad espectral de potencia RF en la entrada de la estación terrena (dB(W/4 kHz))	– 8	0	– 4	0
$E_{5°}$ (dB(W/4 kHz)) (1)	6,5	14,5	10,5	14,5

(1) Radiación para $\varphi = 5°$, en la hipótesis $32 - 25 \log \varphi$.

Al parecer, el peor caso de interferencia es el de la 2.ª columna, en el que se tiene una ganancia de 53 dB que corresponde a una antena de 10 m de diámetro. Se necesita un transmisor con una potencia de unos 500 W. Con una mejora de 27 dB por dispersión (2 MHz), la densidad de potencia nominal transmitida sería de 0 dB(W/4 kHz), con lo que se llega a una radiación fuera del eje del haz principal de 14,5 dB(W/4 kHz) para $\varphi = 5°$.

Aunque en el caso de la 4.ª columna se indica un valor análogo para la densidad de la p.i.r.e. fuera del eje del haz principal, hay que tener en cuenta otros factores. En el caso de un solo canal por portadora (SCPC), se trata de portadoras de bajo nivel con una potencia nominal de transmisión en la estación terrena de 63,5 dB(W/canal). Teniendo en cuenta que en el caso de la televisión la dispersión se efectúa únicamente a baja velocidad (25 ó 30 Hz), se estima que la potencia total de la portadora ha de considerarse como interferencia en forma de impulsos. En este caso, para 5°, la relación *C/I* será de 22 dB en el enlace ascendente y de 13 dB en el enlace descendente. Aunque no existen criterios sobre la interferencia en estos casos, en ciertos estudios se ha adoptado para la interferencia en forma de impulsos una relación global *C/I* de 20 dB. Reconociendo la grave incompatibilidad de esta situación, se llega a la conclusión de que no puede obtenerse razonablemente la protección adecuada, ni por separación entre satélites ni limitando más estrictamente la p.i.r.e., ya que predomina el enlace descendente. Una solución consiste en restringir la utilización de los dos tipos de señales, de manera que, si en los enlaces ascendente y descendente interviene el servicio fijo por satélite, dichas señales deberán estar también separadas en frecuencia. El problema indicado podría quedar considerablemente aliviado si se aplicara un método diferente de dispersión de energía de la portadora de televisión, transformando las señales de video del modo descrito en el anexo II al Informe 384.

Dos ejemplos del sistema canadiense de satélites TELESAT, [CCIR, 1974-78] demuestran que, en 6 GHz y con un ángulo con relación al eje de 5°, va asociado un nivel de densidad de p.i.r.e. interferente comprendido aproximadamente entre 17 y 18 dB(W/4 kHz) para el caso de emisiones del tipo de un solo canal por portadora procedentes de una antena de 4 a 5 m de diámetro, y de emisiones de televisión procedentes de una antena de 10 m de diámetro.

En lo que respecta al caso de la 4.ª columna, en Japón se ha realizado un estudio sobre la densidad de p.i.r.e fuera del eje por 4 kHz de anchura de banda para la portadora SCPC-MDP del sistema INTELSAT y las portadoras SCPC-MF y SCPC-MDP del sistema MARISAT [CCIR, 1978-82]. Sobre la base de los resultados de los estudios mencionados anteriormente, puede sacarse la conclusión de que, en el caso de una transmisión entre estaciones terrenas de norma B del sistema INTELSAT, el valor más desfavorable de la densidad de p.i.r.e. fuera del eje de la estación terrena transmisora es superior en 6 dB a $35 - 25 \log \varphi$ (dB(W/4 kHz)).

Ha de precisarse que tales valores son meros ejemplos ilustrativos tomados de sistemas existentes. En todo caso, no es en función de ninguno de ellos que debe redactarse una Recomendación, sino que por el contrario, los sistemas futuros deberían diseñarse para cumplir la Recomendación en su versión definitiva.

Sobre la base de lo expuesto, se extrae la conclusión de que podría protegerse la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios a 6 GHz y emplearse al mismo tiempo estaciones terrenas con antenas de sólo 4 ó 5 m de diámetro, si se aplican los principios siguientes:

- al planificar las frecuencias, se procurará que las transmisiones de televisión en una red no utilicen las mismas frecuencias que las transmisiones telefónicas del tipo de un solo canal por portadora en otra red que trabaje con un satélite cercano;
- en los demás casos, las estaciones terrenas respetarán los límites de la densidad espectral de p.i.r.e. fuera del eje del haz en la dirección de la órbita de los satélites geoestacionarios, especificados en el segundo párrafo del presente punto 2, el valor de E se situará entre 32,0 y 38,5.

3. Consideración de un límite de densidad de la p.i.r.e. fuera del eje para la banda 10-15 GHz

Al considerar el límite de la densidad de la p.i.r.e. fuera del eje en 10-15 GHz, es razonable suponer que la antena receptora de satélite no proporcionará normalmente una cobertura de ángulo amplio y teniendo ello en cuenta puede existir la posibilidad de utilizar valores más bajos de p.i.r.e. de la estación terrena y con ello niveles inferiores de radiación fuera del eje que en las bandas de frecuencias más bajas. Sin embargo, ello puede ser contrarrestado por el hecho de que el desvanecimiento por la lluvia será más intenso.

3.1 *Método de cálculo de E*

En general, la interferencia I, de una estación terrena transmisora en una estación espacial interferida, vista con un ángulo $\varphi°$ a partir de la transmisión deseada, viene dada por la siguiente fórmula:

$$I = E - 25 \log \varphi - L_{FS} - L_{CA} - L_R + G_S \qquad (1)$$

en donde:

E: constante que ha de determinarse para una fórmula del límite relacionada con la anchura de banda de referencia,

L_{FS}: pérdida en el espacio libre en la frecuencia de transmisión,

L_{CA}: atenuación en una atmósfera despejada,

L_R: atenuación debida a la lluvia (en el caso más desfavorable $L_R = 0$ en condiciones de atmósfera despejada),

G_S: ganancia de antena del satélite interferido en la dirección de la estación terrena interferente.

La interferencia de enlace ascendente de una sola fuente, I, puede especificarse para que quede limitada a una fracción del ruido térmico del enlace ascendente de la estación espacial interferida. En tal caso:

$$I = 10 \log (kTB) - \Delta \qquad (2)$$

donde:

Δ: relación de potencias «ruido térmico/interferencia»,

T: temperatura de ruido en la entrada del receptor del satélite,

B: anchura de banda en consideración,

k: constante de Boltzmann.

Entonces, en el caso más desfavorable en el que $L_R = 0$:

$$E - 25 \log \varphi = 10 \log kB + L_{FS} + L_{CA} - (G/T)_s - \Delta \qquad (3)$$

en donde $(G/T)_s$: factor de calidad del satélite (dB(K^{-1})).

Si la pérdida en el espacio libre es de 207 dB (14 GHz) y la atenuación en atmósfera despejada es de 0,5 dB, ello se simplifica para dar:

$$E - 25 \log \varphi = -21{,}1 - (G/T)_s + B - \Delta$$

Así, conocidos los parámetros φ, $(G/T)_s$, B y Δ, puede determinarse el parámetro E, que define la densidad de la p.i.r.e. admisible de una estación terrena en el ángulo $\varphi°$ fuera del eje.

Sin embargo, también deben tenerse en cuenta otros factores al elegir una limitación fuera del eje a la p.i.r.e. de las emisiones de las estaciones terrenas transmisoras en las bandas 10-15 GHz. Uno de esos factores es la necesidad de considerar los márgenes de lluvia en los balances de p.i.r.e. de estación terrena en tales frecuencias; otro es que la restricción de los valores de densidad de la p.i.r.e. fuera del eje a ciertos límites puede ejercer una influencia significativa en el diámetro de la antena de la estación terrena. En el cuadro IIa se muestra un ejemplo de cómo varía el diámetro de la antena según el factor E para tres márgenes de lluvia diferentes en el enlace ascendente.

En el cuadro IIb se da un ejemplo del efecto que sobre el parámetro E tiene la necesidad de tener en cuenta las condiciones de propagación adversas en una región de alto régimen de lluvias (Brasil).

CUADRO IIa – *Diámetros de antena requeridos en las estaciones terrenas suponiendo que transmiten televisión y funcionan de manera que se cumplan los valores especificados de densidad de p.i.r.e. fuera del eje*

E (dB(W/40 kHz))	Diámetro de la antena (m)		
	Margen de lluvia 0 dB	Margen de lluvia 3 dB	Margen de lluvia 6 dB
33	12	17	24
36	8	12	17
39	6	8	12
42	4	6	8

Suposiciones hechas para obtener los valores del cuadro IIa:

- portadora de televisión modulada solamente por una señal de dispersión de energía con 2 MHz de cresta a cresta,
- anchura de banda de referencia para E: 40 kHz,
- ganancia de lóbulos laterales de la estación terrena: $29 - 25 \log \varphi$ (dBi),
- eficiencia de la antena de la estación terrena del 57 al 65%,
- funcionamiento a 14 GHz,
- C/T requerida en el satélite en condiciones de cielo despejado: -127 dBW(K^{-1}),
- G/T del satélite: -3 dB(K^{-1}).

CUADRO IIb – *Ejemplos del crecimiento de la densidad de la p.i.r.e. fuera del eje para sistemas diseñados para hacer frente a grandes desvanecimientos debidos a la propagación*

Portadora	E (dB(W/40 kHz))			
	(Modelo de cielo despejado)		(Modelo de desvanecimiento profundo)	
	$A = 29$	$A = 32$	$A = 29$	$A = 32$
TV-MF	26	29	36	39
60 Mbit/s / MDP-4	15	18	47	50
SCPC-MDP	16	19	48	51

Donde la ganancia de lóbulos laterales de la estación terrena es $A - 25 \log \varphi$ (dBi).

Suposiciones hechas para obtener los valores del cuadro IIb:

- sistema hipotético (brasileño) con una anchura de banda a potencia mitad de 2°,
- ángulo de elevación de la estación terrena de 60°,
- modelo de atenuación por lluvia del Informe 564,
- disponibilidad del sistema del 99,95%,
- funcionamiento a 14 GHz.

3.2 *Factores que afectan a E*

Además del margen de lluvia incluido en el enlace ascendente «interferente» hay un cierto número de variables que influyen en el valor de E aplicable a los servicios por satélite:

a) *Tipo de portadora «interferente»:*

Reconociendo que, en los transpondedores que amplifican múltiples portadoras MF, la densidad espectral de potencia y por ende el potencial de interferencia no varía mucho entre portadoras de diferente capacidad, quizá sea suficiente considerar aquellos casos en los que un transpondedor cursa las siguientes señales:

- múltiples portadoras MDF-MF
- múltiples portadoras «de elevada densidad» MDF-MF
- una sola portadora MDF-MF
- una portadora MIC-MDP-AMDT
- múltiples portadoras SCPC-MIC-MDP
- TV-MF, de portadora única, con dispersión de la energía de la portadora de 2 MHz
- portadoras múltiples SCPC-MF.

La densidad espectral de p.i.r.e. requerida para el enlace ascendente de cada una de estas portadoras dependerá todavía de si se destina a ser recibido por estaciones receptoras con antenas grandes o pequeñas.

b) *Tipo de portadora «interferida»:*

Hay que considerar un abanico de casos similar al de a).

c) *Objetivo de interferencia:*

Estudios realizados por el CCIR [1982-86a, b, c, d, e, f, g] mencionan la posibilidad de aumentar la tolerancia a la interferencia con el fin de disminuir la separación entre satélites.

d) *Separación entre satélites:*

En el margen entre 10 y 15 GHz existen espaciamientos de 3° para satélites con la misma zona de cobertura, pero debido al aumento en la demanda de los servicios se está considerando un espaciamiento de 2° en determinadas ubicaciones orbitales.

e) *Zonas de cobertura del «satélite interferido»:*

Deberían considerarse los valores de G/T del satélite correspondientes a coberturas regionales y domésticas típicas.

f) *Características de ganancia de lóbulos laterales de la estación terrena «interferente»:*

Conforme vayan entrando en servicio diseños mejorados de estaciones terrenas, se reducirán las emisiones fuera del eje.

g) *El margen de lluvia se ha tenido en cuenta en el diseño del enlace ascendente del satélite «interferido»:*

La consideración exhaustiva de todos estos factores requerirían millares de combinaciones, y la correspondiente gama de valores de E.

Para obtener esta lista se ha supuesto que se escogerán los valores del diámetro de la antena de la estación terrena y de la potencia transmisora necesarios para conseguir simultáneamente la p.i.r.e. «deseada» en el enlace ascendente y el límite de la p.i.r.e. fuera del eje. Pueden presentarse situaciones en que esto no sea práctico, como por ejemplo, las pequeñas estaciones transportables usadas para suministrar enlaces ascendentes de televisión de corta duración desde diversas ubicaciones de la zona de cobertura de satélite.

El cuadro III da un ejemplo de la relación entre el parámetro E y los factores mencionados c) a f) inclusive. Ambas portadoras, la interferente y la interferida, están moduladas en frecuencia por señales de televisión y se suponen idénticas. Se han elegido combinaciones del tamaño de la antena de la estación terrena y de la potencia del transmisor de manera que se cumpla la exigencia para la p.i.r.e. de la portadora deseada al tiempo que se cumplen los objetivos de interferencia en el enlace ascendente. (En los casos señalados con un asterisco se podrían usar probablemente antenas mayores y transmisores de menor potencia, y en dichas circunstancias la interferencia estaría dentro de los límites prescritos.)

Debe notarse que este ejemplo supone dos sistemas de satélite idénticos. Si se incluyeran los casos en que los satélites de los sistemas interferente e interferido tuvieran diferentes valores de G/T resultarían variaciones más amplias en E y en los parámetros de la estación terrena.

CUADRO III – *Valores óptimos de E y parámetros relacionados para interferencia de TV-MF a TV-MF*

G/T del satélite (dB(K^{-1}))		−3				5			
Espaciamiento entre satélites (grados)		2		3		2		3	
Objetivos de interferencia (% del ruido térmico en el enlace ascendente)		20	50	20	50	20	50	20	50
Ganancia de lóbulos laterales de la estación terrena 32 − 25 log φ	Diámetro de la antena (m)	10,7	6,8	6,4	4,1	26,9	17,1	16,2	10,3
	Potencia del transmisor (W)	139	342	382	951	3,5	8,6	9,6	23,9
Ganancia de lóbulos laterales de la estación terrena 29 − 25 log φ	Diámetro de la antena (m)	7,6	4,8	4,6	2,9*	19,0	12,1	11,5	7,3
	Potencia del transmisor (W)	287	685	764	1 903*	7,0	17,2	19,2	47,8
Ganancia de lóbulos laterales de la estación terrena 26 − 25 log φ	Diámetro de la antena (m)	5,3	3,4	3,2*	2,0*	13,4	8,5	8,1	5,1
	Potencia del transmisor (W)	557	1 385	1 517*	3 794*	14,0	34,8	38,1	95,3
Parámetro *E* de la p.i.r.e. fuera del eje (dB(W/40 kHz))		28,4	32,4	32,8	36,8	20,4	24,4	24,8	28,8

Suposiciones hechas para obtener los valores del cuadro III:

- las estaciones terrenas «interferente» e «interferida» tienen un ángulo de elevación de 15°,
- operación a 14 GHz,
- la ganancia de la antena del satélite es la misma para los enlaces ascendentes «interferente» e «interferido»,
- eficiencia de la antena de la estación terrena 65%,
- 3 dB de atenuación por lluvia en el enlace ascendente del satélite «interferido»,
- *C/T* del enlace ascendente de la portadora de televisión «interferida»: −130 dBW(K^{-1}),
- modulación solamente por la señal de dispersión de energía de 2 MHz de desviación de cresta a cresta.

3.3 *Valores de E en los sistemas actuales*

Los cuadros IV y V muestran valores típicos de densidad de p.i.r.e. y de *E*, producidos por estaciones terrenas actualmente en funcionamiento en INTELSAT, EUTELSAT y sistemas domésticos de satélites de Estados Unidos, así como para pequeñas estaciones terrenas transportables usadas para los reportajes (ENG) en exteriores en Europa.

El cuadro VI muestra valores de la densidad de la p.i.r.e. de estaciones terrenas que pueden ser tolerados como interferencia en el enlace ascendente por portadoras típicas de INTELSAT y EUTELSAT, suponiendo que la estación terrena interferente se encuentra dentro de la zona de cobertura del satélite interferido. Los cálculos se han realizado suponiendo el valor para el criterio de interferencia de una sola fuente de 600 pW0p para portadora analógica, y 4% del valor total de ruido más interferencia que produce una proporción de bits erróneos de 10^{-6}, para portadoras digitales.

CUADRO IV – *Densidades de la p.i.r.e. fuera del eje producida por los actuales sistemas de satélites en explotación*

Tipo de transmisión	Haz del satélite	Tipo de estación terrena (1)	E (dB(W/40 kHz))
INTELSAT, TV con portadora completa	Este (ascendente), 14/4 GHz	Norma C	46,5
INTELSAT, TV con dispersión de energía, 2 MHz cresta a cresta	Este (ascendente), 14/4 GHz (a norma B)	Norma C	29,5
EUTELSAT, TV con portadora completa	Eurohaz	Norma C	52,5
EUTELSAT, TV con dispersión de energía, 2 MHz cresta a cresta	Eurohaz	Norma C	35,4
EUTELSAT, TV con dispersión de energía, 4 MHz cresta a cresta	Eurohaz	Norma C	32,4
INTELSAT, MDF-MF de gran desviación, 972 canales en 25 MHz	Este (ascendente), 14/4 GHz	Norma C	33,4
EUTELSAT, SMS, 64 kbit/s (en 75 kHz)	No especificado	Norma C	21,5
EUTELSAT, SMS, 64 kbit/s (en 75 kHz)	No especificado	E-1	36,0
INTELSAT, AMDT	No especificado	Norma C	22,4
EUTELSAT, AMDT	No especificado	Norma C	22,4
INTELSAT, IDR, 64 kbit/s en 38 kHz (sin corrección de errores FEC)	Este (ascendente), 14/4 GHz	E-1	36,7
INTELSAT, IDR, 2 Mbit/s en 1,2 MHz (sin corrección de errores FEC)	Este (ascendente), 14/4 GHz	E-2	34,6
INTELSAT, IDR, 8 Mbit/s en 5 MHz (sin corrección de errores FEC)	Este (ascendente), 14/4 GHz	Norma C	23,5
INTELSAT, IDR, 2 Mbit/s en 1,2 MHz (sin corrección de errores FEC)	Este (ascendente), 14/4 GHz	E-3	31,0
INTELSAT, MDF-MF, 60 canales en 5 MHz	Este (ascendente), 14/4 GHz	Norma C	21,4
INTELSAT, MDF-MF, 252 canales en 10 MHz	Este (ascendente), 14/4 GHz	Norma C	27,8
INTELSAT IBS	14/12 GHz (a norma E-1)	E-1	39,0 (2)
INTELSAT IBS	14/12 GHz (a norma E-2)	E-1	39,0 (2)
INTELSAT IBS	14/12 GHz (a norma E-3)	E-1	34,9
INTELSAT IBS	14/4 GHz (a norma F-1)	E-1	39,0 (2)
INTELSAT IBS	14/4 GHz (a norma F-2)	E-1	39,0 (2)
INTELSAT IBS	14/4 GHz (a norma F-3)	E-1	39,0 (2)
INTELSAT IBS	14/12 GHz (a norma E-1)	E-2	39,0 (2)
INTELSAT IBS	14/12 GHz (a norma E-2)	E-2	36,8
INTELSAT IBS	14/12 GHz (a norma E-3)	E-2	31,4
INTELSAT IBS	14/4 GHz (a norma F-1)	E-2	39,0 (2)
INTELSAT IBS	14/4 GHz (a norma F-2)	E-2	38,2
INTELSAT IBS	14/4 GHz (a norma F-3)	E-2	36,3
INTELSAT IBS	14/12 GHz (a norma E-1)	E-3	36,5
INTELSAT IBS	14/12 GHz (a norma E-2)	E-3	33,1
INTELSAT IBS	14/12 GHz (a norma E-3)	E-3	27,7
INTELSAT IBS	14/4 GHz (a norma F-1)	E-3	38,3
INTELSAT IBS	14/4 GHz (a norma F-2)	E-3	34,5
INTELSAT IBS	14/4 GHz (a norma F-3)	E-3	32,6

(1) La norma E-1 de la estación terrena tiene un diámetro de 3,5 m
La norma E-2 de la estación terrena tiene un diámetro de 5 m
La norma E-3 de la estación terrena tiene un diámetro de 9 m
La norma F-1 de la estación terrena tiene un diámetro de 4,5 m
La norma F-2 de la estación terrena tiene un diámetro de 7 m
La norma F-3 de la estación terrena tiene un diámetro de 9 m
La norma C de la estación terrena tiene un diámetro de 14-18 m.

(2) La máxima p.i.r.e. para una estación terrena con esta conexión situada al borde del haz exterior de un Intelsat-VB podría potencialmente exceder el límite de INTELSAT de $39 - 25 \log \varphi$ (dB(W/40 kHz)) (en algunos dB en ciertos casos). Por tanto, estas estaciones terrenas requieren unas características mejoradas de lóbulos laterales (es decir, mejor que $32 - 25 \log \varphi$ (dBi)) o una mayor ganancia en el eje si es que van a cumplir el límite establecido y por tanto hacer posible la conexión.

IBS : Servicio comercial de Intelsat.
FEC : Corrección de errores en recepción.

Suposiciones hechas para obtener los valores del cuadro IV:

- ganancia fuera del eje de la antena de la estación terrena: $32 - 25 \log \varphi$ (dBi),
- la portadora y los parámetros de la estación terrena siguen las normas de INTELSAT y EUTELSAT,
- las portadoras IBS de INTELSAT son transmitidas con modulación MDP-4 con velocidad de transmisión variando entre 141 kbit/s y 8 Mbit/s con codificación con corrección de errores en recepción (el uso de MF conduce a valores de E inferiores a los que se muestran).

CUADRO V – *Características de los enlaces ascendentes de algunos sistemas de satélites de los Estados Unidos en la banda de 14 GHz*

				Parámetros de la estación terrena				p.i.r.e. de los lóbulos laterales 40 kHz y factores E			
								29 – 25 log φ		32 – 25 log φ	
Caso	Tipo de señal	Anchura de banda en RF (MHz)	G/T del satélite (dB(K^{-1}))	Diámetro (m)	Ganancia (dBi)	Potencia de portadora (dBW)	Densidad de potencia del enlace ascendente (media) (dB(W/40 kHz))	p.i.r.e. (φ = 2°) (dB(W/40 kHz))	E	p.i.r.e. (φ = 3°) (dB(W/40 kHz))	E
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
1	MDP-4/50 Mbit/s	25	0	5,5	56,0	24,5	– 3,5	18,0	25,5	16,6	28,5
2	MDP-4/56 kbit/s (562)	0,039	1,9	5,5	56,0	– 4,8	– 4,7	16,8	24,3	15,4	27,3
3	MDF (3 800)	54	– 1,5	10	60,6	24,7	– 6,6	14,9	22,4	13,5	25,4
4	SS/MDP-2/10 kbit/s (100)	5,0	– 1,5	1,3	43,5	14,3	– 6,7	14,8	22,3	13,4	25,3
5	MDF (432)	17,5	– 2,7	7,0	58,2	14,0	– 12,4	9,1	16,6	7,7	19,6
6	MDP-4/125 Mbit/s	72	– 2,7	7,0	58,2	29,0	– 3,6	17,9	25,4	16,5	28,4
7	MDP-2/6,312 Mbit/s (8)	7,6	– 2,7	4,5	54,3	17,8	– 5,0	16,5	24,0	15,1	27,0
8	TV-MF (en modo port. compl.)	27	1,9	5,5	56,0	23,2	– 5,1	16,4	23,9	15,0	26,9
9	TV-MF (en modo port. compl.)	16	0	5,5	56,0	24,5	– 1,5	20,0	27,5	18,6	30,5
10	TV-MF (con disper. de energ.)	2	0	5,5	56,0	24,5	+ 7,5	29,0	36,5	27,6	39,5
11	TV-MF (con disper. de energ.)	2	0	3,5	52,0	28,5	+ 11,5	33,0	40,5	31,6	43,5
12	TV-MF (con disper. de energ.)*	2	– 3	2,4	49,0	27,0	+ 10,0	31,5	39,0	30,1	42,0

Suposiciones hechas para obtener los valores del cuadro V:

- excepto en los casos 10, 11 y 12, las densidades de potencia están promediadas sobre la anchura de banda total de la portadora,
- en las columnas F y G están incluidos márgenes de 2 a 5 dB para la lluvia en el enlace ascendente (* margen para la lluvia: 2 dB),
- los lóbulos laterales de la estación terrena están limitados a 29 – 25 log φ (dBi) para tener una separación mínima entre satélites de 2°,
- para una separación de 3° los lóbulos laterales están limitados a 32 – 25 log φ (dBi).

Nota. – Los casos 1 a 11 corresponden a sistemas domésticos en los Estados Unidos. El caso 12 es para una estación terrena pequeña transportable usada para reportajes en exteriores en Europa.

CUADRO VI – *Densidades de la p.i.r.e. fuera del eje que pueden tolerar los sistemas actualmente en explotación*

Tipo de transmisión	Haz del satélite	C/N	p.i.r.e.	E (1) (dB(W/40 kHz))
EUTELSAT, TV (36 MHz)	Eurohaz	20,1	87,0	37,1
INTELSAT, TV, ½ transpondedor	Este (ascendente), 14/4 GHz	17,0	81,6	38,2
INTELSAT, MDF-MF de gran desviación, 972 canales en 25 MHz	Este (ascendente), 14/4 GHz	25,7	90,1	36,1
INTELSAT, SCPC (4 fases), IBS, 64 kbit/s (con ½ FEC)	Oeste exterior a Oeste interior, Intelsat-VB	6,9	66,2	53,9
INTELSAT, SCPC (4 fases), 64 kbit/s (sin FEC) (recomendado por la norma B)	Este (ascendente), 14/4 GHz	15,5	63,0	45,4
INTELSAT, IDR, 64 kbit/s (sin FEC, 38 kHz)	Este (ascendente), 14/4 GHz	15,7	56,3	38,7
INTELSAT, IDR, 2 Mbit/s (sin FEC 1,2 MHz)	Este (ascendente), 14/4 GHz	15,7	71,3	38,7
INTELSAT, AMDT (120 Mbit/s)	Este puntual	15	88,0	38,4
EUTELSAT, AMDT (120 Mbit/s)	Eurohaz	15	87,0	37,4
INTELSAT, MDF-MF, 60 canales en 5 MHz	Este (ascendente), 14/4 GHz	12,7	71,7	37,7
INTELSAT, MDF-MF, 252 canales en 10 MHz	Este (ascendente), 14/4 GHz	19,4	79,8	36,1
EUTELSAT, SMS-SCPC (64 kbit/s, 75 kHz)	Zona 3, SMS	9,5	55,0	40,7

(1) Si la interferencia tolerable procede de una estación terrena que funciona con un satélite separado 3° del satélite «deseado».

Suposiciones hechas para obtener los valores del cuadro VI:

- la envolvente de lóbulos laterales de la estación terrena sigue la ley 25 log φ,
- los parámetros de la portadora siguen las normas INTELSAT y EUTELSAT,
- las estaciones terrenas interferentes están dentro de la zona de cobertura del satélite interferido,
- límite de 600 pW0p para portadoras analógicas y del 4% para digitales.

3.4 *Consideraciones sobre el uso de estaciones terrenas con antenas pequeñas*

La banda de 10-15 GHz permite un mayor uso de estaciones terrenas con antenas pequeñas de lo que permite la banda de 4-6 GHz, conduciendo ello a nuevas aplicaciones para satélites domésticos o para la realización de reportajes en exteriores por satélite.

Para la primera de las aplicaciones, los casos 10 y 11 del cuadro V dan ejemplos de TV-MF analógica con dispersión de energía en sistemas de satélite domésticos de Estados Unidos en 14 GHz. Los factores E generados en estos casos son de aproximadamente 41 para un diámetro de antena de 3,5 m y de 37 para un diámetro de antena de 5,5 m con mejora en el nivel de lóbulos laterales ($29 - 25 \log \varphi$).

Para la segunda aplicación, se prevé que pequeñas estaciones terrenas transmisoras transportables con diámetros tan pequeños como 2,4 m facilitarán una herramienta muy flexible y de fácil instalación en ubicaciones desde las que se realicen reportajes en exteriores. El caso 12 del cuadro V da las características típicas del enlace ascendente para dicho servicio de reportajes en exteriores con cobertura europea. El factor E de este ejemplo es de aproximadamente 39 para una antena de 2,4 m de diámetro con mejora de lóbulos laterales.

3.5 *Discusión*

Como en el caso de 6 GHz, cuando portadoras TV-MF interfieren a portadoras SCPC, la interferencia debe considerarse de tipo impulsivo y con, aproximadamente, la potencia total de la portadora. Esto es debido al relativamente bajo régimen de la señal de dispersión de energía y a que cuando no se emplea dispersión de energía la anchura de banda de una portadora de televisión puede reducirse a menos de la anchura de banda de un canal SCPC durante el intervalo de supresión de trama, incluso cuando la modulación de video está presente. De esta manera para SCPC no puede suponerse el valor de 17 dB de dispersión de energía que puede considerarse en la mayoría de los casos de interferencia de televisión. Por tanto, deben buscarse soluciones alternativas a este problema, como por ejemplo, ubicación de las portadoras SCPC de manera que se eviten las partes de alta densidad espectral de las bandas de portadoras de televisión cocanales, o desarrollando mejores y adecuadas técnicas de dispersión de energía para televisión, las cuales están aún bajo estudio (véase el Informe 384).

Para reducir el número de variables a considerar sería razonable promover un criterio para E que permitiera separar los satélites a intervalos de 3° (o más). Pudieran requerirse criterios más estrictos en el futuro cuando se necesiten menores separaciones entre satélites.

Los cuadros IV y V muestran que los valores de E producidos por los sistemas actualmente en funcionamiento están en la mayoría de los casos por debajo de 39 dB(W/40 kHz) si se supone dispersión de energía para las portadoras de televisión.

El cuadro VI indica que muchos de los sistemas actualmente en funcionamiento pueden tolerar interferencias de valores de E de hasta 36 dB(W/40 kHz). Este cuadro no incluye los casos en los que los haces puntuales de alta ganancia de satélites domésticos son más vulnerables a la interferencia en el enlace ascendente, y por tanto, un margen de unos pocos decibelios deberían permitirse para cubrir dichos casos.

3.6 *Conclusiones*

Se ha establecido un método de cálculo de la máxima densidad de p.i.r.e. fuera del eje de una estación terrena utilizando los objetivos actuales de interferencia, y se ha mostrado el impacto de E sobre el diámetro de las antenas de las estaciones terrenas y sobre la potencia de los transmisores para diversos márgenes de lluvia. Se han dado ejemplos del efecto de los desvanecimientos por la propagación en zonas de alto régimen de lluvias. Se han identificado los factores que afectan a E y se ha examinado su interrelación para un ejemplo típico de interferencia en el enlace ascendente a un satélite adyacente. Finalmente, se han tabulado las necesidades de p.i.r.e. fuera del eje de estaciones terrenas para una gama de servicios existentes, e igualmente se han tabulado los límites tolerables para una gama semejante de los servicios existentes.

Es claro que tanto los valores de E generados en la práctica como los valores permitidos por los objetivos de interferencia varían en un amplio margen. El establecimiento de criterios elevados conduciría potencialmente a interferencias excesivas para algunas combinaciones de portadoras, mientras que un criterio bajo impondría, en determinados casos, severas restricciones sobre el diámetro de la antena de las estaciones terrenas. Aún más, aunque se han incluido en este Informe datos para servicios que utilizan antenas pequeñas, es muy probable que en un futuro próximo se desarrollen aplicaciones para dichas antenas pequeñas diferentes a los aquí considerados, lo cual deberá tenerse en cuenta si se establece un criterio para E.

En general, posibles reducciones de E debido a mejoras tecnológicas tales como menor ganancia en los lóbulos laterales de la antena pueden verse contrarrestados por factores tales como la tendencia a la utilización de antenas más pequeñas, o el empleo de márgenes para la lluvia más elevados. Debido a ello, es aún prematura la especificación de un valor para E en la banda de 10-15 GHz. Se requieren estudios ulteriores en los temas tratados en este Informe.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos del CCIR

[1974-78]: 4/90 (Canadá).

[1978-82]: 4/38 (Japón).

[1982-86]: **a.** 4/220 (GIT 4/1); **b.** 4/242 (Reino Unido); **c.** 4/245 (Reino Unido); **d.** 4/255 (Estados Unidos de América); **e.** 4/283 (Francia); **f.** 4/320 (INTELSAT); **g.** 4/341 (Brasil).

INFORME 1002

FLEXIBILIDAD EN EL EMPLAZAMIENTO DE LOS SATÉLITES

(Programa de Estudios 28A/4)

(1986)

1. Introducción

Para aumentar al máximo la eficacia de utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG) y llevar a cabo una coordinación bilateral o multilateral de las redes de satélites, es a veces necesario modificar la posición anunciada de un satélite, o incluso la realmente ocupada por el mismo. En muchos casos, la variación orbital necesaria es pequeña, del orden de un grado, pero en otros son necesarios desplazamientos de varios grados si debe aprovecharse al máximo la discriminación de la antena del vehículo espacial al acomodar una nueva necesidad. Los estudios de simulación con el programa ORBIT-II han aportado pruebas cuantitativas de las ventajas que pueden derivarse de la posibilidad de emplazar de nuevo un satélite tras su emplazamiento inicial en órbita (véase el Informe 870).

La reubicación de los satélites es factible desde los puntos de vista técnico y operacional y se ha efectuado ya en la práctica con diversas clases de satélites. No obstante, la flexibilidad de la ubicación en la órbita presenta de hecho dificultades técnicas y operacionales. Las posibles ventajas y las dificultades de la reubicación de satélites se tratan en este Informe.

2. Eficacia de la órbita derivada de la flexibilidad en el emplazamiento de los satélites

Hay que observar que no es posible afirmar con certeza qué zonas geográficas será necesario atender en el futuro desde una parte dada de la órbita. Por lo tanto, sólo se podrán aprovechar plenamente las ventajas de este método de optimizar la utilización de la órbita si las redes están concebidas de forma que los satélites puedan reubicarse, en caso necesario, dentro de un arco de servicio después de haber entrado en funcionamiento. Esta posibilidad de reubicar los satélites después de entrar en servicio podría ser también de gran ayuda para dar cabida en la órbita a los nuevos satélites de redes no previstas. La reubicación puede resultar más rentable que otras soluciones técnicas del tipo de antenas perfeccionadas de estación terrena o de nuevas y sofisticadas técnicas de modulación.

Se ha demostrado que la longitud del arco orbital necesario para un número de satélites que atienden a diferentes zonas de servicio depende de las posiciones relativas de los diversos satélites. Se ha determinado que la longitud mínima aceptable del arco orbital, para unas condiciones de interferencia establecidas, varía considerablemente según la disposición de los satélites en la órbita. Algunas disposiciones sólo requieren la mitad de arco que otras.

3. Posibles problemas que presenta la reubicación de satélites

3.1 *Limitaciones del arco de servicio*

El arco de servicio de los satélites que atienden a zonas muy extensas en longitud será reducido porque su arco de visibilidad es pequeño. Una forma posible de ampliar el arco de servicio es la subdivisión de la zona de servicio entre dos satélites, muy separados en la órbita y conectados por enlaces entre satélites. No obstante este método resultaría costoso.

Se ha observado que los satélites de aplicaciones polivalentes pueden proporcionar servicios, además de los ofrecidos por el servicio fijo por satélite, y estas otras aplicaciones pueden determinar la posición orbital requerida. Por ejemplo, es posible que en los servicios meteorológicos el concepto de arco visible no tenga importancia.

3.2 *Antenas de la estación terrena*

Un cambio en la posición del satélite exigiría reajustar la orientación de la antena de la estación terrena, así como (para la polarización lineal) el plano de polarización. No obstante, con pequeñas antenas de estación terrena y con satélites mantenidos en posición dentro de ± 0,1° Este-Oeste y Norte-Sur, tal vez no sea necesario que las antenas de la estación terrena se desplacen para seguir al satélite en funcionamiento normal. Muchas estaciones terrenas pequeñas no dispondrán de personal técnico constantemente presente. Cada vez habrá más redes que se limiten a antenas con seguimiento manual y únicamente a una gama limitada de ajuste de la orientación del haz. Así pues, incluso un pequeño cambio en la posición del satélite podría presentar graves problemas mecánicos y de explotación, con las visitas consiguientes del personal técnico a todas las estaciones terrenas de la red e interrupciones del servicio. Los cimientos de la antena deben diseñarse de forma que permitan atender al peor caso de los cambios de orientación para todo emplazamiento de la estación terrena y todo arco de servicio.

Los cambios en la elevación de la antena de la estación terrena podrían afectar a la relación G/T en cielo despejado y a la intensidad de las degradaciones de propagación. Estos efectos pueden ser significativos en los climas de lluvia intensa y en donde el ángulo de elevación de la estación terrena es pequeño. Deben aumentarse, siempre que sea necesario, los márgenes de la p.i.r.e. de los enlaces ascendentes y descendentes para tener en cuenta la posibilidad de que haya que trasladar el satélite.

Las variaciones del ángulo de elevación de la antena de la estación terrena, del azimut y de la p.i.r.e. podrían invalidar la coordinación con las estaciones terrenales que funcionan en las mismas bandas de frecuencias. Por lo tanto, en el proceso inicial de coordinación de frecuencias sería conveniente tener en cuenta los posibles desplazamientos futuros del satélite.

3.3 *Interrupción del servicio*

Si, al desplazarse desde su antigua posición a la nueva, el satélite ha de pasar por la posición orbital de otro satélite que funciona en las mismas bandas de frecuencias, puede producirse interferencia si ambas redes siguen en funcionamiento. Además, la mecánica del desplazamiento puede obligar a desactivar temporalmente algunos de los subsistemas principales del satélite que cambia de posición, por ejemplo, fijando en posición los paneles solares o las antenas durante el traslado, o haciendo difícil el control preciso y continuo de actitud. Por lo tanto, podrían darse circunstancias en que parte o la totalidad del tráfico cursado normalmente por el satélite tenga que reencaminarse durante el periodo de reubicación, que puede durar varios días.

Algunas de estas dificultades podrían evitarse si hubiese un satélite de reserva en órbita. Sería entonces posible situar el satélite de reserva en la nueva posición de servicio y transferirse éste de uno a otro, orientando debidamente las antenas de la estación terrena. De esta manera, las dificultades de mantener un servicio unidireccional durante un cambio en la posición de un satélite podrían resolverse totalmente, si bien se ganaría menos en cuanto a las dificultades de explotar un grupo de estaciones terrenas no atendidas que funcione en un modo bidireccional totalmente interconectado.

3.4 *Antenas del satélite*

Normalmente una antena de satélite está diseñada para ofrecer una cobertura óptima a una zona geográfica determinada desde una posición específica de la órbita de los satélites geoestacionarios. Si el satélite debe tener un gran arco de servicio, normalmente será necesario disponer de capacidad para cambiar la orientación de los haces mientras el satélite está en órbita. Además, sería necesario conformar la sección transversal del haz de forma que su proyección en la superficie de la tierra cubra las zonas de servicio desde cualquier punto del arco de servicio. Por lo tanto, lo más probable es que la ganancia de los haces del satélite sea inferior a la que se obtendría si su forma estuviese optimizada para una sola posición orbital. En consecuencia puede producirse también una gran tendencia a interferir a otras redes de satélite y una mayor exposición a la interferencia.

Para las zonas de servicio extensas a cualquier frecuencia en la gama de las microondas, y para las zonas de servicio más pequeñas a las frecuencias superiores de microondas, la utilización de sistemas de antena compuestos reconfigurables con haces constituidos por un gran número de haces secundarios de alta ganancia, ofrece una solución eficaz para dirigir los haces y reajustar sus secciones transversales, de forma que se mantenga la calidad del sistema y no se agrave la situación de interferencia.

Para las zonas de servicio más reducidas, se utilizarán más corrientemente haces puntuales convencionales. Los datos conocidos indican que, para los sistemas de satélite supuestos, con una capacidad de reubicación de ± 10° se llegaría a una penalización en la calidad del satélite que no superaría 1 dB y a una penalización en cuanto a la interferencia que no excedería de 2 dB. En una situación práctica, una reubicación menor resultaría suficiente para logar las ventajas adecuadas. Mantenerse dentro de estos límites de penalización supone probablemente los siguientes requisitos:

- Los haces del satélite deberán ser orientables alrededor del eje de cabeceo del satélite. Cuando el satélite tenga un solo haz, puede obtenerse el control suficiente del eje de cabeceo permitiendo cierto sesgo al sistema de control de actitud del satélite. Cuando hay varios haces, puede ser necesario dirigirlos en cabeceo de forma independiente.
- En algunas circunstancias, será necesario orientar los haces alrededor del eje de balanceo del satélite; los factores que probablemente hagan más necesario el control del balanceo son:
  - el tamaño reducido de la zona de cobertura del haz; por ejemplo un diámetro equivalente de 200 km o menos,
  - una zona de servicio de latitud alta,
  - una gran diferencia entre la longitud del satélite y la de la zona de servicio.

Orientar los haces múltiples de antena de satélites generados por un reflector único presenta una dificultad adicional que aumenta al reducirse el tamaño del haz. Este problema será particularmente grave en las bandas de frecuencias superiores, donde pueden necesitarse antenas de satélite de alta ganancia para superar las pérdidas de propagación.

Aun disponiendo de los medios para orientar los haces en cabeceo y balanceo, la disminución de la calidad de funcionamiento de la red puede exceder de 1 dB si existe una gran diferencia entre la longitud del satélite y la de la zona de servicio.

Estas conclusiones se basan en estudios que suponen que las zonas de servicio son aproximadamente cuadradas. Sería conveniente disponer de estudios basados en zonas de servicio de formas muy distintas, así como sobre la utilización de haces múltiples para atender a las zonas de servicio requeridas.

La situación se facilita considerablemente si la antena del satélite puede optimizarse hasta la nueva zona de servicio durante las fases posteriores de fabricación o incluso cuando se halla en órbita. Si tales técnicas existen, pueden realmente derivarse ventajas de la ocupación de una posición de órbita con ángulos de elevación moderados. Quizá el mejor modo de ilustrar ésto sea un ejemplo. Considérese una red de satélite con dos haces puntuales, uno que da servicio a una zona a 40° N y el otro que da servicio a una zona a una longitud de 20° más al Este y una latitud de 10° N. Cuando el satélite es desplazado hacia el Oeste en 50° de longitud desde una posición inicial sobre la longitud de la zona de servicio de 40° N (es decir, el satélite es desplazado hasta que las estaciones terrenas empiezan a perderlo de vista), se observarán los siguientes fenómenos:

a) La zona mínima de sección transversal de los haces que es necesaria para cubrir cada zona de servicio disminuirá. Esto permitiría utilizar una ganancia más elevada en un satélite optimizado.

b) El aspecto de las zonas de servicio, vistas desde el satélite, se hace más distorsionado y oblícuo a medida que se aproximan al borde del disco de la Tierra.

c) El ángulo de elevación del satélite, visto desde las estaciones terrenas, disminuirá, la longitud del trayecto aumentará y la pérdida de propagación debida a la lluvia aumentará también.

d) Vistas desde el satélite, las direcciones de los ejes de los haces medidas alrededor del eje de cabeceo del vehículo espacial, cambiarán en 5,5° aproximadamente.

e) Análogamente, el ángulo de los ejes de los haces se modificará alrededor del eje de balanceo del vehículo espacial en unos 0,15° para la zona de servicio de 10° de latitud y en unos 0,3° para la zona de servicio de 40° de latitud.

f) Los ángulos relativos entre los dos ejes de haces, medidos en cabeceo y balanceo, se modificarán pasando de unos 3,4° y 4,5°, respectivamente, a 2,97° y 4,4°, respectivamente.

En el caso de diferencias extremas de longitud entre el satélite y la zona de servicio, se producen modificaciones más grandes del ángulo de puntería del haz.

En la fig. 1 aparece una cuantificación aproximada de a) y c) para una zona de servicio cuadrada hipotética de 40° de latitud, en el supuesto de que la atenuación debida a la lluvia sea de 1 dB para una elevación 30° y que varíe con la secante del ángulo de elevación. Este supuesto de atenuación debida a la lluvia es generalmente válido para lluvia abundante a 4 GHz, pero sería optimista para zonas lluviosas a 11 GHz. Combinando la ganancia del haz, la pérdida de trayecto y pérdida de propagación debida a la lluvia, se ve que hay un ángulo de elevación óptimo muy amplio alrededor de 20° de elevación, siendo la penalización por utilizar un ángulo superior de elevación muy pequeña. Para las zonas lluviosas a 11 GHz, y frecuencias más elevadas, sería preferible un ángulo superior de elevación.

3.5 *Eclipse solar*

Los satélites que no cuentan con la suficiente capacidad de baterías para mantener el servicio durante todo el eclipse pueden verse limitados a posiciones orbitales en las que el eclipse se produce fuera de los periodos de tráfico cargado. Esta limitación debe evitarse en el servicio fijo por satélite, siempre que sea posible, proporcionando la suficiente capacidad de batería para mantener todos los servicios durante el eclipse.

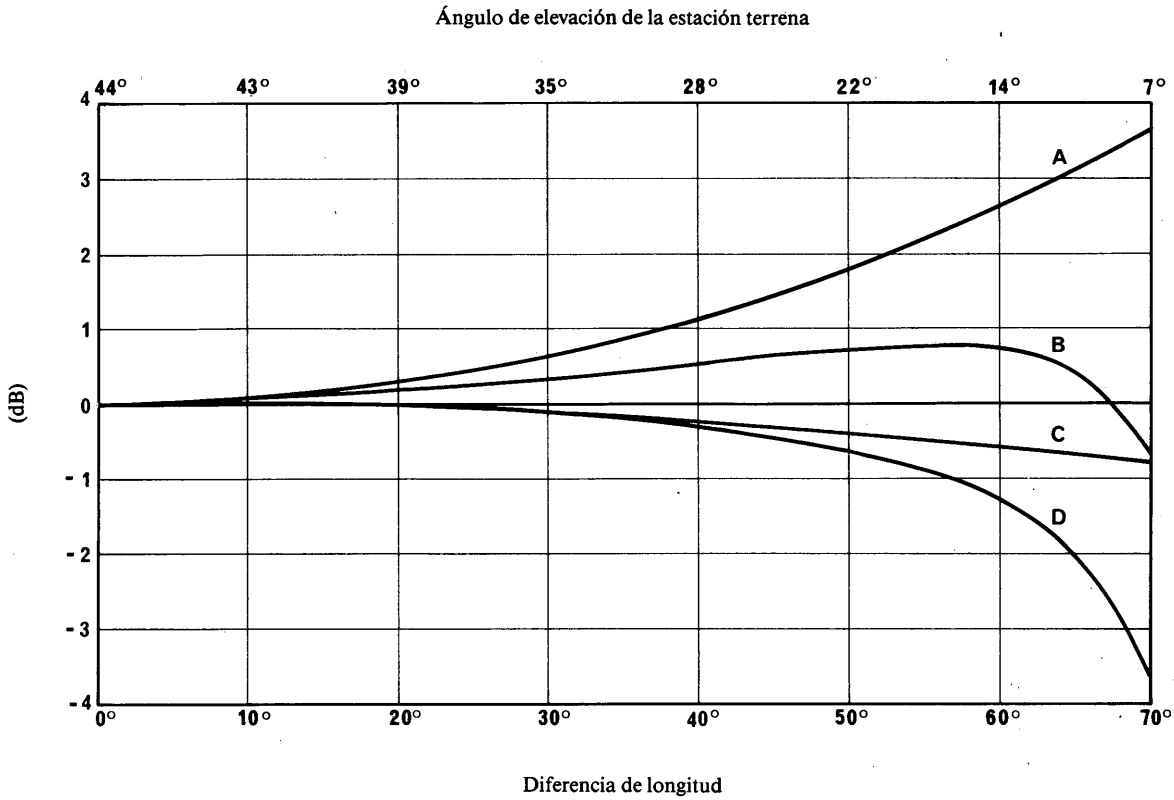


FIGURA 1 – *Efecto sobre la calidad de la red de cubrir un país cuadrado de 10° de lado, en 40° de latitud, desde una gama de ubicaciones orbitales alternativas específicas*

(Los parámetros se expresan con relación al caso de diferencia de longitud cero)

A : Ganancia de antena
B : Calidad del sistema (suma de A + C + D)
C : Pérdida de trayecto
D : Pérdida de propagación

3.6 *Propelente necesario para cambiar la posición orbital*

El combustible necesario para reubicar un satélite en la órbita está en función de la velocidad orbital, de la duración del tránsito, de la masa del vehículo espacial y de la eficacia de la propulsión (véase el Informe 556). La maniobra se realiza aplicando al satélite dos incrementos de velocidad, $+\Delta V$ y $-\Delta V$ separados por el periodo de tiempo de reubicación. El anexo I describe los cálculos de una serie de maniobras de reubicación en órbita utilizando las ecuaciones clásicas del movimiento orbital. La fig. 2 muestra la función del consumo de combustible respecto al tiempo de deriva para reubicaciones de 5°, 10°, 15° y 20° con arreglo a este método y suponiendo los parámetros de un vehículo espacial típico estabilizado en rotación, por ejemplo el Anik-D.

Evidentemente, los comentarios anteriores se aplican sólo a las reubicaciones posteriores al lanzamiento. Las reubicaciones anteriores al lanzamiento supondrán, en general, una penalización de combustible y de tiempo considerablemente inferior a la de los desplazamientos en la OSG, pues sólo exigirán cambios incrementables en el perfil del lanzamiento.

En la fig. 2 puede observarse que una reubicación rápida para minimizar la perturbación del tráfico supondría una gran penalización en cuanto al combustible destinado al mantenimiento en posición y, por lo tanto, repercutiría en la vida útil del vehículo espacial (véase el anexo I).

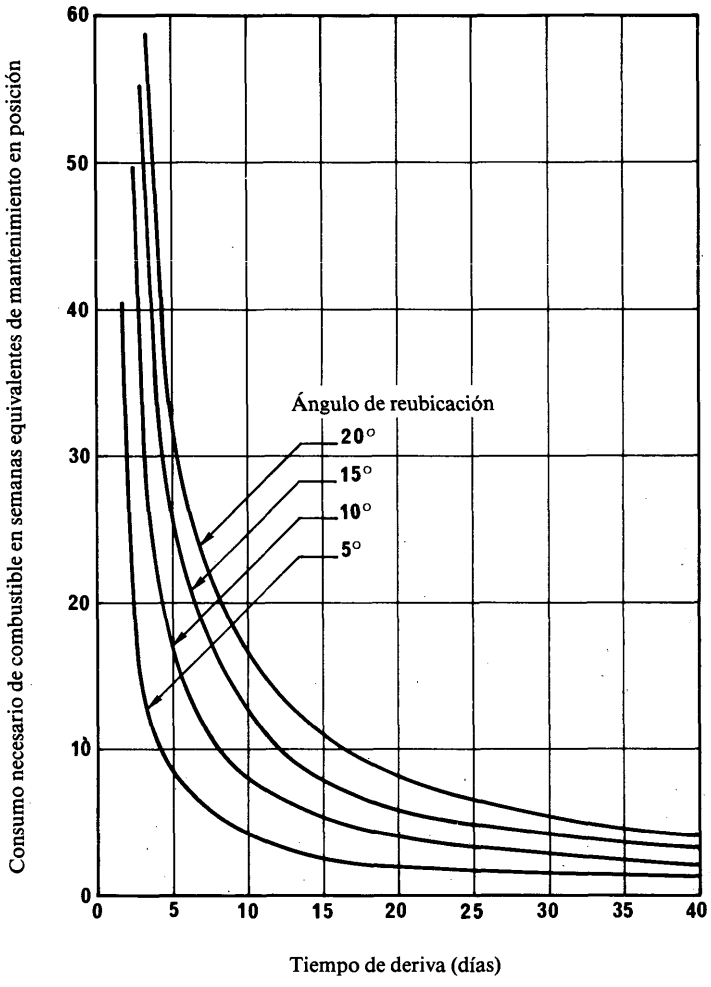


FIGURA 2 – *Consumo de combustible del satélite para reubicación longitudinal*

Masa del vehículo espacial :	634 kg
Masa del combustible :	109 kg
Vida útil en servicio :	7 años

3.7 *Control durante la reubicación*

La órbita de transferencia para reubicar un satélite es ligeramente elíptica, con el perigeo (para el traslado de Este a Oeste) y el apogeo (para el traslado en sentido opuesto) tangentes a la OSG. Por lo tanto, el satélite parecerá que oscila respecto a los ejes de la OSG. Si es necesario pasar en ruta junto a otros satélites, debe tenerse en cuenta la posibilidad muy remota de colisión. Este es otro factor al determinar la velocidad de deriva de la reubicación y cualquier cambio temporal de la inclinación.

También es necesario coordinar las señales de seguimiento, telemedida y telemando cuando el satélite se encuentra en proximidad radial a otros satélites (véase el Informe 845).

Para los satélites con grandes estructuras abiertas – por ejemplo, paneles solares o antenas desplegables – también puede ser necesario tener en cuenta los esfuerzos de aceleración sobre estas estructuras, al determinar la velocidad de deriva y la actitud del satélite durante la maniobra. Deben preverse nuevas pruebas de entrada en servicio cuando el satélite haya alcanzado su nueva ubicación.

3.8 *Otros problemas identificados*

Se han identificado otros problemas, pero no se han estudiado y es poco lo que puede decirse por el momento. Son los siguientes:

- Si el satélite ha de operar en una banda de frecuencias planificada, por ejemplo, la banda de radiodifusión por satélite en 12 GHz, así como en el servicio fijo por satélite, tal vez no pueda desplazarse libremente para coadyuvar a la entrada en órbita de un satélite nuevo del referido SFS. Pueden presentarse situaciones similares en otros casos en que se combinan distintos servicios en un satélite.

- Pueden aparecer más limitaciones si se utiliza RF a bordo o algún otro tipo de sistema de seguimiento.

- No se ha evaluado el efecto de la reubicación en los satélites que utilizan enlaces entre satélites; ello debería ser tema de estudio.

4. Ejemplos de satélites reubicados

Algunos satélites, tanto experimentales como operacionales, se han desplazado de una posición a otra del arco de la OSG. Los satélites experimentales ATS-6 y Hermes se desplazaron considerablemente en la órbita para llevar a cabo diferentes fases de su programa experimental (no para acomodar satélites adicionales). El ATS-6 se desplazó de una posición sobre Estados Unidos de América a una posición sobre la India, y volvió más tarde a una posición sobre Estados Unidos. Hermes se desplazó de su posición original a 116° W a una posición a 142° W, desde la cual pudo realizar un programa experimental con estaciones terrenas de Canadá y Australia. Estos grandes desplazamientos orbitales no se cree que sean corrientes en los satélites operacionales, pero indican que realmente son posibles grandes cambios orbitales.

Los desplazamientos de satélites operacionales no son comunes, pero ocurren. Los satélites canadienses Anik-A1, A2 y A3 se desplazaron entre 104° W y 114° W, de un modo tal que el tráfico operacional no fue afectado por los desplazamientos. Más recientemente, el satélite Anik-C2 se desplazo de 112,5° W a 105° W en un periodo de unos 20 días para proporcionar servicio temporal en Estados Unidos de América. En el proceso se utilizó combustible de mantenimiento en posición equivalente a tres semanas. El satélite se desplazará de nuevo una vez que termine la prestación del servicio temporal. Muchos otros satélites han sufrido pequeños desplazamientos en la OSG por diversos motivos; éstos son sólo algunos ejemplos típicos.

5. Conclusiones

Se admite que, al diseñar un sistema con flexibilidad en la ubicación orbital, puede degradarse la calidad y aumentar el costo de los satélites, en especial porque puede exigir a menudo facilidades para reorientar los haces, a fin de mantener la cobertura requerida. Pueden surgir otros costos adicionales de explotación del sistema cuando se cambia la posición de un satélite en funcionamiento. No obstante, también es evidente que, si todas las redes de satélites tienen un arco de servicio grande, sería mayor la probabilidad de coordinar con éxito las nuevas redes no previstas. Por lo tanto, es conveniente alcanzar un equilibrio justo entre las flexibilidad de un arco de servicio grande y la reducción al mínimo de los costos del sistema.

Se requieren ulteriores estudios. No obstante, puede concluirse ya lo siguiente:

- No es probable que se acepten cambios frecuentes en la posición del satélite, dado el costo del combustible del satélite y las pérdidas de tiempo de explotación. También puede producirse un aumento considerable en el costo del segmento terreno en algunas redes, y perturbaciones considerables de su explotación, debido a la necesidad de reorientar las antenas. Sin embargo, un cambio de posición del satélite a lo largo de su vida útil puede ser tolerable si ello significa una ventaja sustancial para otra red.

- Las dificultades de cambiar la posición de un satélite pueden reducirse considerablemente, a menudo a un costo relativamente pequeño, si en el diseño y la coordinación de las estaciones terrenas y los satélites se tiene en cuenta desde el principio la necesidad eventual de cambiar la posición en algún momento después de la entrada en servicio, así como las necesidades de conectividad y arco de servicio de la red explotada.

En determinados casos, puede ser imposible cambiar las características de la antena del satélite una vez efectuado el lanzamiento; resultaría entonces preferible que el vehículo espacial estuviera diseñado de forma que los diagramas de cobertura de la antena se ajustasen lo más tarde posible en el proceso de fabricación de aquél.

BIBLIOGRAFÍA

Documentos del CCIR

[1982-86]: 4/87 (Reino Unido); 4/88 (Reino Unido).

ANEXO I

CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE DERIVA Y EL DESPLAZAMIENTO ANGULAR PARA LA REUBICACIÓN DE UN VEHÍCULO ESPACIAL

Utilizando las ecuaciones normales del movimiento orbital y las ecuaciones de expulsión de masa del cohete, y suponiendo una aproximación normal por pequeños incrementos, puede deducirse el grupo de ecuaciones que figuran a continuación.

Dado un desplazamiento angular requerido de $\alpha°$ (positivo para el movimiento de Este a Oeste y negativo de Oeste a Este) que ha de realizarse en n periodos (días):

$$\frac{\alpha}{n} = \frac{P_t - P_0}{P_0} \times 360$$

o

$$P_t = P_0\left(1 + \frac{\alpha}{360\,n}\right) \quad \text{s} \tag{1}$$

donde:

P_0: periodo normal $= 2\pi\sqrt{r_1^3/\mu}$ (s)

P_t: periodo durante la órbita de transferencia

El semieje mayor A de la órbita de transferencia es:

$$A = \frac{r_1 + r_2}{2}$$

o

$$r_2 = 2A - r_1 \quad \text{km} \tag{2}$$

donde:

r_1: radio de la órbita de los satélites geoestacionarios = 42 164 km;

r_2: radio en el apogeo de la órbita de transferencia (km).

El periodo de una órbita viene dado por:

$$P_t = 2\pi\sqrt{\frac{A^3}{\mu}} \quad \text{s} \tag{3}$$

donde:

μ: constante gravitatoria de la Tierra

$= 3{,}986 \times 10^5\ \text{km}^3/\text{s}^2$

Así pues, la magnitud r_2 puede determinarse a partir de las ecuaciones (1), (2) y (3).

La velocidad orbital para una órbita circular viene dada por:

$$V_0 = \sqrt{\frac{\mu}{r_1}} \quad \text{km/s} \tag{4}$$

Cuando se varía la energía de la órbita de forma incremental y la órbita se hace elíptica, puede demostrarse que la velocidad en el perigeo es:

$$V_1 = \sqrt{2\mu\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1 + r_2}\right)} \qquad \text{km/s} \tag{5}$$

Por lo tanto, la velocidad incremental ΔV es:

$$\Delta V = V_1 - V_0 \qquad \text{km/s} \tag{6}$$

Por último, la ecuación del cohete para la masa de propelente requerido viene dada aproximadamente por:

$$M_p \simeq 2M_0 \frac{\Delta V}{gI_{sp}} \qquad \text{kg} \tag{7}$$

donde

g: aceleración debida a la gravedad en la superficie de la Tierra = 9,809 m/s^2;

I_{sp}: impulso específico de los motores de empuje;

M_0: masa original del vehículo espacial.

En la fig. 1 se han supuesto los parámetros del satélite Anik-D indicados a continuación:

M_0 = 634 kg;

I_{sp} = 154,8 s para funcionamiento en modo radial por impulsos (para un vehículo espacial estabilizado en tres ejes, puede emplearse un modo de empuje continua que es más eficaz y, en consecuencia, el consumo absoluto de combustible es proporcionalmente menor);

Combustible para mantenimiento en posición = 15,6 kg/año, valor medio;

Consumo máximo de fuel = 40 kg/h (para un satélite estabilizado en tres ejes, este consumo se reduce típicamente a 8 kg/h).

INFORME 454-4

MÉTODO DE CÁLCULO PARA DETERMINAR SI SE REQUIERE COORDINACIÓN ENTRE REDES DE SATÉLITES GEOESTACIONARIOS QUE COMPARTEN LAS MISMAS BANDAS DE FRECUENCIAS

(Programa de Estudios 28A/4)

(1970-1974-1978-1982-1986)

1. Introducción

El incremento de la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios por los satélites y sus estaciones terrenas asociadas puede aumentar las probabilidades de interferencia entre las redes de satélites, si utilizan las mismas bandas de frecuencias. El número de parámetros que caracterizan un sistema es tan amplio que procede elaborar un método sencillo que permita determinar si hay riesgo de interferencia entre dos redes de satélites dadas. El método descrito en este Informe es coherente con el descrito en el apéndice 29 del Reglamento de Radiocomunicaciones y se aplica en los casos en que dos redes comparten una porción común de la banda de frecuencias asignada en, por lo menos, uno de los trayectos. Se basa en el principio de que la temperatura de ruido del sistema sometido a interferencias sufre un aumento aparente como consecuencia de las interferencias que sufre; las señales interferentes se consideran como un ruido térmico con una densidad espectral de potencia igual a la densidad espectral máxima de potencia de las señales. Por consiguiente, este método es aplicable cualesquiera que sean las características de modulación de las redes de satélites de que se trate y las frecuencias precisas que utilicen.

Con este método se calcula, para un determinado enlace por satélite, el incremento aparente de la temperatura de ruido equivalente (la temperatura de ruido equivalente de un enlace por satélite se define en el artículo 168 del Reglamento de Radiocomunicaciones) resultante de una emisión interferente originada por un sistema dado (véase el punto 2 del presente Informe) y la relación entre este incremento y la temperatura de ruido equivalente del enlace por satélite, expresada en %, se compara con un valor umbral (véanse los puntos 2.3 y 3 del presente Informe).

2. Procedimiento para el cálculo del incremento aparente de la temperatura de ruido equivalente del enlace por satélite sometido a una emisión interferente

2.1 Los satélites de radiocomunicación requieren asignaciones de frecuencias en dos bandas, una para el enlace ascendente y la otra para el enlace descendente. Es práctica común el asociar las bandas de frecuencias por parejas, utilizando una para los enlaces ascendentes y la otra para los enlaces descendentes. El caso I, a continuación, se relaciona con la posibilidad de interferencia entre dos sistemas a los que se han asignado bandas de frecuencias en esta forma. Sería posible, sin embargo, utilizar dos bandas de frecuencias en el sentido inverso (uso bidireccional) para ambos sistemas, es decir, la banda del enlace ascendente para una red sería la misma que la del enlace descendente para la red que utiliza un satélite adyacente; este es el caso II. Estos dos casos comprenden todas las posiciones relativas de satélites tanto si están muy próximos como si son casi antipodales.

Sea A un enlace por satélite de la red R asociada al satélite S, y A′ un enlace por satélite de la red R′ asociada al satélite S′. Los símbolos tales como a, b y c se refieren al enlace por satélite A y los símbolos tales como a′, b′ y c′ se refieren al enlace por satélite A′.

A continuación se definen las notaciones que representan los distintos parámetros (para el enlace por satélite A):

T: la temperatura de ruido equivalente del enlace por satélite, referida a la salida de la antena receptora de la estación terrena (K);

T_s: la temperatura de ruido del sistema receptor de la estación espacial, referida a la salida de la antena receptora de la estación espacial (K);

T_e: la temperatura de ruido del sistema receptor de la estación terrena, referida a la salida de la antena receptora de la estación terrena (K);

ΔT_s: incremento aparente de la temperatura de ruido del sistema receptor del satélite S, causado por una emisión interferente, referido a la salida de la antena receptora de este satélite (K);

ΔT_e: incremento aparente de la temperatura de ruido del sistema receptor de la estación terrena, e_R, causado por una emisión interferente, referido a la salida de la antena receptora de dicha estación (K);

p_s: densidad máxima de potencia por Hz suministrada a la antena transmisora del satélite S (media correspondiente a la banda más desfavorable de 4 kHz, cuando la frecuencia de la portadora es inferior a 15 GHz, o a la banda más desfavorable de 1 MHz, cuando la frecuencia de la portadora es superior a 15 GHz) (W/Hz);

$g_3(\eta)$: ganancia de la antena transmisora del satélite S en la dirección η (relación numérica de potencias);

η_A: dirección de la estación terrena receptora e_R del enlace por satélite A, a partir del satélite S;
$\eta_{e'}$: dirección de la estación terrena receptora e'_R del enlace por satélite A′, a partir del satélite S.
Nota. — El producto $p_s g_3(\eta_{e'})$ es la p.i.r.e. máxima por Hz del satélite S en la dirección de la estación terrena receptora e'_R en el enlace por satélite A′;
$\eta_{s'}$: dirección del satélite S′, a partir del satélite S;

p_e: densidad máxima de potencia por Hz suministrada a la antena transmisora de la estación terrena e_T (media correspondiente a la banda más desfavorable de 4 kHz, cuando la frecuencia de la portadora es inferior a 15 GHz, o a la banda más desfavorable de 1 MHz, cuando la frecuencia de la portadora es superior a 15 GHz) (W/Hz);

$g_2(\delta)$: ganancia de la antena receptora del satélite S en la dirección δ (relación numérica de potencias);

δ_A: dirección de la estación terrena transmisora e_T del enlace por satélite A, a partir del satélite S;
$\delta_{e'}$: dirección de la estación terrena transmisora e'_T del enlace por satélite A′, a partir del satélite S;
$\delta_{s'}$: dirección del satélite S′, a partir del satélite S;

$g_1(\theta)$: ganancia de la antena transmisora de la estación terrena e_T en la dirección del satélite S′ (relación numérica de potencias);

$g_4(\theta)$: ganancia de la antena receptora de la estación terrena e_R en la dirección del satélites S' (relación numérica de potencias);

θ : separación angular topocéntrica entre los dos satélites, teniendo en cuenta las tolerancias longitudinales de mantenimiento en posición.
Nota. – Cuando se trate del caso I, sólo debe utilizarse el ángulo topocéntrico θ;

θ_g : separación angular geocéntrica, en grados, entre los dos satélites, teniendo en cuenta la tolerancia de mantenimiento en posición longitudinal.
Nota – Cuando se trate del caso II, sólo debe utilizarse el ángulo geocéntrico θ_g;

k : constante de Boltzmann ($1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K);

l_d : pérdida de transmisión en el espacio libre correspondiente al enlace descendente (relación numérica de potencias), calculada entre el satélite S y la estación terrena receptora e_R, para el enlace por satélite A;

l_u : pérdida de transmisión en el espacio libre correspondiente al enlace ascendente (relación numérica de potencias), calculada entre la estación terrena e_T y el satélite S para el enlace por satélite S;

l_s : pérdida de transmisión en el espacio libre correspondiente al enlace entre satélites (relación numérica de potencias), calculada entre el satélite S y el satélite S';

γ : ganancia en transmisión de un enlace por satélite específico sometido a interferencia, evaluada desde la salida de la antena receptora de la estación espacial S hasta la salida de la antena receptora de la estación terrena e_R (relación numérica de potencias, generalmente inferior a 1).

En el Informe 871 se indican varias maneras de calcular los valores de γ y T dentro de una red.

A fin de simplificar los cálculos, deberá establecerse la hipótesis de que las pérdidas básicas de transmisión correspondientes al enlace espacio-Tierra son idénticas, independientemente del satélite y de la estación terrena que consideren. De igual manera, se suponen idénticas las pérdidas básicas de transmisión correspondientes al enlace Tierra-espacio. Para cada uno de estos dos tipos de enlaces, las pérdidas se calculan para la red R', utilizando la distancia espacio-Tierra o Tierra-espacio, y a la frecuencia central de la banda compartida por las dos redes. Estas hipótesis parecen razonables en el caso de órbita de los satélites geoestacionarios, porque la diferencia entre las pérdidas del enlace más corto y del enlace más largo en el espacio libre, es de tan sólo 1,5 dB, aproximadamente.

Caso I – Redes deseada e interferente que comparten la misma banda de frecuencias en la misma dirección de transmisión

Los parámetros ΔT_s y ΔT_e vienen dados por las ecuaciones:

$$\Delta T_s = \frac{p'_e\, g'_1(\theta)\, g_2(\delta_{e'})}{k l_u} \tag{1}$$

$$\Delta T_e = \frac{p'_s\, g'_3(\eta_e)\, g_4(\theta)}{k l_d} \tag{2}$$

En las ecuaciones anteriores, las ganancias $g'_1(\theta)$ y $g_4(\theta)$ son las de las estaciones terrenas consideradas. En el caso en que no se disponga de datos generales precisos relativos a antenas de estaciones terrenas, se utilizará el diagrama de radiación de referencia dado en la Recomendación 465 y en el Informe 391.

El símbolo ΔT se utilizará para designar el incremento de la temperatura de ruido equivalente correspondiente al enlace por satélite completo referido a la salida de la antena receptora e_R, provocado por la interferencia causada por la red R'.

Este incremento de la temperatura de ruido resulta de la interferencia que se recibe tanto en el receptor del satélite como en el de la estación terrena del enlace A. Cuando los satélites S y S' están equipados con simples repetidores-convertidores de frecuencia que utilizan la misma frecuencia de translación, las interferencias que se reciben en el enlace A se originan en los enlaces ascendente y descendente por el mismo enlace A'.

Por consiguiente, puede expresarse como sigue:

$$\Delta T = \gamma \Delta T_s + \Delta T_e \tag{3}$$

$$\Delta T = \gamma \frac{p'_e\, g'_1(\theta)\, g_2(\delta_{e'})}{kl_u} + \frac{p'_s\, g'_3(\eta_e)\, g_4(\theta)}{kl_d} \tag{4}$$

y por lo tanto,

la ecuación (4) combina las interferencias correspondientes a los enlaces ascendente y descendente.

Si las frecuencias de translación de los dos satélites no son iguales, los diferentes enlaces en la red R′ pueden interferir con el enlace A en los receptores del satélite y de la estación terrena; sean A′ y $\overline{A'}$ dos enlaces de la red R′ (los parámetros tales como $\overline{a'}$, $\overline{b'}$ y $\overline{c'}$ se refieren al enlace $\overline{A'}$):

$$\Delta T = \gamma \frac{p'_e\, g'_1(\theta)\, g_2(\delta_{e'})}{kl_u} + \frac{\overline{p'_s}\ \overline{g'_3}(\eta_e)\, g_4(\theta)}{kl_d} \tag{5}$$

De forma análoga, se calculará el incremento $\Delta T'$ de la temperatura de ruido equivalente del enlace por satélite completo referido a la salida de la antena receptora de la estación terrena e'_R, provocado por la interferencia causada por la red R, utilizando las ecuaciones:

$$\Delta T'_{s'} = \frac{p_e\, g_1(\theta)\, g'_2(\delta_e)}{kl_u} \tag{6}$$

$$\Delta T'_{e'} = \frac{p_s\, g_3(\eta_{e'})\, g'_4(\theta)}{kl_d} \tag{7}$$

Cuando las frecuencias de translación de los dos satélites son iguales:

$$\Delta T' = \gamma' \frac{p_e\, g_1(\theta)\, g'_2(\delta_e)}{kl_u} + \frac{p_s\, g_3(\eta_{e'})\, g'_4(\theta)}{kl_d} \tag{8}$$

Cuando las frecuencias de translación de los dos satélites son distintas (denominando A y $\overline{A}$ dos enlaces de la red R y $\bar{a}$, $\bar{b}$ y $\bar{c}$ los parámetros correspondientes):

$$\Delta T' = \gamma' \frac{p_e\, g_1(\theta)\, g'_2(\delta_e)}{kl_u} + \frac{\overline{p_s}\ \overline{g_3}(\eta_{e'})\, g'_4(\theta)}{kl_d} \tag{9}$$

En el caso de dos satélites de acceso múltiple, deberá efectuarse el cálculo para cada uno de los enlaces por satélite establecidos mediante uno de los satélites con relación a todos los enlaces por satélite establecidos por medio del otro.

Si sólo el enlace ascendente o el descendente de la red de satélites deseada comparte una banda de frecuencias con la red de satélites interferente, el valor de ΔT debe obtenerse mediante la ecuación (3), haciendo cero ΔT_s o ΔT_e, según proceda.

Caso II – Redes deseada e interferente que comparten la misma banda de frecuencias en direcciones opuestas de transmisión (uso bidireccional)

Empleando la notación, el aumento de la temperatura de ruido ΔT_s referido a la salida de la antena receptora del satélite del enlace A viene dado por:

$$\Delta T_s = \frac{p'_s\, g'_3\,(\eta_s)\, g_2\,(\delta_{s'})}{k l_s} \tag{10}$$

Por consiguiente, el incremento aparente de la temperatura de ruido equivalente del enlace viene dado por:

$$\Delta T = \gamma \Delta T_s \tag{11}$$

El incremento $\Delta T'$ de la temperatura de ruido equivalente del enlace A' originado por las emisiones interferentes del satélite asociado al enlace A, viene dado por:

$$\Delta T' = \gamma'\, \Delta T'_{s'} = \gamma' \frac{p_s\, g_3\,(\eta_{s'})\, g'_2\,(\delta_s)}{k l'_s} \tag{12}$$

Si los dos enlaces A y A' únicamente comparten una banda, se producirá interferencia entre enlaces de satélites adyacentes solamente en el enlace que utilice la banda compartida para su trayecto ascendente.

En el caso de interferencia entre estaciones terrenas asociadas a enlaces con asignaciones inversas de frecuencia, se emplearán procedimientos de coordinación análogos a los utilizados para la coordinación entre estaciones terrenas y terrenales.

2.2 *Consideraciones respecto al aislamiento por polarización*

Puede también utilizarse la discriminación por polarización para reducir la probabilidad de interferencias entre redes de satélite, cuando se emplean polarizaciones diferentes. En este caso, el incremento aparente de la temperatura de ruido equivalente del enlace por satélite puede determinarse mediante las siguientes expresiones:

Caso I

$$\Delta T = \frac{\gamma \Delta T_s}{Y_u} + \frac{\Delta T_e}{Y_d} \tag{13}$$

Caso II

$$\Delta T = \frac{\gamma \Delta T_s}{Y_{ss}} \tag{14}$$

donde los valores de γ, ΔT_s y ΔT_e son del punto 2.1 y los valores de Y_u, Y_d e Y_{ss} son los factores de aislamiento por polarización (relación numérica) para el enlace ascendente, el enlace descendente y el enlace entre satélites, respectivamente. En el apéndice 29 del Reglamento de Radiocomunicaciones se dan valores de los factores de aislamiento por polarización. Estos valores deben ser objeto de un estudio más amplio.

Como los factores de aislamiento por polarización dependen de los tipos de polarización utilizada por cada red y de la distribución estadística de los niveles de polarización ortogonal, el factor de aislamiento por polarización antes indicado se tendrá en cuenta solamente si se ha notificado o publicado la polarización de acuerdo con lo establecido en el artículo 11 del Reglamento de Radiocomunicaciones.

2.3 *Comparación entre el valor calculado y el valor preestablecido del incremento de la temperatura de ruido equivalente del enlace por satélite*

Para determinar el mayor valor de $\Delta T/T$ es necesario asegurar que se han incluido todos los casos de posible interferencia. La mayor interferencia entre redes de satélite puede ser la del enlace ascendente o la del enlace descendente por lo que deberá poderse disponer de datos suficientes para calcular ambos casos con respecto a cada zona de servicio espacio-Tierra y a cada utilización prevista de conformidad con el apéndice 4 del Reglamento de Radiocomunicaciones. $\Delta T/T$ viene dado por la expresión:

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{\Delta T_e}{T} + \frac{\gamma \Delta T_s}{T} \tag{15}$$

Cuando $\gamma\Delta T_s/T \gg \Delta T_e/T$, el mayor valor de $\Delta T/T$ se produce cuando γ/T es máximo. Cuando $\Delta T_e/T \gg \gamma\Delta T_s/T$, el mayor valor de $\Delta T/T$ se produce cuando γ/T es mínimo. Por tanto, es preciso hacer determinaciones utilizando los valores de γ y T asociados al valor máximo de γ/T y empleando el valor mínimo de T y su valor asociado de γ. Los cálculos deben efectuarse para los conjuntos de valores de T y γ identificados en el apéndice 4 del Reglamento de Radiocomunicaciones. Los mayores valores calculados de $\Delta T/T$ y $\Delta T'/T'$, expresados en %, deben compararse con los preestablecidos, que son iguales al 4% de las temperaturas de ruido equivalentes del enlace correspondiente (véase el apéndice 29 del Reglamento de Radiocomunicaciones):

- si el valor calculado de $\Delta T/T$ es inferior o igual al preestablecido, el nivel de interferencia causado por el enlace del satélite A' en el enlace del satélite A será admisible, independientemente de las características de modulación de ambos enlaces por satélite y de las frecuencias específicas utilizadas;
- si el valor calculado de $\Delta T/T$ es superior al preestablecido, habrá que efectuar un cálculo más detallado aplicando los métodos y técnicas establecidos en los Informes 388 y 455, durante el procedimiento de coordinación entre administraciones.

La comparación entre el valor calculado y el valor preestablecido de $\Delta T'/T'$, debe efectuarse de la misma manera.

Puede verse, como ejemplo de este método, que en el caso de un enlace por satélite cuyas características de funcionamiento estén de acuerdo con las actuales Recomendaciones del CCIR, que utilice telefonía con modulación de frecuencia y tenga un ruido total por canal telefónico de 10 000 pW0p, incluidos 1000 pW0p de ruido de interferencia producidos por sistemas de relevadores radioeléctricos terrenales y 2000 pW0p de ruido de interferencia causados por otros enlaces por satélite, un aumento del 4% de la temperatura de ruido equivalente correspondería a un máximo de 280 pW0p de ruido debido a la interferencia.

3. Procedimientos para el caso de transpónderes que efectúan un proceso de la señal

Cuando la señal sufra una modificación de su modulación o una regeneración en el satélite, el cálculo de los efectos de la interferencia del enlace ascendente en la calidad de funcionamiento del enlace completo exigirá procedimientos especiales. En ciertos casos, como cuando se emplean transpondedores analógicos con proceso de la señal, que incluya una demodulación y remodulación de ésta, sería posible calcular un valor apropiado de γ que tenga en cuenta el proceso de la señal y relacionar la contribución de interferencia del enlace ascendente al enlace descendente. En estos casos podría efectuarse el cálculo utilizando la ecuación (3) y el factor γ modificado.

En otros casos puede no ser posible calcular un valor de γ que refleje razonablemente el tratamiento sufrido por la señal en el satélite; tal ocurre cuando se emplean transpondedores regeneradores digitales. En estos casos habrá que tratar por separado los enlaces ascendente y descendente y determinar valores individuales de temperatura equivalente de ruido del enlace para ambos enlaces. Se notificarían independientemente los valores de T_{seq} y T_{eeq} para los enlaces ascendente y descendente respectivamente, en donde T_{seq} es la temperatura equivalente del sistema en el enlace ascendente referida a la salida de la antena receptora del satélite, y T_{eeq} la temperatura equivalente del sistema en el enlace descendente referida a la salida de la antena receptora de la estación terrena. Se calcularán entonces $\Delta T_s/T_{seq}$ y $\Delta T_e/T_{eeq}$, y se compararán con un valor predeterminado. Hasta tanto se realicen estudios más detenidos, este valor será de 4% tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente.

4. Determinación de los enlaces por satélite que hay que tomar en consideración para calcular el incremento de la temperatura equivalente de ruido a partir de los datos suministrados para la publicación anticipada de información sobre una red de satélites

Debe determinarse el incremento de temperatura de ruido equivalente causado en cualquier enlace de las otras redes de satélites existentes o en proyecto, debido a interferencias producidas por la red de satélites propuesta.

Para cada antena receptora del satélite de la red interferida, habrá que determinar la posible ubicación de la estación terrena transmisora de la red de satélites interferente que sea más desfavorable, superponiendo, sobre un mapa de la superficie de la Tierra, a los contornos de ganancia de la antena receptora de la estación espacial, las zonas de servicio «Tierra-espacio» de la red interferente. La posible ubicación más desfavorable para la estación terrena transmisora es aquella que se encuentra en la dirección de máxima ganancia de la antena de recepción del satélite de la red interferida.

Asimismo, se determinará de manera análoga para cada zona de servicio «espacio-Tierra» de la red interferida, la posible ubicación más desfavorable de la estación terrena receptora de la red interferida. La posible ubicación más desfavorable de la estación terrena receptora, es aquella que se encuentra en la dirección de máxima ganancia de la antena transmisora del satélite de la red interferente.

Otra posibilidad consiste en utilizar el método descrito en el anexo I para tener en cuenta las ubicaciones menos favorables de la estación terrena en la determinación de $\Delta T/T$.

Las ganancias de las antenas receptora y transmisora indicadas en los dos párrafos precedentes se obtienen de los respectivos contornos de ganancia requeridos por el artículo 11 del Reglamento de Radiocomunicaciones, como parte del procedimiento de publicación anticipada. Cuando uno de los dos sistemas de satélites geoestacionarios considerados o ambos estén en servicio, será preferible utilizar los diagramas de radiación reales medidos de las antenas de satélite. Estos diagramas de radiación medidos permitirían una evaluación más realista de la interferencia potencial en los cálculos ulteriores.

Si el satélite de la red interferida está dotada de transpondedores simples de traslación de frecuencia, estas determinaciones de ubicación deben hacerse por pares, es decir: por una parte, para la antena receptora del satélite asociada a un determinado transpondedor y, por otra parte, para la zona de servicio «espacio-Tierra» correspondiente a la antena transmisora del satélite asociada a ese transpondedor.

El método de cálculo anterior permite determinar también el incremento de la temperatura de ruido equivalente provocado en cualquier enlace de la red por satélite en proyecto, como consecuencia de interferencias producidas por cualquier otra red de satélites.

5. Datos que se han de tomar en consideración

Para la determinación del aumento de la temperatura de ruido equivalente del enlace por satélite, es necesario disponer de la correspondencia entre las bandas de los enlaces ascendentes y las de los enlaces descendentes. Además, sería útil conocer, respecto de cada banda de frecuencias, el número del repetidor utilizado y la designación del haz empleado.

Además la ganancia de las antenas de la estación espacial se podría presentar en forma de diagrama de radiación, trazado sobre un fondo que represente la Tierra vista desde el satélite. En dicho diagrama se mencionarían la ganancia máxima en el centro del haz y las ganancias relativas de cada contorno (2, 4, 6, 10, 20, 30 dB, . . .). También se indicaría el contorno correspondiente a la zona de servicios con un tipo de línea distinto del utilizado para los contornos de ganancia.

Esta información daría una idea más concreta del enlace completo y, por ende facilitaría el cálculo del aumento aparente de la temperatura de ruido equivalente del enlace.

6. Consideración de las portadoras de banda estrecha

El método de cálculo descrito en este Informe puede subestimar la interferencia procedente de portadoras de televisión de exploración lenta sobre ciertas portadoras de banda estrecha (un solo canal por portadora – SCPC). El CCIR está haciendo estudios más profundos para facilitar la predicción exacta de la interferencia mutua entre redes de satélites en estas circunstancias.

7. Otras consideraciones

7.1 *Atenuación en cielo despejado*

Con el empleo de frecuencias más altas, la atenuación en cielo despejado o la absorción debida a los gases se convierten en factores significativos para determinar los parámetros operacionales. Como afecta también a los trayectos interferentes, podría incluirse en los cálculos de $\Delta T/T$. Es necesario definir más concretamente el procedimiento que permita tener en cuenta la atenuación en cielo despejado.

7.2 *Ganancia de transmisión*

Considerar, para la determinación del parámetro, γ, de la ganancia de transmisión, la utilización del método 2 descrito en el Informe 871 pues el punto de funcionamiento del transpondedor de una medida más precisa de la ganancia de transmisión que los otros parámetros.

7.3 *Temperatura de ruido del enlace en un modo multiportadoras*

Siempre que una red funcione con transpondedores en modo multiportadoras, ha de considerarse el efecto del funcionamiento con multiportadoras para la determinación de la temperatura del ruido del enlace. La razón es que la ausencia del ruido de intermodulación implica un modo de portadora sencilla o doble que, a su vez, supone el empleo de portadoras de relativamente alta capacidad. Este tipo de portadoras, son protegidas adecuadamente con valores algo más altos de ΔT.

8. Otros posibles métodos

Se ha estudiado otros posibles métodos para la aplicación de $\Delta T/T$ con el objeto de identificar probables mejoras, en particular, la reducción del número de coordinaciones requeridas. Uno de los métodos propuestos se describe en el anexo III del Informe 453. Consiste en utilizar una serie de valores predeterminados de $\Delta T/T$ que dependen del tipo de portadoras deseada e interferente que intervienen, en vez del valor único indicado en el punto 2.3. Este método se denomina «determinación de la interferencia utilizando valores normalizados de los incrementos de la temperatura de ruido equivalente del enlace». Sería conveniente realizar nuevos estudios sobre esas posibilidades.

ANEXO I

CÁLCULOS DE $\Delta T/T$ PARA SATELITES GEOESTACIONARIOS CON UBICACIONES NO ESPECIFICADAS DE ESTACIÓN TERRENA

A continuación, se presenta un método de cálculo de $\Delta T/T$ cuando no se conocen específicamente las ubicaciones de la estación terrena.

El ángulo topocéntrico (θ_t) entre dos satélites, es función de la longitud y latitud de las estaciones terrenas con respecto al punto subsatelital. La longitud y latitud determinan el ángulo geocéntrico (φ) entre el punto subsatelital y la estación terrena. Cuando (φ) aumenta, (θ_t) disminuye y aumentan las distancias a los dos satélites (d_1 y d_2). Se pueden formar las relaciones entre ángulos topocéntrico y geocéntrico (θ_t/θ_g), así como las relaciones de distancias (d_1/d_0) y (d_2/d_0), donde (d_0) es la distancia entre el satélite y el punto subsatelital.

Las magnitudes ΔT_s y ΔT_e, pueden calcularse utilizando $G(\theta_g)$ y (d_0) en vez de (l_u) y (l_d) y añadiendo una atenuación (Δl) que es:

$$\Delta l = 25 \log (\theta_t/\theta_g) + 20 \log (d_1/d_0 \text{ o } d_2/d_0) \quad \text{dB}$$

suponiendo que es aplicable la atenuación de envolvente de lóbulos laterales de estación terrena de referencia 25 log (θ). Se obtienen los valores mínimos de (θ_t/θ_g) cuando las estaciones terrenas están situadas en el ecuador (E-W). Se presenta un caso ortogonal cuando las situaciones terrenas están situadas en la longitud correspondiente a la mitad de la separación entre satélites (N-S). Para el caso (E-W) (θ_t/θ_g), d_1 y d_2 se calculan utilizando las ecuaciones del anexo III del apéndice 29 del Reglamendo de Radiocomunicaciones. Cuando (θ_g) se aproxima a 0:

$$(\theta_t/\theta_g)_{E-W} \approx \frac{42\,166}{d} \cos T \quad \text{para} \quad d_1 = d_2 = d$$

para las estaciones terrenas situadas en el ecuador, donde (T) es el ángulo entre las estaciones terrenas visto desde el satélite. Para el caso (N-S):

$$(\theta_t/\theta_g)_{N-S} \approx \frac{42\,166}{d} \quad \text{para} \quad d_1 = d_2 = d$$

para (θ_g) hasta como mínimo 15 a 20°, y para las estaciones terrenas situadas en la longitud correspondiente al punto medio de la separación entre satélites.

Con estas funciones se calcula Δl, en función de (φ) para (θ_g) de hasta 15°; el resultado se ha representado en la fig. 1. El ángulo (φ) correspode al satélite más próximo y el ángulo ($\varphi + \theta_g$), al satélite más alejado en el plano (E-W).

Si la interferencia del enlace ascendente se asocia con (d_1) la interferencia del enlace descendente quedará asociada con (d_2) o viceversa, y, en consecuencia, Δl_u y Δl_d están relacionadas de modo similar. Si está limitado el ángulo de elevación (H) de la estación terrena también lo estará el ángulo (φ). Las funciones aproximadas para Δl), son:

Caso (E-W):

$$\Delta l_d \approx A \pm 0{,}011\ \theta_g \text{ y } \Delta l_u \approx A \pm 0{,}011\ \theta_g \quad \text{dB}$$

donde:

$$A \approx 1{,}32 + 0{,}0065H + 0{,}006\ \theta_g \quad \text{dB}$$

con H y θ_g en grados

Caso (N-S):

$$\Delta l_d = \Delta l_u \approx 1{,}45 + 0{,}00056H + 0{,}006\ \theta_g \quad \text{dB}$$

Pueden determinarse los valores de (φ) buscando los valores de ganancia más altos de la antena de satélite, como se describe en el punto 4. Puede estimarse por extrapolación el (Δl) para las estaciones terrenas situadas en un punto distinto del ecuador o de la línea de la longitud correspondiente al punto medio de la separación entre satélites.

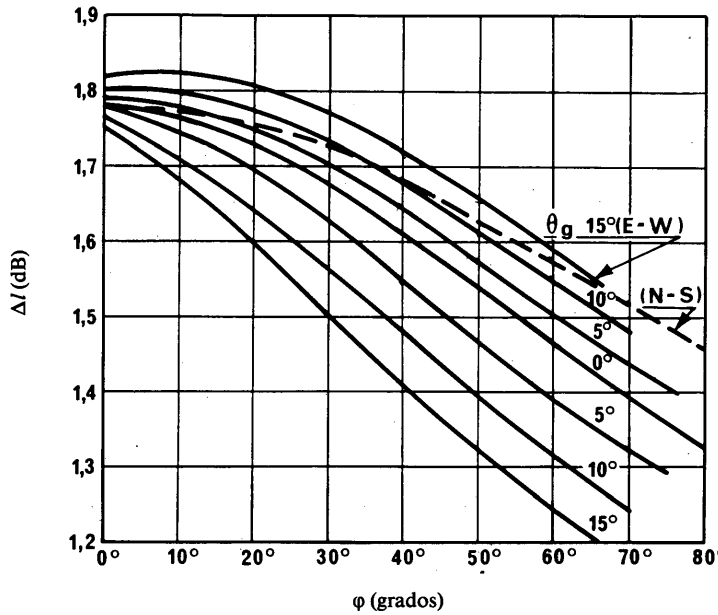


FIGURA 1 – *Atenuación adicional (Δl) del trayecto de interferencia como función del ángulo geocéntrico (φ) entre el punto subsatelital y la estación terrena*

θ_g : Separación angular geocéntrica entre satélites

φ : Ángulo geocéntrico de la Tierra entre el punto subsatelital y la estación terrena

Δl : Atenuación adicional del trayecto de interferencia cuando se utilizan 35 796 km para calcular la atenuación en espacio libre y la ganancia fuera del eje de la antena de la estación terrena es proporcional a $-25 \log \theta_g$

INFORME 870-1

MÉTODOS DE COORDINACIÓN TÉCNICA DE LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN POR SATÉLITE

(Programa de Estudios 28B/4)

(1982-1986)

1. Introducción

Es necesario evaluar la interferencia potencial entre redes de satélites y si esta interferencia potencial es mayor de lo permitido, las partes involucradas deben llegar a establecer un conjunto de condiciones mutuamente aceptable para la utilización de sus redes respectivas. En el Reglamento de Radiocomunicaciones se establecen los métodos para determinar la necesidad de coordinación y los procedimientos que deben seguirse. Se dejan a la discreción de las partes interesadas los métodos y procedimientos para el proceso de coordinación. Estas coordinaciones son típicamente bilaterales. La finalidad del presente Informe es resumir los diversos métodos, procedimientos y técnicas que pueden utilizarse en el proceso de coordinación.

2. Enfoque general

A los efectos del presente Informe, se denomina red A a la que desea acceder a la orbita. Se da por supuesto que los cálculos de ΔT basados en la información requerida con arreglo al apéndice 3 del Reglamento de Radiocomunicaciones y publicada por la IFRB en los casos de las redes registradas*, de las redes no registradas todavía pero ya coordinadas y de las redes que se hallan en curso de coordinación, han determinado la necesidad de proceder a una coordinación con las redes B, C, D, etc., que pueden estar en cualquiera de estas categorías. Todos esos sistemas gozan de prioridad respecto de la red A del solicitante. El proceso de coordinación se inicia mediante el envío de una solicitud de coordinación a la administración o administraciones afectadas, con copia a la IFRB.

La información preceptiva requerida con arreglo al apéndice 3, que se somete junto con la solicitud de coordinación, no basta como base de tal coordinación, ya que sólo permite hacer los cálculos ΔT que determinan la necesidad de una coordinación en primer término. Es necesario, por tanto, que el solicitante suministre una información más detallada sobre su red A y pida a las administraciones notificantes de cada red B, C, D, etc., con las cuales se haya determinado la necesidad de tal coordinación, que también ellas proporcionen una información más detallada. La información más detallada que puede suministrarse y solicitarse en ese caso es la que se enumera en el apéndice 3, pero es posible que a menudo se requiera el intercambio de una información aún mayor entre el solicitante y la administración o administraciones afectadas.

La información intercambiada se utiliza entonces para realizar los cálculos necesarios para lograr la coordinación. A veces esto último puede entrañar que en la red del solicitante, en la(s) red(es) afectada(s), o en ambas, se introduzcan modificaciones de ciertos parámetros intercambiados originalmente (incluso cambios en la información preceptiva prevista en el apéndice 3), como resultado de una negociación o de mediciones o análisis más recientes, que se concierten acuerdos no concordantes con las Recomendaciones del CCIR o con las disposiciones del Reglamento de Radiocomunicaciones o que se convengan limitaciones especiales en cuanto al funcionamiento de una u otra red.

Los resultados de un proceso de coordinación completado satisfactoriamente pueden permanecer reservados a menos que estén basados en la información facultativa del apéndice 3. Otros acuerdos anteriores y posteriores a aquéllos, relacionados con esa información facultativa, pero que forman parte de las actuaciones llevadas a cabo para completar con éxito el proceso de coordinación, no necesitan ser publicados; no obstante, una o ambas partes pueden estar interesadas en rendir un informe completo del acuerdo de coordinación a la IFRB. En los casos en que una administración que efectúa coordinación solicite ayuda de la IFRB, ésta la reemplaza, a todos los efectos, en el proceso de coordinación y entonces tiene acceso automáticamente a todos los acuerdos y detalles de la coordinación.

Alcanzada la finalización satisfactoria del proceso de coordinación, la administración solicitante deberá informar a la IFRB acerca de este hecho, e incluir una lista con todos los elementos de información del apéndice 3 que se han utilizado para obtener una coordinación satisfactoria y deberá, simultáneamente, comunicar a la IFRB formalmente sus asignaciones de frecuencias y todos los demás elementos de notificación (apéndice 3, secciones G y H, formularios de notificación para asignaciones de frecuencia a las estaciones terrenas y espaciales, respectivamente). De esta forma se cumple con todos los requisitos para la inscripción de estas asignaciones en el Registro.

Si esta coordinación también obliga a cambiar la información notificada previamente por otras administraciones de acuerdo con el apéndice 3, deberá asimismo notificarse ésto a la IFRB por las administraciones afectadas.

3. Proceso de coordinación

A efectos de su análisis, es posible dividir el proceso de coordinación en tres fases.

La primera comprende la inspección de las transmisiones actuales o proyectadas de las redes en cuestión y una evaluación de su interacción respecto de los criterios «normales» de interferencia.

La segunda fase del proceso consiste en una investigación de los cambios potenciales de aquellos elementos del plan de transmisión (características de transmisión, planes de frecuencias), o posiciones orbitales que podrían llevar a una solución de cualquiera de los problemas de interferencia identificados en la fase 1. Generalmente la administración solicitante tenderá a ser más flexible ante estos cambios en su red que la administración que explota un sistema existente; pese a ello, no ha de preverse en esta fase 2 que ninguna de esas redes contemple aceptar limitaciones considerables en su modo actual o previsto de explotación ni en el tipo, distribución y calidad del servicio. Mediante un examen pormenorizado de todos los parámetros técnicos y de explotación, debería ser posible que en esta fase se resolviesen situaciones de interferencia específicas y aparentemente de cierta importancia.

De haber necesidad de una tercera fase, ésta consistiría en el examen y negociación de las modificaciones o ajustes del sistema en el caso de una u otra red, o de ambas. Tales cambios pueden incidir en la calidad y tipo de servicio, así como en las posibilidades de crecimiento futuro de una u otra red, o de ambas.

---

* Por red registrada se entiende aquella cuyas asignaciones figuran en el Registro de la IFRB.

Al afrontar la solución de las condiciones de interferencia debe tenerse presente que toda solución específica concebida para las dos redes en cuestión puede crear o agravar problemas con otras redes; ello puede revestir particular importancia tratándose de ubicaciones de estaciones espaciales.

4. Consideraciones técnicas

En el proceso de coordinación hay fundamentalmente dos facetas iniciales:

- acuerdo sobre los criterios de interferencia aceptable; y
- acuerdo sobre los cálculos de la interferencia.

Para los criterios de interferencia pueden usarse las Recomendaciones del CCIR, pero también pueden seguirse otros criterios de aceptación mutua. Los cálculos implican generalmente trasladar los criterios de salida del receptor a los criterios a la entrada en radiofrecuencia (RF) y la consideración de los parámetros de interferencia del enlace en RF. Puesto que muchos de los parámetros sujetos a modificación están asociados al ámbito de RF, puede ser conveniente clasificar las formas de aproximación a la coordinación de este ámbito, esto es, basándose en criterios en RF.

4.1 *Ámbitos de interferencia*

Una primera fase en el proceso de coordinación es la identificación de los ámbitos de interferencia. Se debe identificar cada banda o segmento de banda comunes a ambas redes, para cada haz de satélite en los dos segmentos espaciales. Dentro de cada una de tales bandas o segmentos de bandas, se identifican aquellas porciones en las que permanecen constantes las sensibilidades de recepción (G/T) de la estación espacial y de la estación terrena y las densidades de p.i.r.e. de la estación espacial y de la estación terrena, en cualquiera de las redes.

Este proceso permite determinar todos los dominios de interferencia. Ciertas partes del espectro pueden aparecer varias veces, debido a la reutilización de las frecuencias dentro de la red de satélite. Cuando las frecuencias de los enlaces ascendente y descendente, o los haces del satélite, o ambos pueden agruparse por pares de varias formas (conmutación de la conectividad de los haces en una estación espacial), deben considerarse todas las posibles configuraciones operacionales. Además, el número de ámbitos estará limitado normalmente, al menos en las estaciones espaciales convencionales, por la disposición del transpondedor de las estaciones espaciales y pueden, en las estaciones espaciales simples, albergar varios o todos los transpondedores. Cuando dos estaciones espaciales tienen haces de antena de satélite únicos, (esto es, coincidencia en la cobertura de los haces transmisor y receptor) y todos sus transpondedores tienen características uniformes sobre la banda de frecuencias comunes, habrá únicamente un ámbito de interferencia.

4.2 *Métodos de coordinación*

La selección de los métodos utilizados para la coordinación se determina mediante acuerdo entre las administraciones participantes. Las características de las redes afectadas y la posible gravedad de la interferencia influirán en la elección del método que ha de utilizarse para la coordinación.

La coordinación de la interferencia puede lograrse, en la práctica, mediante diversas técnicas. Cabe mencionar las siguientes:

- la comparación de las características de la *potencia total de la portadora* de las transmisiones con criterios de *potencia* interferente recibida admisible;
- la comparación de las características de *densidad de potencia* de las transmisiones con criterios de *densidad de potencia* interferente recibida admisible;
- la comparación del *aislamiento* disponible entre redes (pérdida de acoplamiento normalizada entre redes) con criterios de *aislamiento* necesario entre transmisiones (relación normalizada «portadora deseada/portadora interferente»).

En el primer caso, los criterios RF pueden expresarse como I/N o C/I y para el segundo caso, como I_0/N_0 o C_0/I_0, donde I es la potencia interferente, N es la potencia de ruido interno del enlace y C la potencia de la portadora deseada; el subíndice «0» indica «potencia/Hz», promediada en un ancho de banda de referencia. En el tercer caso, los criterios de interferencia se expresan en términos de relación C/I necesaria entre dos transmisiones, normalizada con respecto a las relaciones «potencia de la portadora/densidad de ruido» (C/N_0), características de los requisitos de calidad de ambas transmisiones.

4.2.1 *Método de la potencia de la portadora*

Este método es principalmente aplicable a los casos siguientes:

- en bandas de frecuencias en las que las redes de satélite están bien desarrolladas y en las que la población es relativamente elevada;
- para modulaciones que están bien definidas y pueden ser de cualquier tipo: de un solo canal por portadora (SCPC), analógicas, digitales, TV-MF, etc.;
- en bandas de frecuencias en las que este método se ha utilizado ampliamente.

La información preceptiva requerida por el apéndice 3 no es suficiente para servir como base para la coordinación con un método I/N o C/I. Es necesario que la administración solicitante remita más información detallada de su red. Es también preciso que otras administraciones que exploten redes con las cuales se ha establecido la necesidad de coordinación, suministren más información detallada. Efectuar la coordinación con los métodos I/N o C/I requiere un intercambio total de los datos del apéndice 3, incluyendo la señalada con superíndices, para cada tipo de portadora, cada tipo de estación terrena y cada haz de antena de satélite, dentro de todas las bandas o segmentos de banda comunes a ambas redes; y en caso de existir, los planes de frecuencia individuales. Puesto que esta información es adecuada para el método C/I, parecería deseable proceder con este método, puesto que suministra una estimación más exacta de la interferencia.

Primero deben identificarse los ámbitos de la interferencia. En cada uno de éstos es necesario identificar los tipos de portadoras que se usan en transmisión o se han planeado utilizar en ambas redes. Si se desconocen los planes de frecuencias debe suponerse la combinación más desfavorable de interferencias entre las portadoras de ambas redes. En la mayor parte de los casos ello corresponderá a una coincidencia de la frecuencia de esas portadoras. El análisis de interferencia se simplifica cuando se conocen los planes de frecuencias o cuando únicamente es posible una disposición de las transmisiones en las dos redes, dentro de un ámbito de interferencia dado.

En cada ámbito, se calcula la interferencia procedente de cada tipo de transmisión de una red, en cada tipo de transmisión de la otra, para las asignaciones de frecuencias coincidentes (o, donde sea factible, para las asignaciones reales o planeadas de frecuencias) en cada sentido (esto es, de la red A a la red B y viceversa). Cada emisión interferente se supone que se origina en la estación terrena transmisora que utiliza o se espera que utilice la antena de más baja ganancia (esto es, la que tenga la más alta p.i.r.e. *fuera* del eje). Cuando la transmisión interferente ocupe un ancho de banda mucho menor que el de la transmisión interferida, deberá suponerse que las transmisiones del tipo interferente ocupan, a intervalos apropiados, enteramente la banda ocupada por la transmisión interferida.

A continuación es necesario comparar los valores resultantes calculados de la C/I con los valores mutuamente aceptables de la interferencia de una sola fuente. Se habrá efectuado una coordinación satisfactoria, cuando estos cálculos demuestren que se obtienen valores aceptables de C/I en todos los casos.

Si los criterios de interferencia no se satisfacen en uno o más casos, éstos deben considerarse individualmente. Cuando el criterio se excede sólo ligeramente, puede acordarse que estos niveles de interferencia en su red, no obstante exceder ligeramente los valores del criterio, podría ser aceptable y, si no existe otra faceta de desacuerdo, podría considerarse inmediatamente la coordinación como satisfactoria. De otra manera, puede ser necesario contemplar diversas medidas con objeto de alcanzar los criterios mutuamente aceptables.

4.2.2 *Método de la densidad de potencia*

Este método puede ser aplicable principalmente a los casos siguientes:

- en banda de frecuencia en las que las redes de satélite están en las etapas iniciales de desarrollo y en las que la población de satélites es reducida;
- para modulaciones que tienen una densidad espectral de potencia casi uniforme; por ejemplo, modulaciones digitales;
- cuando los cálculos iniciales de $\Delta T/T$ presentan valores que son aceptables para cada administración; éste puede ser el caso de algunos dominios comunes entre las redes;
- cuando hay un grado considerable de flexibilidad en una o en ambas redes, de modo que puedan modificarse los valores de la densidad de potencia.

Con este método puede hacerse la evaluación inicial de interferencia empleando los datos preceptivos del apéndice 3 para cada uno de los ámbitos de interferencia. Esta evaluación inicial, puede identificar los ámbitos particulares en los que la interferencia potencial sea más severa y también identificar si la interferencia en el enlace ascendente o en el enlace descendente es la dominante. Cada usuario podría utilizar, basándose en sus modulaciones de portadora, los valores de I_0/N_0 aceptables para él.

Es posible que los cálculos pudieran dar como resultado unos valores de I_0/N_0 mutuamente aceptables, en cuyo caso se efectúa una coordinación satisfactoria. Si los valores I_0/N_0 no son aceptables, entonces deben efectuarse otros cálculos. Si la interferencia en el enlace ascendente es la fuente dominante, se pueden realizar modificaciones en las densidades de potencia del enlace ascendente y en las ganancias de transmisión, para reducir la interferencia mutua. Adicionalmente, puede hacerse una reordenación de los accesos a los segmentos de la banda; esto es, una modificación de los ámbitos de interferencia mutua.

Puede utilizarse la densidad media de potencia de un transpondedor para determinar la mínima separación posible entre satélites que pueda constituir una medida eficaz de la separación entre satélites alcanzable en el proceso de coordinación. Dado que la potencia de un transpondedor es limitada, la densidad de potencia promediada en la anchura de banda del transpondedor es también limitada. Utilizando esta densidad de potencia media, puede determinarse una separación entre satélites correspondiente a un criterio de interferencia dado, teniendo en cuenta las inhomogeneidades previstas del tráfico en la coordinación detallada entre las redes. Puede utilizarse esta separación entre satélites en el proceso de coordinación como base para determinar las separaciones entre satélites alcanzables. Si en una parte de la banda del transpondedor existen densidades de potencia superiores a esta densidad de potencia media, también existirán en otras partes de la banda del transpondedor densidades de potencia inferiores a la media; esta es una condición que puede utilizarse en el proceso de coordinación.

También puede resultar adecuada la utilización de anchuras de banda medias, o de referencia, acordes con las portadoras utilizadas, en vez de las anchuras de banda de referencia de 4 kHz y 1 MHz del Reglamento de Radiocomunicaciones. Esto producirá generalmente valores de I_0/N_0 inferiores y facilitará el procedimiento de coordinación, sobre todo en caso de antagonismo entre portadoras de banda estrecha de un satélite y portadoras de banda ancha de otro satélite. En este caso, puede utilizarse una separación entre satélites basada en criterios de interferencia de portadora de banda estrecha para obtener criterios de interferencia admisibles para las portadoras de banda ancha y evitar así la planificación detallada de las frecuencias portadoras. La interferencia de las portadoras de banda ancha en las portadoras de banda estrecha será relativamente uniforme si la densidad de potencia de las primeras es relativamente uniforme.

En los casos en que las portadoras de banda ancha presentan densidades de potencia altas en pequeñas porciones de la banda de un transpondedor (TV-MF analógica o MDF-MF de alta densidad y bajo índice), puede obtenerse una separación mínima entre satélites si las portadoras de banda estrecha evitan las regiones de alta densidad de potencia. En esta situación, puede lograrse una mejor utilización del espectro si no se utiliza una señal triangular de dispersión de energía en las portadoras de banda ancha. No obstante, pueden existir otros factores que justificarían la utilización de una dispersión mínima de energía, por ejemplo en consideración de los sistemas existentes y para proteger los sistemas de radioenlaces terrenales por microondas.

El método de coordinación C_0/I_0 es, esencialmente, una extensión del método I_0/N_0. Con este método, se identifica un parámetro adicional, la densidad de potencia mínima en la red. Sucede que pueden hallarse valores de C_0/I_0 aceptables mutuamente, aunque no se encuentren valores de I_0/N_0 aceptables. Este método permite tener en cuenta la compensación de potencia en los transpondedores; esto es, las potencias mayores pueden asignarse a las transmisiones que son objeto de mayor interferencia y las potencias menores a aquéllas con las menores interferencias, eliminando o moderando así la severidad individual de la interferencia. La compensación de potencia sería una medida de explotación. Este método C_0/I_0 requiere ulterior estudio y aclaración.

4.2.3 *Concepto de aislamiento*

El concepto de aislamiento examinado en el anexo III del Informe 453 ofrece otro método de coordinación que no necesita la utilización de potencias transmisoras, densidades de potencia y potencias de ruido.

En el método del aislamiento se compara el aislamiento disponible entre redes (una medida del acoplamiento electromagnético entre dos redes) con el aislamiento necesario entre dos transmisiones mutuamente interferentes.

El aislamiento necesario es una medida relativamente precisa de la «incomptabilidad» por interferencia de dos transmisiones; cuanto más alto es el valor de aislamiento necesario, mayor es la incompatibilidad. Se expresa a través de la relación potencia deseada/potencia interferente admisible entre dos transmisiones y sus respectivos requisitos de calidad (bajo la forma de las relaciones portadora/densidad de ruido, C/N_0, necesaria de cada transmisión).

Para aplicar el concepto de aislamiento hay que identificar los ámbitos de aislamiento y determinar en cada uno de ellos el aislamiento disponible. Un ámbito de aislamiento está determinado por las características de radiación de las antenas terrena y espacial de dos redes cualesquiera, las temperaturas de ruido de los sistemas receptores y las ganancias de transmisión de los enlaces.

En cada ámbito se identifican las combinaciones de portadoras interferentes. A partir de tablas o de gráficos se obtiene el aislamiento necesario entre dos portadoras específicas cualesquiera y se compara con el aislamiento disponible en el ámbito adecuado. Una combinación de portadoras cuyo aislamiento necesario sobrepase el aislamiento disponible en el ámbito pertinente requiere la coordinación de estas portadoras entre sí.

La diferencia entre el aislamiento necesario y el disponible es una medida cuantitativa de la gravedad de la incompatibilidad; su magnitud es una guía útil para las medidas que deben tomarse con el fin de lograr la compatibilidad.

4.3 *Reducción de la interferencia*

Una vez identificados los ámbitos de la interferencia, hay una indudable necesidad de conocer qué oportunidades existen para mitigar tal problema. En realidad hay varias, entre ellas las enumeradas a continuación, en un orden que no es necesariamente preferencial:

4.3.1 *Método de la potencia de la portadora*

- Planificación conjunta de frecuencias basada en la segmentación de las frecuencias portadoras reales, con objeto de reducir la interferencia a un nivel aceptable;
- utilización de diagramas reales de radiación de antenas individuales medidos o de la mejor estimación de los diagramas de radiación, cuando se espere que éstos sean mejores que los especificados originalmente en la información remitida según el apéndice 3;
- asociación de transmisiones específicas con estaciones terrenas específicas, si está disponible o es viable. Por ejemplo, en el caso de dos redes con zonas de cobertura separadas o con recubrimiento parcial, aquellas estaciones terrenas de una red localizadas más allá de la zona de cobertura de la otra red puede suponerse que causarán y recibirán menos interferencia que aquellas estaciones terrenas localizadas más cerca;
- utilización de compensación de potencia en los transpondedores. Esto puede permitir asignar mayor potencia a las emisiones sujetas a mayor interferencia y menor potencia a aquéllas que experimenten una interferencia menor, eliminando o disminuyendo individualmente la severidad de la interferencia. La compensación de potencia sería utilizada operacionalmente;
- la sensibilidad a la interferencia de los sistemas terrenales en las estaciones terrenas de una red dada puede ser tan baja, o puede hacerse tan baja, como para permitir que la cuantía permitida de interferencia terrenal sea transferida a la permitida para la red entre satélites y así resolver o aliviar los casos de interferencia no aceptable;
- consideración de la naturaleza probabilística de la interferencia, es decir, cuando es altamente improbable que se produzca una interferencia inadmisible o ésta pueda ocurrir únicamente por un pequeño porcentaje de tiempo puede atenuarse el criterio pertinente de una sola fuente de interferencia. Por ejemplo, en el caso en que una emisión de televisión analógica con dispersión de energía artificial interfiere a transmisiones de baja capacidad, el porcentaje del tiempo durante el cual la dispersión artificial puede estar presente, será generalmente pequeño;
- la administración peticionaria podría revisar sus características de diseño, tales como diagramas de radiación, tamaño o tamaños de las antenas de la estación terrena, forma del haz de la antena de satélite, etc., con objeto de efectuar cambios de diseño previos a la instalación que podrían aliviar la situación de interferencia;
- los criterios de interferencia podrían reconsiderarse y, por acuerdo mutuo, podrían hacerse menos estrictos para transmisiones específicas; por ejemplo, en casos en que la característica del circuito no necesita ajustarse a los valores recomendados internacionalmente;
- en ciertos casos podrían aprovecharse las ventajas de la discriminación por polarización;
- podría ser una solución la aceptación temporal de interferencias «inaceptables» cuando una red existente está cerca del final de su utilización en un determinado segmento espacial y vaya a ser reemplazada por una red que cumplirá con los criterios acordados;
- la exclusión, o confinamiento, de ciertas transmisiones procedentes, o dentro de ciertos ámbitos de interferencia;
- la generación de una transmisión compuesta, y por lo tanto menos sensible a las interferencias, para múltiples destinos o el desdoblamiento de la transmisión con múltiples destinos, con objeto de aislar un destino o fuente «crítico» para tratamiento especial;
- evitar ciertas transmisiones o modos de transmisión tales como MF de bajo índice o TV-MF analógica sin la adecuada dispersión de energía;
- la restricción de la conectividad entre ciertas estaciones terrenas o tipos de estación terrena, dentro de ciertos ámbitos de interferencia;
- evitar el funcionamiento en ciertas modalidades de ganancia de satélite (transmisión completa o selectiva). Generalmente deberían evitarse modos de ganancia que tienen como consecuencia altas sensibilidades del enlace ascendente o altos niveles de potencia del enlace ascendente;
- la restricción en cuanto al número, de ciertas transmisiones o su uso únicamente con ciertas estaciones terrenas o ciertos tipos de estación terrena;
- la modificación del emplazamiento de las estaciones espaciales y/o la reorientación de los haces de las antenas de satélite.

4.3.2 *Método de la densidad de potencia*

- Diagramas de radiación de las antenas en la dirección de los lóbulos laterales mejorados, en vez de aquellos especificados originalmente en los datos del apéndice 3;
- antenas de estaciones terrenas más grandes;
- cambiar de posición las estaciones espaciales y/o reorientar los haces de las antenas de satélite;
- utilización de polarizaciones ortogonales;
- acuerdo para aquellos casos en que la interferencia no aceptable sea altamente improbable o pueda existir durante pequeños porcentajes de tiempo.

La adopción de estas medidas o de cualquiera de ellas, según se considere apropiado, puede dar como resultado una coordinación I_0/N_0, lo que implica esencialmente sólo la información del apéndice 3.

4.3.3 *Método de aislamiento*

- Aceptar un aislamiento reducido para algunos tipos de transmisión;
- separar las frecuencias portadoras;
- ajustar la calidad de transmisión, por ejemplo mediante el aumento de la relación C/N_0 de una transmisión interferida de baja capacidad o mediante la reducción de la relación C/N_0 de una transmisión interferente de alta densidad;
- ajustar otros parámetros de transmisión, por ejemplo aumentar o disminuir la capacidad, la utilización de codificación con corrección de errores, de la compansión, etc;
- ajustar las principales características de red, tales como la ganancia de transmisión del enlace (cambiando la ganancia del transpondedor de satélite), la ganancia de la antena de la estación terrena y/o las características de lóbulos laterales, o la mejora de la pureza y tipo de polarización (sentido u orientación);
- imponer limitaciones geográficas de enlace ascendente y/o descendente a algunas frecuencias en una zona de servicio de una red;
- reubicar estaciones espaciales.

4.3.4 *Examen del estado de realización del sistema de satélites*

El grado en que las técnicas de interferencia mencionadas pueden considerarse admisibles o adecuadas en una circunstancia dada, depende de las características específicas de las redes que intervienen y del estado de desarrollo y realización de cada satélite individual. Se describen seguidamente las posibles fases de desarrollo, realización y explotación que pueden observarse durante la coordinación:

- *Concepción inicial y diseño:* En esta fase el sistema de satélites está ya lo bastante definido para disponer de información técnica que permita proporcionar los datos requeridos en el apéndice 4 al Reglamento de Radiocomunicaciones. Ello comprende la especificación de la posición orbital y de la frecuencia y, aunque el diseño teórico haya concluido, la realización no ha comenzado todavía;
- *Realización:* Típicamente, la realización de un sistema de satélites puede exigir varios años y comprende la construcción del satélite hasta el lanzamiento efectivo, pero con exclusión de éste. Además, durante ese tiempo se diseñan y construyen algunos segmentos terrenos y el sistema habrá obtenido un reconocimiento normativo. Cabe que, según el progreso del programa de realización, haya ocasión de introducir modificaciones de diseño para dar cabida a algunas técnicas de reducción de la interferencia. Los datos sobre el sistema exigidos en el apéndice 3 del Reglamento de Radiocomunicaciones deben estar disponibles;
- *Explotación:* En esta fase, el sistema de satélites ha sido construido, lanzado y está funcionando desde una posición orbital concreta con su segmento terreno asociado. Una gran parte de las características de diseño del sistema son fijas, aunque puede haber cierta flexibilidad inherente para, por ejemplo, la modificación de puntería, el ajuste de la ganancia de los transpondedores, la planificación de la frecuencia portadora, etc.;
- *Sistema de satélites de segunda generación:* Es probable que, al final del periodo de vida útil de un satélite de comunicaciones, típicamente diez años, se le sustituya. Para entonces habrá toda una serie de estaciones terrenas usuarias. Por lo tanto, hay diversos parámetros de transmisión que será preciso retener para preservar la continuación del servicio. Por otra parte, existe la oportunidad de practicar modificaciones de diseño para que disminuyan las situaciones de interferencia potencial que aparecen en el medio. Un satélite de segunda generación tiene pues algunas características de cada una de las tres fases anteriores.

Debe proseguirse el estudio de las medidas de reducción de la interferencia mencionadas anteriormente para determinar si pueden aplicarse durante las diversas fases de la vida útil del sistema de satélites. La introducción oportuna y el perfeccionamiento periódico de las técnicas para mejorar la utilización de la OSG, como se describe en los diversos Informes y Recomendaciones del CCIR, proporcionan un mecanismo para facilitar el acceso de futuros sistemas de satélites a la referida OSG.

4.4 *Métodos de cálculo*

Deben realizarse ciertos cálculos utilizando los métodos de coordinación descritos anteriormente. Los cálculos de I_0/N_0 son semejantes a los cálculos de $\Delta T/T$ indicados en el apéndice 29. En el anexo I al Informe 455 se define el método de cálculo que utiliza el método C/I. Éste puede utilizarse también para los cálculos de C_0/I_0. La relación entre el método de cálculo, el criterio de interferencia de una sola fuente y los valores de interferencia total entre redes se describe en los Informes 454 y 455, incluidos los anexos I y II. En el anexo II al Informe 455 se examina una serie de portadoras específicas en términos de interferencia:

- protección de portadoras MDF-MF;
- protección de portadoras AMDT;
- protección de portadoras SCPC-MDP.

En el anexo III al Informe 453 también se describe un método de cálculo de la interferencia denominado «determinación de la interferencia utilizando la temperatura de ruido equivalente normalizada». Este método se basa en el apéndicc 29, debidamente modificado para obtener resultados precisos. Dicha modificación consiste en sustituir el umbral único de 4%, adoptado actualmente como el límite admisible de $\Delta T/T$, por una tabla de valores admisibles de $\Delta T/T$ que reflejan los criterios del CCIR, teniendo en cuenta los tipos de portadoras deseadas e interferentes definidos conforme a una clasificación normalizada de portadoras. La aplicación de ese método a la interferencia de múltiples entradas requiere mayores estudios.

El Informe 455 contiene otras relaciones entre $\Delta T/T$ y diversos tipos de criterios y criterios conexos. Habida cuenta de las dificultades que plantea la determinación de criterios C/I a efectos de la coordinación, cabe adecuar el cálculo de $\Delta T/T$ para algunas situaciones de interferencia.

En los casos en que se utilice C/I en el proceso de coordinación, será necesario convenir de mutuo acuerdo los valores aceptables de C/I para diversos tipos de portadora. Actualmente no hay valor alguno de C/I reconocido universalmente para todos los tipos de portadora. Hay necesidad de determinar la posibilidad de establecer un conjunto de valores C/I aceptables con objeto de facilitar la coordinación sobre tal base.

En el caso del servicio fijo por satélite, se han elaborado algunas Recomendaciones del CCIR, por ejemplo, la Recomendación 466, la Recomendación 483 y la Recomendación 523. Cuando la señal deseada es del tipo de telefonía con modulación de frecuencia (MDF-MF), la potencia de ruido debida a la interferencia, en banda de base, debe compararse con los valores indicados en la Recomendación 466 (400 pW0p para las redes antiguas, 600 pW0p para las nuevas); cuando la señal deseada es del tipo de telefonía MIC-MDP, el nivel de interferencia debe compararse con el valor indicado en la Recomendación 523 (6% del nivel de ruido a la entrada del demodulador que se traduciría en una proporción de bits erróneos de 10^{-6}); cuando la señal deseada es del tipo de televisión con modulación de frecuencia, el nivel de potencia de ruido debido a las interferencias debe compararse con el valor indicado en la Recomendación 483.

En aquellos casos en que no se rebasen los criterios de interferencia del CCIR, se considerará concluido el proceso de coordinación. Incluso en aquellos casos en que sí se rebasen dichos criterios, las empresas de explotación involucradas podrán ponerse de acuerdo en aceptar esa mayor interferencia.

5. Utilización de computadores y técnicas de optimización de la órbita

Durante la coordinación pormenorizada se tienen en cuenta las Recomendaciones del CCIR pertinentes y diversas disposiciones técnicas del Reglamento de Radiocomunicaciones. Sin embargo, se ha reconocido que es necesario un estudio adicional para desarrollar métodos mejores para efectuar la coordinación técnica con objeto de lograr la utilización más eficaz y equitativa de la órbita de los satélites geoestacionarios y de disminuir la complejidad de los trabajos de coordinación. Una solución prometedora para alcanzar métodos eficaces de coordinación técnica puede consistir en el empleo de programas de computador para ayudar en estos trabajos.

Los programas pueden dividirse en dos categorías: de síntesis y de análisis. Se reconoce que la mayoría de los programas de síntesis contienen partes analíticas, pero los objetivos, limitaciones y métodos serán en general diferentes de los asociados a los programas exclusivamente de análisis. Ningún programa será capaz por sí solo de efectuar todos los cálculos requeridos durante el proceso de coordinación, pero una serie de ellos podrán ayudar materialmente a su realización si se conciben acertadamente.

Se han desarrollado ya programas destinados a optimizar la asignación de las portadoras y las posiciones orbitales de los satélites [CCIR, 1978-82]. Los programas encaminados a optimizar la asignación de frecuencias pueden emplearse durante diversas etapas del proceso de coordinación técnica. Entre sus aplicaciones, cabe citar las siguientes:

- la pronta coordinación de la asignación de una frecuencia portadora a un sistema nuevo;
- la coordinación y optimización de las asignaciones correspondientes a dos redes respecto de otras redes de satélite existentes;
- la optimización de la asignación de las portadoras durante las coordinaciones multilaterales.

Los programas relacionados con la separación orbital pueden optimizar la separación entre múltiples satélites. Entre sus posibles aplicaciones en el curso del proceso de coordinación, cabe citar la evaluación de posiciones orbitales alternativas durante la coordinación bilateral o multilateral. Se han concebido ya varios programas y técnicas de optimización de asignaciones de frecuencias y de posiciones orbitales. El anexo I contiene descripciones de algunos de esos programas y una técnica de optimización utilizada.

6. Coordinación multilateral

Pese a que lo habitual ha sido que el proceso de coordinación se lleve a cabo sobre una base bilateral, también es posible llevarlo a cabo sobre una base multilateral. Este género de coordinación podría ser el más expeditivo cuando abarca redes de satélites de más de dos administraciones. Los métodos y técnicas generales que se describen en el presente Informe y que podrían emplearse en el curso de la coordinación resultan igualmente aplicables a los procesos de carácter bilateral y multilateral. Se han concebido otros conceptos y métodos específicos que se describen en el Informe 1003.

7. Conclusiones

En el presente Informe se hace una descripción general de los métodos empleados actualmente para determinar la necesidad de coordinación entre redes del servicio fijo por satélite y los procedimientos a que se recurre durante la realización de cada una de las diversas etapas del proceso de coordinación. El esfuerzo requerido para verificar la aceptabilidad del nuevo usuario por el conjunto de empresas de explotación existentes ha disminuido gracias a la gran cantidad de métodos analíticos y de programas de computador elaborados ya. Muchos de esos instrumentos serán utilizables tal cual o con algunas modificaciones para potenciar el aprovechamiento eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios. Simultáneamente habrá que fomentar la elaboración de métodos y técnicas que simplifiquen el proceso de coordinación. Esto es de especial importancia para la coordinación de carácter multilateral. Como en muchos otros casos, también en éste se requieren estudios adicionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos del CCIR

[1978-82]: 4/301 (Estados Unidos de América).

BIBLIOGRAFÍA

Documentos del CCIR

[1982-86]: 4/6 (GIT 4/1); 4/41 (Japón); 4/85 (GIT 4/1); 4/68 (URSS); 4/220 (GIT 4/1); 4/259 (Estados Unidos de América); 4/280 (Francia); 4/324 (Estados Unidos de América); 4/337 (Estados Unidos de América).

ANEXO I

TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN DE LA ÓRBITA

Se han estado creando instrumentos de computador que podrían servir para el diseño de sistemas, así como para la coordinación y la evaluación de la interferencia, estando ya disponibles algunos de los resultados de esa labor. En este anexo se facilita información sobre dos programas de esa índole, uno destinado a la optimización de la separación orbital y el otro a la optimización de la asignación de frecuencias. Se dan además ejemplos de análisis para lograr la reducción de la separación entre satélites.

La versión actual del programa correspondiente a la minimización de la separación orbital, denominado ORBIT-II, permite abarcar hasta 200 satélites para determinar una disposición orbital eficaz, así como para optimizar la configuración de los haces (circulares o elípticos) de las antenas de satélites. En el curso de la optimización se tiene en cuenta el efecto de la asignación de frecuencias [Ito y otros, 1979].

La realización de dicho programa incluye:

- la evaluación de otras posibles ubicaciones orbitales durante la coordinación de carácter bilateral o multilateral;
- la evaluación de los intervalos críticos de frecuencia durante la coordinación de carácter bilateral o multilateral;
- la identificación de los sistemas que influyen en la colocación de nuevos sistemas.

El segundo programa, denominado CAP-N, se concibió con objeto de optimizar el proceso de asignación de frecuencias en la coordinación entre sistemas. Dicho programa permite abarcar hasta ocho redes de satélite para minimizar la interferencia de entrada única más desfavorable entre ellas [Mizuike y otros, 1984].

La realización de este programa incluye:

- la temprana determinación de la coordinación de la asignación de frecuencias portadoras para un sistema nuevo;
- la coordinación y optimización de las asignaciones entre múltiples redes respecto de otras redes existentes;
- la optimización de la asignación de portadoras durante la coordinación multilateral.

Si bien está destinado a optimizar la asignación de frecuencias entre satélites, el programa CAP-N puede servir también para optimizar la asignación de frecuencias para redes con reutilización de frecuencias dentro de un mismo sistema.

El empleo conjunto de esos dos programas, el ORBIT-II y el CAP-N, debería facilitar la coordinación de carácter tanto bilateral como multilateral y mejorar el aprovechamiento de la OSG. Dada la rápida expansión de sistemas nacionales de satélites en segmentos de la OSG, resulta preciso reexaminar las bases técnicas de la ubicación de los satélites. La separación orbital mínima debería quedar determinada por la interferencia entre sistemas, la cual depende principalmente de la elección de determinados parámetros del sistema, como la potencia de los transmisores, la sensibilidad de los receptores y la directividad de las antenas. También revisten importancia otros factores, como el tipo de modulación, la canalización y el filtrado, así como los niveles de calidad e interferencia admisibles. Teniendo presente dichos factores, se procedió a idear un método con objeto de evaluar la posibilidad de reducir la separación entre satélites en el caso de las redes de cobertura común. Los resultados de tal evaluación en el caso de la interferencia, tanto de entrada única como total, han mostrado que es posible cumplir los objetivos del CCIR en materia de interferencia en el caso de las redes de cobertura común con una separación entre satélites inferior a 4° si se recurre a alguna de las medidas siguientes.

- despliegue de satélites intercalando la utilización de polarizaciones,
- mejora de las características de lóbulos laterales de la estación terrena,
- coordinación de frecuencias más detalladas entre satélites adyacentes.

Los detalles de ese método se han publicado en [Sharp, 1984].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ITO, Y., MIZUNO, T. y MURATANI, T. [octubre de 1979] Efficient utilization of geostationary-satellite orbit through optimization. *IEEE Trans. Comm.* Vol. COM-27, **10**, 1551-1558.

MIZUIKE, T., ITO, Y. y MURATANI, T. [mayo de 1984] Optimization of frequency assignment. IEEE International Conference on Communications (ICC'84), 14-17 de mayo, Amsterdam, Países Bajos, Conf. Proc., Vol. 2, 599-602.

SHARP, G. L. [marzo de 1984] Reduced domestic satellite orbit spacing. AIAA Communication Satellite Systems Conference, Orlando, FLA, Estados Unidos de América.

INFORME 1003

MÉTODOS PARA LA COORDINACIÓN MULTILATERAL ENTRE REDES DE SATÉLITE

(Programa de Estudios 28B/4)

(1986)

1. Introducción

El deseo de mejorar el actual proceso de coordinación bilateral ha conducido al estudio de la coordinación multilateral con el objetivo concreto de identificar las técnicas adecuadas para un entorno multilateral. El problema consiste en asegurar la coordinación mutua de un conjunto de N redes distribuidas en una porción de la órbita, de manera que la interferencia que recibe cualquiera de ellas desde las $(N - 1)$ restantes no exceda un valor permitido.

Se han desarrollado varios métodos que podrían utilizarse para la coordinación multilateral con el objetivo de reducir las dificultades inherentes a la coordinación de carácter multilateral al punto en que pueda haber ya seguridad de que el proceso de coordinación concluirá con éxito.

Este es un problema difícil, dadas las numerosas variables que intervienen y es obvio que deberán utilizarse técnicas de proceso de datos. Aun así, el problema es tan complejo que quizá no se encuentre una solución si no se utilizan métodos de cálculo mejorados. Estos métodos y técnicas se describen en detalle a continuación.

2. Técnicas de coordinación multilateral

Dado el gran número de posibles situaciones de interferencia que pueden tener que resolverse en una coordinación multilateral, se necesitan métodos que limiten el alcance del problema a niveles manejables. Las siguientes técnicas son formas de limitar el alcance de este problema identificando y limitando el problema de la posible interferencia por procedimientos recomendados.

2.1 *Arco orbital de coordinación (AOC)*

La coordinación entre múltiples redes dentro de un «arco orbital de coordinación» (AOC) es un método de coordinación aplicado a una porción determinada de la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG). En este Informe se describen únicamente las consecuencias que tiene tal AOC a efectos de la coordinación. Las consideraciones relativas a la división de la órbita en arcos orbitales de coordinación escapan al alcance de este Informe.

Según este criterio, el proceso de armonizar los sistemas se efectuará con la participación de las administraciones interesadas en un AOC concreto, sin hacer intervenir a todas las administraciones.

Las ventajas del método que utiliza el AOC a efectos de la coordinación son:

- La armonización o coordinación de la órbita entre las administraciones interesadas en un AOC será más fácil y eficaz que cuando intervienen todas las administraciones.
- En foros más restringidos puede aplicarse más fácilmente la agrupación de sistemas homogéneos de satélites o las técnicas de optimización de las posiciones de los satélites y la asignación de frecuencias.
- Pueden introducirse nuevas tecnologías en un arco orbital determinado con el acuerdo de las administraciones interesadas en dichos AOC.

No obstante, este concepto debe aplicarse con prudencia, de forma que las actividades de un AOC no condicionen las actividades futuras de un AOC adyacente. Habrá cierta rigidez si una administración identificada en un AOC desea utilizar una posición orbital en otro AOC. También puede reducirse la eficacia en comparación con otros métodos al prever porciones orbitales no adjudicadas entre AOC o entre subdivisiones de AOC.

2.2 *Agrupamientos subregionales*

Otro modo de limitar el alcance de la coordinación multilateral es aprovechar la subregionalización (geográfica y en el arco de la órbita de los satélites geoestacionarios) y toda independencia natural que exista entre regiones y subregiones. La elección de límites subregionales afectaría al grado de independencia; por tanto, los límites deben definirse con cuidado. En particular, pueden existir dificultades con redes interregionales que presten servicio a través de múltiples subregiones. Hay que seguir esforzándose por que se apliquen las mismas normas técnicas en cada subregión, o de otro modo surgirán dificultades al implantar estos sistemas.

Se necesitan estudios adicionales para identificar otras técnicas que puedan utilizarse para limitar el número de redes de satélite que se verían concernidas o afectadas en el proceso de coordinación multilateral.

2.3 *Armonización multilateral con tres elementos (armonización M3)*

El objetivo de la armonización M3 es garantizar un acceso equitativo de las redes de satélites a la OSG y al espectro, sin suprimir sus particularidades. De forma específica, esta armonización que incluiría tres elementos (metodología de utilización del espectro, máxima flexibilidad en el emplazamiento de los satélites y optimización de la posición orbital con un criterio de interferencia equitativa) persigue dar a cada red las mismas condiciones de acceso a la órbita y al espectro, dejando a cada una de ellas la especificación de sus propios parámetros, así como la elección de la fecha en que se definen las necesidades. Esta armonización puede aplicarse a cualquiera de las bandas usadas intensivamente.

2.3.1 *Metodologías de utilización del espectro*

Los casos de interferencia más desfavorables se producen entre portadoras con características muy dispares. El objeto de las metodologías de utilización del espectro es limitar la aparición de dichos casos de interferencia, que imponen separaciones angulares considerables entre los satélites y conducen a una utilización poco eficaz del recurso órbita/espectro. En el Informe 1000 se exponen diversas opciones posibles. Las opciones más flexibles parecen ser las más apropiadas para fines de coordinación multilateral.

2.3.2 *Flexibilidad máxima en el emplazamiento de los satélites*

Una utilización óptima del recurso órbita/espectro supone limitar al mínimo las restricciones impuestas a la gestión de las posiciones orbitales. Esto puede obtenerse imponiendo una «flexibilidad máxima en el emplazamiento inicial» y recurriendo a la reubicación de los satélites en servicio.

2.3.2.1 *Flexibilidad máxima en el emplazamiento inicial*

A fin de utilizar al máximo el recurso órbita/espectro en el marco de una coordinación multilateral, la atribución óptima de posiciones orbitales a las nuevas redes debe elegirse entre el mayor número posible de configuraciones. Ello supone que el «arco de servicio inicial» de cada satélite nuevo debe ser lo más largo posible. Este arco de servicio inicial podría definirse como el arco orbital visible desde todos los puntos de las zonas de servicio del sistema con un ángulo de elevación superior o igual a 10°.

2.3.2.2 *Reubicación de los satélites en servicio*

El Informe 1002 trata de la flexibilidad en el emplazamiento de los satélites. Demuestra que la reubicación de los satélites es un medio eficaz para aumentar la flexibilidad de la gestión de la órbita y para asegurar una mejor utilización del espectro. Además, los problemas técnicos y tecnológicos, las restricciones operacionales y sus repercusiones pueden hacer difícil la aplicación de ese procedimiento.

2.3.3 *Optimización de las posiciones orbitales con interferencia equitativa*

Para garantizar un acceso equitativo a la órbita y al espectro, sería necesario optimizar las posiciones orbitales buscando una distribución equitativa de las interferencias. Esto significa que, cuando se introducen nuevas redes, las posiciones orbitales atribuidas deben minimizar la interferencia más fuerte sufrida por cualquier red. A efectos de comparación, la interferencia debe expresarse en valores relativos con respecto a los niveles admisibles definidos por el CCIR.

La optimización de las posiciones orbitales debe respetar las siguientes restricciones:

- atribución de posiciones iniciales a las nuevas redes en el interior de sus arcos de servicio, que serán lo más largos posible (véase el § 2.3.2.1);
- atribución de nuevas posiciones orbitales a las redes que puedan ser desplazadas en el interior de su arco de desplazamiento posible, denominado «arco de servicio permanente»;
- mantenimiento de las posiciones orbitales de los demás satélites.

La satisfacción de todas las necesidades expresadas puede imponer la aceptación de interferencias superiores a los niveles admisibles recomendados por el CCIR. La interferencia equitativa se traduce en ese caso en una distribución del exceso de interferencia entre todas las redes.

2.4 *Otras técnicas de armonización*

Deben seguir los estudios para determinar si es posible desarrollar otras técnicas de reducción de interferencia, por ejemplo, discriminación por polarización, compensación de potencia, etc., por procedimientos recomendados similares que faciliten la coordinación multilateral y armonicen las posibles situaciones de interferencia.

3. Técnicas de cálculo de la interferencia

El procedimiento actual de coordinación entre redes comprende dos etapas diferentes:

- el método del apéndice 29 del Reglamento de Radiocomunicaciones, que se aplica para determinar si se requiere la coordinación entre redes;
- si se requiere coordinación, se pueden necesitar cálculos de interferencia detallados para cada tipo de portadora que intervenga.

La primera etapa es un método sencillo, pero aproximado, para evaluar las posibilidades de interferencia. La segunda etapa necesita en general un proceso de cálculo de la interferencia más exacto. Este segundo método suele utilizarse para la coordinación bilateral.

En el entorno multilateral, las decisiones de la CAMR ORB-85 sobre el método de planificación de los procedimientos reglamentarios mejorados, también conocido como método de planificación multilateral (MPM), se aplica en ciertas bandas de frecuencia del servicio fijo por satélite muy utilizadas. En el proceso del MPM, la coordinación se divide a su vez en dos etapas:

- la primera etapa, en la que se determinan algunos parámetros básicos de cada sistema, tales como su posición orbital, banda de frecuencias de explotación, etc., y
- la segunda etapa, en la que se lleva a cabo una coordinación detallada entre redes a nivel bilateral o multilateral, a reserva de las decisiones de la primera etapa.

Este Informe describe nuevos métodos de cálculo que hacen este proceso manejable.

3.1 *Parámetros generalizados*

Se han determinado varios métodos que utilizan parámetros generalizados que definen a cada red de satélite con un número mínimo de parámetros, a fin de administrar el recurso órbita/espectro, así como para calcular la posible interferencia entre redes. Estos métodos dan la máxima flexibilidad a los usuarios para satisfacer sus necesidades, pero, al mismo tiempo, permiten el control de la interacción entre redes.

Pueden emplearse parámetros generalizados para varios fines:

- proporcionar orientaciones de diseño de redes que incluyan los elementos necesarios para producir un cierto nivel de eficacia de utilización de la órbita, pero manteniendo una cierta flexibilidad para el diseñador de redes;
- establer condiciones umbral para determinar la necesidad de coordinación;
- acelerar la resolución de algunos problemas sin necesidad de examen detallado durante el proceso de coordinación.

3.2 *Modelos concretos de parámetros generalizados*

Se han determinado varios modelos de parámetros generalizados hasta la fecha, que se exponen en detalle en el anexo III del Informe 453.

3.2.1 *Parámetros A, B, C y D*

Estos parámetros se definen en el § 2.1 del anexo III al Informe 453.

Estos parámetros se estudian para ayudar a limitar la inhomogeneidad, y se cree incluso que permitirán una flexibilidad considerable en el diseño de los sistemas de satélites. Esto puede conseguirse limitando sus valores a una gama suficientemente pequeña para producir un aumento significativo de la eficacia de utilización del recurso órbita/espectro.

Los parámetros A y C son los potenciales de interferencia del enlace ascendente y descendente respectivamente, B y D son las sensibilidades a la interferencia del enlace ascendente y descendente, respectivamente.

3.2.2 *Variaciones del método ABCD*

Se han propuesto dos variaciones del método ABCD para mejorar algunos de los inconvenientes apreciados del conjunto ABCD original. Las variaciones del método ABCD ocasionan modificaciones de los parámetros A, B, C, D para reflejar su repercusión en el entorno de la cobertura pretendida. Una de estas variaciones puede tener en cuenta el entorno de interferencia total.

3.2.3 *Aislamiento*

El aislamiento es el valor de la pérdida por acoplamiento entre dos redes interferentes. Se calcula conociendo las características de diseño principales de un sistema de satélites (ganancia de la antena y características de lóbulos laterales, temperatura de ruido y ganancia de transmisión de los enlaces). Su magnitud es función de separación entre satélites. Dos transmisiones interferentes entre sí requieren un aislamiento concreto para operar en las mismas frecuencias sin causarse interferencia inaceptable entre sí. Este «aislamiento requerido» se calcula a partir del criterio de interferencia aceptable y de las características de funcionamiento de ambas transmisiones (C/I, C/N_0).

La diferencia (en dB) entre un valor concreto del «aislamiento requerido» y el aislamiento disponible (la pérdida por acoplamiento entre redes) es una medida del esfuerzo necesario para coordinar transmisiones concretas. Entre otras aplicaciones, el aislamiento es útil para limitar la densidad de satélites recomendando un valor máximo de aislamiento disponible y controlando así la separación entre satélites mediante la coordinación de transmisiones para obtener este aislamiento disponible. Puede deducirse un concepto de separación equivalente entre satélites por el que redes de satélites que den servicio a zonas geográficas separadas pueden recibir el mismo aislamiento como redes de satélite que dan servicio a zonas de igual cobertura.

3.2.4 *Técnica de la separación orbital característica*

La separación orbital característica de una red de satélite, es la separación orbital necesaria entre cada satélite en el caso teórico de que haya un gran número de satélites idénticos de ese tipo, que den todos servicio a la misma zona, en posiciones muy próximas en la órbita de los satélites geoestacionarios. Para calcular esta separación orbital característica se tienen en cuenta parámetros de la red tales como las características de las antenas de estación terrena, la p.i.r.e. y la G/T de las estaciones terrenas, la p.i.r.e. y la G/T de las estaciones espaciales, el mantenimiento en posición de las estaciones espaciales, la relación C/I necesaria de la red, etc.

A partir de las características de dos redes i y j, incluidas sus separaciones orbitales características (SOC) φ_{ii} y φ_{jj}, y las características de sus antenas de estación espacial, pueden calcularse las separaciones orbitales φ_{ij}, entre las redes i y j. Si existen redes o estaciones espaciales que hay que considerar en una porción de la órbita de los satélites geoestacionarios, $i = \{1, 2, \ldots N\}$, pueden entonces calcularse de este modo los elementos φ_{ij} de una matriz triangular $N \times N$, incluidos los N elementos diagonales φ_{ii}. Esta matriz puede entonces utilizarse mediante técnicas de síntesis manuales, automáticas o mediante computador para elaborar una disposición orbital eficaz de los N satélites, teniendo en cuenta, si es necesario, los emplazamientos de los satélites existentes. Una vez sintetizada esta disposición, o quizás varias de estas disposiciones, es necesario un análisis más riguroso para comprobar que son aceptables los niveles de todas las relaciones portadora/interferencia.

Una vez acordada una disposición orbital, puede abordarse la coordinación detallada del tráfico en cada uno de los N satélites. Si se tropieza con extraordinarias dificultades en esta segunda etapa del proceso, puede ser necesario reexaminar la disposición orbital para superar estas dificultades.

3.2.5 *Determinación de la interferencia entre redes de satélites que utilicen aumentos normalizados de la temperatura de ruido equivalente*

Este método pretende una evaluación precisa de los niveles de interferencia utilizando la sencilla técnica de cálculo de «$\Delta T/T$» descrita en el Informe 454.

Este método se basa en los dos elementos siguientes:

- la distribución de las portadoras con arreglo a una «clasificación normalizada de las portadoras» en 50 tipos;
- la sustitución del umbral único de 4%, tomado actualmente como límite admisible de $\Delta T/T$ (apéndice 29 al Reglamento de Radiocomunicaciones) por un cuadro de los valores de $\Delta T/T$ admisibles, habida cuenta de los tipos de portadoras deseada e interferentes según la clasificación normalizada de las portadoras.

Como una contribución a los esfuerzos de planificación basados en el MPM, este método podría constituir un medio sencillo, pero preciso, de determinar la interferencia mutua.

4. Resumen

El proceso de coordinación multilateral es una extensión del proceso de coordinación bilateral. Sin embargo, debido a los muchos sistemas de satélites que posiblemente intervengan en la coordinación, es necesario desarrollar técnicas y métodos mediante procedimientos recomendados a fin de facilitar la coordinación multilateral. Deben proseguir los estudios para determinar el mejor modo de utilizar las diversas técnicas de reducción de interferencia en este proceso. Además, es necesario continuar con urgencia el estudio de una comparación de la aplicabilidad de los diversos modelos de parámetros generalizados en el proceso de coordinación multilateral.

INFORME 871-1

CÁLCULO DE LA TEMPERATURA DE RUIDO EQUIVALENTE Y DE LA GANANCIA DE TRANSMISIÓN DE UN ENLACE POR SATÉLITE

(Programa de Estudios 28A/4)

(1982-1986)

1. Introducción

Este Informe, tiene por objeto proporcionar algunas directrices para determinar, en el caso de transpondedores con un solo cambio de frecuencia, los valores de las temperaturas de ruido equivalentes y las ganancias de transmisión de un enlace por satélite y, en particular, los conjuntos de valores para:

- la temperatura de ruido equivalente más pequeña del enlace y su ganancia de transmisión asociada, y
- los valores de la ganancia de transmisión y su temperatura de ruido equivalente asociada del enlace, que corresponden al valor más alto de la relación «ganancia de transmisión/temperatura de ruido equivalente» del enlace por satélite.

En el Informe 454 se recoge la necesidad de tales valores.

La temperatura de ruido equivalente (T) de un enlace por satélite, referida a la salida de la antena receptora de la estación terrena, y la ganancia de transmisión (γ) de un enlace por satélite que utiliza transpondedores con un solo cambio de frecuencia, se pueden determinar de varias maneras, una de las cuales es la siguiente.

2. Formulación general

2.1 *Método 1*

La ganancia de transmisión se expresa como sigue:

$$\gamma = \frac{p_s \, g_{ts} \, g_{re} \, A_{0u}}{p_e \, g_{te} \, g_{rs} \, A_{0d}} \tag{1}$$

donde:

p_s: densidad máxima de potencia por Hz, entregada a la antena del satélite (promediada sobre la banda de 4 kHz más desfavorable, para una frecuencia portadora inferior a 15 GHz, o para la banda de 1 MHz más desfavorable, por encima de 15 GHz) (W/Hz);

g_{ts}: ganancia de la antena de transmisión del satélite en la dirección de la estación terrena receptora (relación numérica de potencias);

g_{re}: ganancia de la antena de recepción de la estación terrena en la dirección del satélite (relación numérica de potencias);

A_{0u}: factor de pérdida de transmisión, en condiciones del espacio libre, para el enlace ascendente (relación numérica de potencias);

p_e: densidad máxima de potencia por Hz, entregada a la antena de la estación terrena transmisora (promediada sobre la banda más desfavorable de 4 kHz, para una frecuencia portadora inferior a 15 GHz, o sobre la banda más desfavorable de 1 MHz, por encima de 15 GHz) (W/Hz);

g_{te}: ganancia de la antena de transmisión de la estación terrena, en dirección del satélite (relación numérica de potencias);

g_{rs}: ganancia de la antena de recepción del satélite, en la dirección de la estación terrena transmisora (relación numérica de potencias);

A_{0d}: factor de pérdida de transmisión, en condiciones del espacio libre, para el enlace descendente (relación numérica de potencias).

2.2 *Método 2*

La ganancia de transmisión se expresa como sigue:

$$\gamma = \frac{\text{p.i.r.e.}_s \, g_{re} \, BO_i \, 4\pi}{W_s \, g_{rs} \, A_{0d} \, BO_o \, \lambda^2} = \frac{(C/N_0)_d}{(C/N_0)_u} \frac{T_e}{T_s} \tag{2}$$

La temperatura de ruido equivalente del enlace se expresa del modo siguiente:

$$T = \frac{(C/N_0)_d}{(C/N_0)_t} T_e \tag{3}$$

donde:

T_e, T_s: temperatura de ruido del sistema de la estación terrena y del satélite, referidas a la salida de la antena receptora (K);

$(C/N_0)_u$: relación potencia de la portadora/densidad de ruido (sólo ruido térmico y otros ruidos de fondo) para el enlace ascendente (relación numérica);

$(C/N_0)_d$: relación potencia de la portadora/densidad de ruido (sólo ruido térmico y otros ruidos de fondo) para el enlace descendente (relación numérica);

$(C/N_0)_t$: relación potencia equivalente de la portadora/densidad de ruido térmico incluida sólo la degradación intrasatélite (interferencia intrasatélite, intermodulación), ruido térmico y otros ruidos de fondo (relación numérica), para el enlace total;

p.i.r.e.$_s$: p.i.r.e. del satélite cuando trabaja a saturación (W);

λ : longitud de onda (m) para la frecuencia del enlace ascendente;

BO_i : reducción de potencia respecto a saturación (valor numérico) a la entrada del transpondedor;

BO_o : reducción de potencia respecto a saturación (valor numérico) a la salida del transpondedor;

W_s : densidad de flujo de potencia en condiciones de saturación en el satélite (W/m^2).

El producto de la densidad de flujo de potencia a saturación del satélite por la ganancia de la antena receptora del satélite (esto es, $W_s \cdot g_{rs}$) es igual para los valores correspondientes a la cresta del haz y al borde del haz de la antena del satélite. Por tanto, la ganancia de transmisión (γ) es máxima cuando la p.i.r.e. del satélite es máxima. Esta condición se cumple en la cresta del haz de la antena transmisora del satélite.

3. Deducción de dos juegos de valores de T y γ

3.1 *T mínima y γ asociada*

La temperatura de ruido equivalente del enlace T_{min}, puede expresarse del modo siguiente:

$$T_{min} = T_e + \gamma_{min} \cdot T_s + T_a \tag{4}$$

donde T_a es otro ruido interno y γ_{min}, su ganancia de transmisión asociada; se obtiene a partir de la ecuación (2) considerando la p.i.r.e. (p.i.r.e.$_s$) de saturación del satélite en el borde del haz.

3.2 *Valores de T y γ que corresponden a la relación γ/T máxima*

El valor de γ y su T asociado que corresponden a la máxima relación «ganancia de transmisión/temperatura de ruido equivalente» del enlace, pueden determinarse haciendo máxima la siguiente ecuación:

$$\frac{\gamma}{T} = \frac{\gamma}{T_e + \gamma T_s + T_a} \tag{5}$$

Esta ecuación alcanza su máximo cuando γ es máxima, esto es, cuando se calcula en la cresta del haz de la antena del satélite en lugar de en el borde del haz; en consecuencia:

$$\gamma_{máx} = \gamma_{mín}\, \Delta g \tag{6}$$

Δg : diferencia entre los valores de ganancia de la antena de transmisión del satélite en la cresta del haz y en el borde del haz (relación numérica de potencias).

Por consiguiente, la temperatura de ruido equivalente del enlace asociada, viene dada por:

$$T = T_e + \gamma_{min}\, T_s\, \Delta g + T_a \tag{7}$$

4. Resumen

Los valores de T y γ deben calcularse con ayuda de las fórmulas anteriores, o por otros métodos, para todos los enlaces de la red de satélite, con objeto de seleccionar el juego adecuado de valores aplicables en el Informe 454. En [CCIR, 1982-86] se incluyen ejemplos de casos prácticos que se refieren al método del § 2.2.

Estos métodos no deben utilizarse para deducir valores de T y γ a partir de información notificada o publicada por otras administraciones. En relación con estos parámetros y su relación se requieren estudios ulteriores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos del CCIR

[1982-86]: 4/107 (Brasil).

INFORME 455-4

COMPARTICIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS ENTRE REDES DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Programa de Estudios 28A/4)

(1970-1974-1978-1982-1986)

1. Introducción

La determinación del grado en que distintas redes de satélites del servicio fijo por satélite pueden usar las mismas bandas de frecuencias, sin interferencias inaceptables, es asunto de suma importancia por sus repercusiones en la utilización racional del espectro de frecuencias y de la órbita de los satélites geoestacionarios.

En la compartición de bandas de frecuencias pueden influir:

- el número de satélites que comparten una banda de frecuencias determinada;
- las órbitas descritas por los satélites;
- el diagrama de radiación de las antenas de las estaciones terrenas y de las estaciones espaciales;
- toda diferencia de polarización entre las señales deseadas e interferentes;
- las densidades relativas de flujo de las señales deseadas e interferentes, tanto en los satélites como en las estaciones terrenas;
- el factor de reducción de interferencia entre la entrada de la estación espacial y/o el receptor de la estación terrena, y la salida demodulada en la estación terrena;
- la parte del margen total de ruido atribuida a las interferencias procedentes de otras redes de satélites.

En el presente Informe se examinan los problemas que plantea la compartición de bandas de frecuencias entre redes de satélites.

2. Cálculo de niveles de interferencia

El grado en que las redes de satélites pueden compartir la misma banda de frecuencias está en relación con la magnitud del nivel admisible de interferencia para un nivel de portadora deseada.

2.1 *Relación nivel de la portadora deseada/nivel de la portadora interferente*

La relación de potencias «portadora deseada/portadora interferente», para el enlace descendente en una estación terrena puede expresarse por la ecuación siguiente:

$$(C/I)_D = R + G_4 - G_4(\theta) + Y_D \qquad (1)$$

donde:

$(C/I)_D$: relación de potencias portadora deseada/portadora interferente a la entrada del sistema receptor (dB);

R : relación entre la densidad de flujo de potencia de la señal deseada y la de la señal interferente (dB);

G_4 : ganancia de la antena receptora de la estación terrena para el satélite deseado (dB);

$G_4(\theta)$: ganancia de la antena receptora de la estación terrena para el satélite interferente (dB);

Y_D : discriminación por polarización de la antena de la estación terrena con relación a la portadora interferente (dB).

Puede utilizarse una expresión similar para determinar la relación portadora deseada/portadora interferente para el enlace ascendente. En el anexo I figura, en detalle, un método para calcular estas relaciones de la interferencia entre redes de satélites geoestacionarios.

2.2 *Relación señal/interferencia después del demodulador*

En los enlaces telefónicos MDF-MF, la relación entre la señal de prueba de 1 mW en el canal telefónico más desfavorable y la potencia de la interferencia puede expresarse como sigue:

$$10 \log \frac{\text{señal de prueba de 1 mW}}{\text{potencia interferente no ponderada en un canal telefónico con una anchura de banda de 3,1 kHz}} = \left(\frac{C}{I}\right) + B \qquad (2)$$

donde:

B : factor de reducción de interferencia (en dB) entre la entrada de la estación espacial y/o del receptor de la estación terrena, y la salida demodulada de la estación terrena. (Algunas veces se denomina «factor de transferencia del receptor»);

$\left(\frac{C}{I}\right)$: relación entre las potencias de las portadoras deseada e interferente (dB).

El valor del factor de reducción de interferencia *B* depende del tipo de modulación aplicado a las diversas portadoras. En el caso de señales analógicas puede utilizarse, en general, una expresión similar a (2), cuando es posible aplicar razonablemente el factor *B*. Puede encontrarse más información en el Informe 388.

El caso de transmisión digital presenta varias dificultades, de las cuales una de las más importantes es que no están definitivamente establecidas aún las características y la calidad de funcionamiento de los sistemas de modulación digital que puedan utilizarse en futuras redes de satélites del servicio fijo. Otra dificultad es que la naturaleza de la detección digital impide definir la interferencia independientemente del ruido térmico (a diferencia de las señales analógicas por encima del umbral). Véase también el Informe 388 en el que se exponen los métodos para calcular el ruido de interferencia en sistemas telefónicos multicanales con los diferentes métodos de modulación que pueden emplearse en las transmisiones deseada e interferente.

Para las interferencias en sistemas de televisión con modulación de frecuencia, véase el Informe 449.

2.3 *Exposición intermitente a la interferencia*

Por lo general, en el caso de dos satélites vecinos pertenecientes a un mismo sistema o a sistemas independientes, el nivel de toda interferencia depende de que ambos reciban las transmisiones de las estaciones terrenas correspondientes, en el momento en que pasan a proximidad uno de otro. Si así fuere, sería aplicable el método expuesto en el presente Informe. En caso contrario, es decir, si desde Tierra se pone intencionadamente en funcionamiento uno de los satélites y sólo accidentalmente el otro, el efecto de cualquier interferencia será menos pronunciado. Esta situación puede presentarse, por ejemplo, en un sistema de satélites no en fase, cuando la separación entre satélites adyacentes sea momentáneamente reducida o cuando un satélite del sistema que no esté en funcionamiento se encuentre en la proximidad de un satélite geoestacionario. En estos casos, las reducciones de la ganancia de antena fuera del lóbulo principal se aplicarán a la vez a la iluminación del satélite interferente y a la recepción de su emisión interferente. Si la densidad espectral de potencia del repetidor de la estación espacial es función del flujo que recibe el satélite, la densidad espectral de potencia producida por el satélite interferente en la estación terrena será inferior a su valor de funcionamiento normal. En estos casos podrán admitirse separaciones angulares muy pequeñas entre satélites.

3. Niveles admisibles de interferencia entre redes de satélites geoestacionarios

La interferencia entre redes que emplean satélites geoestacionarios no varía mucho en el tiempo, y es posible coordinar las características de los sistemas de manera que la degradación de la calidad de funcionamiento de los canales debida a esta interferencia no exceda de un nivel aceptable.

3.1 *Importancia del nivel de interferencia*

Sigue prestándose considerable atención a la cuestión de saber qué debe entenderse por el nivel aceptable de interferencia. Se sostiene en general que el responsable de la explotación de un sistema debería poder controlar esencialmente la calidad de funcionamiento de éste, por lo que la interferencia no debería influir en una medida importante a esta calidad.

Sin embargo, la ganancia de las antenas de estación terrena y de estación espacial suele disminuir de manera uniforme a medida que aumenta el ángulo con relación a la dirección de ganancia máxima. Estas características de las antenas podrían ser los únicos factores de aislamiento entre dos redes, en cuyo caso habría una relación inversa entre el nivel de interferencia y los ángulos de separación. Así, cuanto mayor sea la interferencia admisible entre dos redes que dan servicio a aproximadamente la misma zona de la superficie de la Tierra, tanto menor podrá ser la separación orbital entre las estaciones espaciales de esas dos redes. Análogamente, cuanto mayor sea la interferencia admisible entre dos redes cuyas estaciones espaciales ocupan la misma o casi la misma posición orbital y dan servicio a diferentes zonas de la superficie de la Tierra mediante antenas de haces estrechos, tanto más cercanas podrán estar estas zonas de servicio entre sí y tantas más veces podrá reutilizarse la banda de frecuencias en distintas partes del mundo.

Es decir, que cuanto más elevado sea el nivel admisible de interferencia, tanto mayor será la densidad potencial de reutilización de frecuencias entre redes, tanto en la órbita de los satélites geoestacionarios (menor separación entre satélites) como en la superficie de la Tierra (mayor densidad de cobertura). Hay, pues, una cierta incompatibilidad entre el deseo de limitar a niveles relativamente bajos la interferencia entre redes para asegurar una homogeneidad razonable en el diseño y explotación de una red, y la necesidad no menos importante de llevar al máximo la reutilización de frecuencias y, por ende, la utilización de la órbita y del espectro.

3.2 *Niveles admisibles de interferencia en las transmisiones telefónicas MDF-MF*

Se acepta en general que puede considerarse admisible un nivel máximo de ruido de interferencia producido por todas las demás redes de satélites que oscile entre el 10% y el 25% del nivel de ruido total recomendado para el circuito ficticio de referencia (Recomendación 353), permitiéndose un 10% adicional para la interferencia producida por sistemas terrenales.

Si se toma el valor más reducido de interferencia entre redes, la interferencia total proveniente de todas las fuentes no excede del 20%; estos niveles permiten al responsable de la explotación del sistema un control adecuado de la calidad de funcionamiento de éste.

Si se toma la interferencia más elevada entre redes y se supone que la interferencia proveniente de todas las fuentes es aditiva, la situación equivaldría a atribuir el 35% del ruido total a fuentes de interferencia que no están bajo el control directo del responsable de la explotación del sistema. Puede ser que la situación no sea tan crítica en la práctica. Es decir, que en algunas estaciones terrenas el ruido de interferencia debido a sistemas terrenales podría ser muy inferior al 10%, y la interferencia máxima procedente de otras redes no caer en el mismo canal que la interferencia máxima procedente de fuentes terrenales. No obstante, si bien la aceptación de una interferencia tan importante permitiría incrementar el número de satélites que pueden utilizar la órbita, la misma tiene los siguientes inconvenientes:

- se reduce en una medida sustancial la capacidad del responsable de la explotación del sistema para controlar la calidad de funcionamiento de éste;
- la interferencia asume diversas formas y puede entrañar ciertos tipos de degradación que no es posible restringir fijando simplemente un límite para la potencia de ruido en el canal, por ejemplo, puede producirse interferencia impulsiva;
- se reduce la capacidad de cada uno de los satélites;
- la presencia de un ruido externo tan elevado reduce la posibilidad de obtener una gran reutilización de frecuencias dentro de una red de satélites, posibilidad que constituye un medio muy importante para aumentar la eficacia de utilización de la órbita y del espectro.

Este aspecto es un problema general que requiere mayores estudios.

Una interferencia proveniente de una sola fuente que incida sobre una red deseada MDF-MF afectará más intensamente a algunas de las portadoras del sistema deseado que a otras. Tampoco es uniforme el efecto de la interferencia en los distintos canales del sistema deseado, resultando más afectados los canales más altos de la banda de base. Así, el valor máximo de la interferencia de una sola fuente lo experimentarán relativamente pocos canales de la red deseada. Una interferencia proveniente de otra red tendrá probablemente mayores efectos sobre diferentes canales. Por ello, la interferencia total recibida en cualquier canal será inferior a la suma de los valores máximos de interferencia de una sola fuente.

3.3 *Niveles admisibles de interferencia en las transmisiones de televisión MF*

Las especificaciones de la calidad de funcionamiento del circuito ficticio de referencia para transmisiones de video aparecen en las Recomendaciones 354 y 567 para las correspondientes normas de televisión. En la Recomendación 483 se indica que el ruido de interferencia entre redes no debe exceder del 10% del ruido total en el circuito ficticio de referencia. Debe estudiarse el efecto de un aumento de este porcentaje.

En primer lugar, las transmisiones de televisión MF tienen una alta potencia y son relativamente insensibles pues deben satisfacer las condiciones de umbral para una anchura de banda relativamente grande. En conjunto, una transmisión de televisión MF no es mucho más sensible a la interferencia que una portadora de telefonía MDF-MF de 972 canales, por lo que no es probable que constituya el caso límite en una coordinación, cuando deban protegerse portadoras más sensibles. Ello sería también válido si se aplicase un criterio de interferencia basado en la sensibilidad de la portadora, como se examina en el punto 3.2. Así, pues, puede no ser necesario aumentar el margen de interferencia para las transmisiones de video con el objeto de facilitar la coordinación.

En segundo lugar, los efectos de la interferencia en una transmisión de televisión MF dependen muchísimo de la naturaleza de la interferencia, y sería conveniente estudiar más a fondo la relación que existe entre el ruido en la banda de base debido a la interferencia, la naturaleza de la señal interferente y la calidad subjetiva de las imágenes, relación que, como en el caso de la telefonía MDF-MF, constituye el criterio decisivo aunque no cuantificable. Un aumento del ruido de interferencia admisible de hasta el 25% del ruido total en la banda de base, podría muy bien entrañar una calidad objetable de las imágenes para ciertos tipos de interferencia. Agrava la situación el hecho de que, a diferencia de la telefonía MDF-MF, no es posible una compensación entre el ruido interno y el debido a la interferencia externa; una imagen «buena» tiende a ser, subjetivamente, más sensible a ciertos tipos de interferencia que una imagen mediocre.

En consecuencia, el aumento del criterio relativo a las transmisiones de televisión MF puede, por un lado, no ser necesario y, por otro, no ser aplicable con facilidad.

3.4 *Niveles admisibles de interferencia en las transmisiones digitales*

En el caso de las transmisiones digitales, la Recomendación 522 especifica un criterio de calidad de funcionamiento en función del parámetro más importante para el usuario, a saber, la proporción de bits erróneos. El criterio de funcionamiento a largo plazo estipula que la proporción de bits erróneos no debe exceder, como valor medio en un periodo de 10 min, de 1×10^{-6} durante más del 20% de cualquier mes.

Para deducir un criterio de interferencia que, como en los casos anteriores, represente una influencia moderada de la interferencia en la calidad de funcionamiento global, se podría considerar únicamente la proporción de bits erróneos. Sin embargo, a diferencia del caso de la telefonía MDF-MF analógica, no existe

ninguna relación lineal simple entre la contribución del ruido interno a la proporción de bits erróneos y la contribución de la interferencia. Es entonces indispensable relacionar el criterio de interferencia con el criterio de calidad de funcionamiento real, tomado como referencia. Se podría elegir como criterio de interferencia aquella que hace pasar la proporción de bits erróneos de $10^{-6}/k$ a 10^{-6}, donde k es un número positivo que definiría el aumento admisible de la proporción de bits erróneos debido a la interferencia. Este efecto se examina más detenidamente en el Informe 793.

Sin embargo, como es necesario referirse al criterio de calidad de funcionamiento, se ha determinado que es conveniente expresar el criterio de interferencia en función del valor que asume, antes de la demodulación, un parámetro que suele conocerse directamente. Como se puede elegir entre la relación portadora deseada/portadora interferente (C/I) y la relación ruido externo/ruido interno (I/N), se prefiere esta última por ser independiente en gran medida de las características particulares del equipo. El criterio resultante de interferencia se refleja en la Recomendación 558. Debe preverse también un margen para la interferencia proveniente de sistemas terrenales, en caso de compartirse una banda de frecuencias con esos servicios.

Este criterio tiene la ventaja suplementaria de que las contribuciones de diferentes procedencias pueden agregarse en potencia. En el caso de transmisiones digitales, como en el de telefonía MDF-MF, es posible efectuar razonablemente un compromiso entre el ruido interno y el externo, y puede considerarse un gran margen de interferencia digital para facilitar la coordinación. El efecto de interferencia en los sistemas digitales es función de la distribución de la fase y amplitud de la portadora interferente. De ahí que un desplazamiento de la frecuencia portadora de la señal interferente tenga un efecto pequeño, si la parte principal del espectro de interferencia cae dentro del canal deseado.

Para sistemas con modulación de fase que utilicen codificación diferencial y detección coherente, el nivel de interferencia admisible puede calcularse mediante la fórmula:

$$\frac{C}{I} \geqslant 10{,}8 - \frac{I}{N_{total}} - 20 \log \left[\operatorname{sen} \left(\frac{180^\circ}{m} \right) \right] + \Delta \qquad \text{dB} \tag{3}$$

donde:

C/I: la relación entre la potencia de la señal deseada y la potencia de la señal interferente,

I/N_{total}: la relación entre la potencia de la señal interferente y la potencia total de ruido, incluida la potencia de la señal interferente,

I/N_{total}: -7 dB (20%), $-8{,}2$ dB (15%) ó -14 dB (4%), según las circunstancias de la interferencia con arreglo a la Recomendación 523; 10,8 dB = valor teórico (C/N_{total}) requerido para BER = 10^{-6} en sistemas de dos fases;

m: número de posiciones de fase en la señal con modulación de fase;

Δ: pérdida de realización estimada, que variará según las características del demodulador y el número de posiciones de fase, m.

Los valores característicos de Δ son:

$2{,}5 + 0{,}5 \log_2 m$ dB para sistemas AMDF, y

$3{,}0 + 0{,}7 \log_2 m$ dB para sistemas AMDT.

La potencia interferente se medirá en la anchura de banda ocupada, que se aproximará a la anchura de banda de Nyquist, $B = \dfrac{R}{\log_2 m}$, donde R, es la velocidad de transmisión en bit/s.

Hay que seguir investigando las condiciones en que puede aplicarse la Recomencación 523, con respecto a la anchura de banda de frecuencia en que se mide el nivel de interferencia, las características de modulación y la calidad de funcionamiento de los modems.

El método descrito con anterioridad para calcular el nivel de interferencia admisible se basa en la suposición de que la señal interferente tiene el carácter de ruido térmico. El Informe 388 contiene datos que pueden utilizarse para evaluar la validez de esta suposición en el caso de una señal interferente MDP.

3.5 *Relación entre la interferencia total admisible y las contribuciones individuales*

El máximo valor recomendado de interferencia total facilita orientación a los proyectistas de sistemas, que tienen que diseñarlos de forma que con ese nivel de interferencia, se cumplan, no obstante, las normas necesarias de calidad de funcionamiento. Por tanto, el problema consiste en elegir un valor de interferencia máxima para una sola fuente que permita lograr las separaciones angulares mínimas entre satélites y que permita asimismo colocar en la órbita las nuevas redes de satélites necesarias, y asegure que la interferencia total en una red no exceda el valor recomendado.

Durante años, las Recomendaciones del CCIR han limitado la interferencia de una sola fuente a 4/10 del total admisible. Esta proporción corresponde aproximadamente a la contribución al ruido total de cada una de las dos redes de satélites vecinas de una población homogénea equidistante, cuyos satélites prestan esencialmente servicio a la misma zona de la superficie de la Tierra.

En la práctica, este límite evaluado para una sola contribución se ha revelado insatisfactorio por los siguientes motivos:

- no está asociado con ninguna separación dada entre satélites próximos de igual cobertura y puede dar lugar a que se pidan separaciones bastante más grandes, lo que tiende a ser un dispendio de la órbita; y

- es una salvaguardia insuficiente para garantizar que la interferencia acumulativa real no exceda del valor permisible total para el cual han sido diseñadas las redes.

Para solventar estos inconvenientes, puede aplicarse una estrategia que consiste en lograr un alto grado razonable de homogeneidad, entre todas las redes que funcionen en una determinada banda de frecuencias del servicio fijo por satélite, imponiendo límites de emisión y sensibilidad a los sistemas transmisor y receptor de las estaciones terrenas y espaciales, respectivamente, de todas las redes. Se escogerían tales límites de modo que permitiesen el empleo de parámetros «razonables» de puesta en servicio y transmisión para una separación aceptable entre satélites de redes con igual cobertura (por ejemplo, de 4° a 10° de arco). Este método sería altamente eficaz ya que establece un interfaz de interferencia absoluto entre las redes. Al mismo tiempo, sería relativamente restrictivo puesto que los márgenes de diseño y de explotación de los parámetros técnicos en todas las redes son necesariamente limitados.

Esta estrategia está destinada a limitar la interferencia total producida en una red cuando todas las redes interferentes tienen zonas de servicio que se superponen con la zona de servicio de la red interferida. Se trata de una situación típica de, por ejemplo, ciertos arcos de la órbita de los satélites geoestacionarios muy utilizados por satélites de cobertura global. Hay un riesgo adicional de que la interferencia total alcance niveles elevados cuando algunas de las redes en cuestión tienen zonas de servicio que no se superponen con la zona de servicio de la red interferida y ese riesgo será mayor a medida que la órbita vaya saturándose con satélites de cobertura nacional que utilicen antenas de gran rendimiento.

Cuando la red de satélites que es interferida por otras redes utiliza emisiones MDF-MF de diversas anchuras de banda, es improbable que todas las interferencias máximas producidas dentro de la red o por otras redes afecten a un mismo canal. Por tanto, la interferencia total en el canal más afectado será inferior a la suma aritmética de todas las interferencias más desfavorables procedentes de una sola fuente. Por eso es válida quizás una relación de aproximadamente 1:3 entre la interferencia máxima admisible procedente de una sola fuente y el nivel total supuesto. En la Recomendación 466 se toman en cuenta estos principios para la adopción de un criterio de 2500 pW0p para la interferencia total entre redes, independientemente de la reutilización de la frecuencia dentro del sistema, y un criterio de 800 pW0p para el caso de una sola fuente de interferencia entre redes.

En el caso de los sistemas digitales de banda ancha, sin embargo, todas las interferencias distintas contenidas dentro de la anchura de banda del predemodulador del sistema interferido se sumarán en potencia y afectarán a todos los canales del sistema; no habrá una aleatorización de la incidencia de la interferencia entre los diferentes canales. En estas condiciones, es perfectamente previsible que el nivel de interferencia total sea sustancialmente mayor, y habrá que suponer una relación mayor entre la interferencia máxima admisible procedente de una sola fuente y el nivel de interferencia total recomendado. Además, parece necesario diferenciar el nivel total admisible de interferencia entre redes cuando se usa la reutilización de frecuencia y cuando no se usa, pero ello ha de ser objeto de ulterior estudio. La Recomendación 523 sobre telefonía digital contiene un valor menor de interferencia total entre redes de satélites con reutilización de frecuencias debido a que un nivel dado de interferencia exterior tendrá más repercusión en la capacidad de dicha red que la que tendría el mismo nivel sobre una red sin reutilización de frecuencias. Si el nivel máximo de interferencia procedente de una sola fuente para el caso en que no se reutilizan frecuencias, se aplicase también para el caso en que se reutilizan frecuencias, existe cierta posibilidad de que el nivel total de interferencia procedente de otras redes de satélites en algunos de los canales exceda del criterio aplicable. Ello puede suceder cuando el arco de la órbita próximo al satélite deseado esté densamente ocupado. Sin embargo, si se recomiendan diferentes máximos en los dos casos, el proceso de coordinación de frecuencias se haría más complejo y, por esta razón, se utiliza el mismo valor.

La Recomendación 466 preconiza un valor menor de interferencia total entre redes de satélites con reutilización de frecuencias (2000 pW0p) debido a que un nivel dado de interferencia exterior tendrá más repercusión en la capacidad de dicha red que la que tendría el mismo nivel sobre una red sin reutilización de frecuencias en la que se previese un valor de 2500 pW0p. En la Recomendación 523 relativa a la telefonía digital figuran las indicaciones correspondientes. Si el nivel máximo de interferencia procedente de una sola fuente para el caso en que no se reutilizan frecuencias, se aplicase también para el caso en que se reutilizan frecuencias, existe cierta posibilidad de que el nivel total de interferencia procedente de otras redes de satélites en algunos de los canales exceda de 2000 pW0p cuando el arco de la órbita próximo al satélite deseado esté densamente ocupado. Sin embargo, si se recomiendan diferentes máximos en los dos casos, el proceso de coordinación de frecuencias se haría más complejo y, por esta razón, se utiliza el mismo valor.

Es obvio que todo intento de aumentar los niveles actuales de interferencia máxima debe ir acompañado de salvaguardias para garantizar que la interferencia real acumulativa no exceda materialmente el valor permisible total aumentado, y es necesario continuar los estudios.

Por último, existen ciertas transmisiones totalmente incompatibles entre sí en lo que respecta a la interferencia cocanal mutua. Un ejemplo de ello es la interferencia que una portadora de gran densidad, como la de televisión MF, con insuficiente dispersión de energía de la portadora, o una portadora MDF-MF de bajo índice de modulación y alta capacidad, puede causar sobre una portadora de capacidad baja, como una transmisión SCPC (portadora monocanal) analógica o digital. La yuxtaposición de esas transmisiones incompatibles causaría un desequilibrio extremo de las características de las dos redes, y debería evitarse mediante convenios o coordinación.

4. Relaciones entre $\Delta T/T$ y los criterios de interferencia procedente de una sola fuente

En el anexo II a este Informe se presentan los resultados de los cálculos de las relaciones de $\Delta T/T$ que corresponden a los criterios de interferencia procedente de una sola fuente aplicables a los diferentes tipos de sistemas. El anexo III del Informe 453 contiene la descripción de un método para calcular la interferencia que se basa en el apéndice 29, debidamente modificado para la obtención de resultados exactos.

5. Medios técnicos para facilitar la coordinación entre redes que utilizan satélites geoestacionarios

Cuando se coordinan dos redes de satélite desde el punto de vista de la interferencia mutua, pueden reajustarse algunos parámetros en una o en ambas redes, a fin de cumplir los niveles de interferencia admisibles. Estos reajustes pueden comprender cambios en los parámetros de los enlaces, con los consiguientes cambios en los niveles de densidad de potencia y de sensibilidad.

En el Informe 453 se identifican conceptualmente cuatro factores que limitan la densidad de potencia, a saber:

- la densidad de potencia en el enlace ascendente (P_u);
- la densidad de potencia interferente contra la que se protege el receptor del satélite (I_u);
- la densidad de potencia en el enlace descendente (P_d); y
- la densidad de potencia interferente contra la que se protege el receptor de la estación terrena (I_d).

Tal vez se pueda efectuar la coordinación sobre la base de establecer límites acordados de los valores de estos cuatro parámetros.

Para lograr coordinación sobre la base de los cuatro parámetros anteriormente mencionados también puede utilizarse la redisposición en el acceso a los transpondedores, para minimizar los efectos de las diferencias entre las ganancias de antena de las estaciones terrenas o entre las relaciones G/T.

Si durante el procedimiento de coordinación entre dos sistemas se demuestra que no pueden satisfacerse los criterios de interferencia en toda la banda de frecuencias, puede revelarse necesario examinar la posiblidad de dividir la banda de frecuencias en segmentos, permitiendo con ello la coordinación de segmentos de anchura de banda más homogéneos. Los valores (P_u/I_u) y (P_d/I_d) pueden reducirse considerablemente mediante un procedimiento de segmentación de la banda de frecuencias, lo que permite efectuar la coordinación para diversos valores de los cuatro parámetros en diversos segmentos de una banda. Deberá examinarse primeramente con atención particular la interferencia proveniente de portadoras de alta densidad espectral, como las emisiones de televisión MF. Siempre que sea posible, deben limitarse tales portadoras a un segmento de la banda de RF exento de transmisiones de gran sensibilidad, como las de telefonía SCPC. Si se emplean disposiciones de transpónderes similares para ambas redes, ello podría lograrse asignando diferentes transpónderes a cada tipo de transmisión. Si se efectúa la coordinación durante una de las primeras fases de la planificación, constituiría otra posibilidad preparar los planes de frecuencias de los transpónderes de modo que las bandas de entrecruzamiento de los filtros de una red caigan dentro de la anchura de banda utilizable de la otra. Esto permite situar las portadoras de mayor densidad espectral de una red dentro de las bandas de guarda de la otra.

Si ello no fuera posible, puede ser necesario reducir la densidad espectral interferente mejorando la técnica de dispersión de energía de la señal de televisión. La dispersión de energía convencional de una portadora de televisión, como la que se emplea actualmente para atenuar la interferencia causada a las portadoras multicanal de capacidad reducida, resulta relativamente ineficaz para proteger una transmisión SCPC, ya que se basa en la dispersión uniforme de una portadora de televisión (que a menudo no está sometida a una excursión de frecuencia) a la frecuencia de la trama de la señal de video, es decir, 50 ó 60 Hz. La portadora de televisión dispersada a tan baja frecuencia, y a lo sumo en una banda de unos pocos megahertzios, es, para una portadora SCPC, algo muy parecido a una interferencia por impulsos de toda la potencia de la portadora de televisión con un ciclo de trabajo igual a la relación entre la anchura de banda ocupada por las portadoras SCPC y la excursión cresta a cresta causada por la dispersión.

A fin de lograr una mejor reducción de la interferencia en estos casos, se ha propuesto y ensayado por análisis y medición una técnica de dispersión de las señales analógicas de televisión MF. Esa técnica utiliza meramente una frecuencia de dispersión superior, en principio del mismo orden de magnitud que la velocidad de transmisión de elementos de información de la señal de las portadoras SCPC. En la práctica se utiliza una frecuencia de dispersión igual a la frecuencia de línea de video. Se ha demostrado que la señal de televisión, en el

caso de dispersión a la frecuencia de línea, no requiere una anchura de banda de RF adicional. El efecto de interferencia en las portadoras SCPC se parece entonces mucho más al de una señal de ruido blanco distribuida uniformemente en toda la anchura de banda de dispersión, ya que el filtro del receptor de portadoras SCPC no puede reaccionar ante el barrido efectivo de la portadora de televisión, que más bien se comporta como si ocupase una anchura de banda instantánea considerable. La dispersión de energía a la frecuencia de línea entraña una relación C/I comparable a la que se obtiene en otros tipos de transmisión.

Tanto la dispersión mediante una señal triangular como en diente de sierra parecen ser eficaces, suponiéndose que ambas formas de la onda de dispersión pueden eliminarse fácilmente en el receptor. Los resultados iniciales de las mediciones son bastante alentadores, pero se requiere aún una labor adicional considerable, con inclusión de mediciones subjetivas y objetivas. Véase la información adicional contenida en el anexo II al Informe 384.

Debe observarse que la dispersión monofrecuencia de las señales analógicas de televisión MF a la frecuencia de líneas de video puede no ser práctica para reducir la interferencia causada a la telefonía multicanal MDF-MF o a otras portadoras analógicas de televisión MF, ya que la frecuencia de dispersión puede aparecer en la banda de base de otras portadoras que comparten elementos comunes del sistema de transmisión con la portadora dispersada.

En el caso de la dispersión de energía a la frecuencia de línea o de trama, si la separación entre las frecuencias de las portadoras SCPC y TV es ligeramente superior a la semisuma de la anchura de banda de dispersión de energía y la excursión cresta a cresta de la portadora TV de baja frecuencia, no puede producirse interferencia al nivel de la portadora completa TV.

La intercalación de frecuencias sería otro medio para facilitar el procedimiento de coordinación. El grado en que se puede conseguir una menor separación entre satélites y una mejor utilización de la órbita y del espectro mediante la intercalación de las frecuencias portadoras de un satélite con las de un satélite vecino depende mucho del tipo de modulación (por ejemplo, MF o MDP) y de la técnica de acceso múltiple al satélite (por ejemplo, portadora única o AMDF) aplicada a las portadoras deseada e interferente. La reducción que puede conseguirse en la separación entre satélites puede expresarse en términos de una mayor tolerancia a la interferencia de radiofrecuencia que, dependiendo de las técnicas de modulación y de acceso múltiple al satélite que se apliquen, puede variar entre 0 y 12 dB.

En el caso de telefonía MDF-MF se mejora la relación exigida portadora/interferencia cuando se utilizan frecuencias portadoras intercaladas. Esta cuestión es de interés desde el punto de vista de la utilización eficaz de la órbita. La mejora es de hasta unos 12 dB, según los índices de modulación.

En el caso de sistemas que utilicen una diversidad de técnicas de modulación y de acceso múltiple, la ventaja máxima de la intercalación de portadoras sólo podrá conseguirse con una coordinación adecuada y con la atribución del tráfico o de los modos de transmisión a canales específicos de radiofrecuencia de satélites. Sin embargo, esto quizá no sea posible en la práctica debido a la dificultad de prever con precisión las necesidades del tráfico o las nuevas aplicaciones a la pérdida de flexibilidad que se produce al reasignar el tráfico. Como ya se ha hecho observar en el punto 3.4, se obtiene poca mejora en la separación necesaria entre satélites con la intercalación de señales digitales en esos casos, pero no es probable que esto sea un factor limitativo, ya que la separación requerida por las señales analógicas suele ser superior.

Ante las consideraciones expuestas, las ventajas de la intercalación de frecuencias entre satélites pueden verse limitadas en la práctica a un escaso número de aplicaciones.

La coordinación puede facilitarse mediante la redisposición de las portadoras entre transpondedores para minimizar la interferencia mutua. A tal efecto se han desarrollado técnicas de computador para lograr disposiciones óptimas de las portadoras.

Puede también facilitarse la coordinación mediante el ajuste de la posición de las portadoras dentro de cada transpondedor. También se han desarrollado técnicas para optimizar este tipo de redisposición de las portadoras.

Sin embargo, hay que observar que esa coordinación por portadoras en una red AMDF entraña considerables dificultades prácticas, debido a la imposibilidad de responder a la evolución de las necesidades de los usuarios. No obstante, la presión de los nuevos sistemas puede hacer que esa coordinación detallada sea necesaria en el futuro.

6. Separación entre satélites en el espacio y en el tiempo

6.1 *Introducción*

La compartición de frecuencias entre satélites de distintas redes es factible si entre sus satélites existe suficiente separación angular o si el funcionamiento del transmisor de uno de ellos se interrumpe cuando no existe suficiente separación angular. A continuación figura el método para establecer las separaciones requeridas en el espacio y en el tiempo para satélites geoestacionarios y satélites no geoestacionarios.

6.2 *Separación angular entre satélites geoestacionarios*

Los cálculos hechos en [CCIR, 1966-69] muestran que los ángulos de separación entre satélites son bastante razonables (del orden de 1° a 6°) en la mayoría de los casos. En sistemas multicanales con índices bajos de modulación, o sistemas de un solo canal, es necesario que las separaciones sean mayores.

6.3 *Interferencia entre sistemas de satélites geoestacionarios y sistemas de satélites no geoestacionarios*

6.3.1 *Separación en el espacio mediante intervalos en la órbita*

La separación angular entre satélites en órbitas inclinadas y satélites geoestacionarios se puede mantener en el espacio si se reservan partes de la órbita de los satélites geoestacionarios para el cruce ecuatorial por parte de los satélites no geoestacionarios.

Esta solución impone un límite al número de satélites geoestacionarios que se pueden utilizar.

6.3.2 *Separación en el espacio y en el tiempo*

La separación entre satélites en el espacio y en el tiempo significa que en los periodos de insuficiente separación espacial se consigue la separación en el tiempo interrumpiendo las transmisiones de uno de los satélites que causa las interferencias mutuas.

Todos los sistemas que utilizan satélites no geoestacionarios están previstos para que dispongan de medios de conmutación entre satélites, reorientación de la antena y seguimiento, que entran en los procedimientos normales de explotación. La necesidad de transferir el tráfico de un satélite a otro porque se ha de interrumpir el funcionamiento del primero a causa de interferencias, no significa ninguna complejidad adicional para el sistema en general.

La fig. 1 representa la zona de posibles interferencias entre satélites geoestacionarios y no geoestacionarios. Este volumen es el limitado por la superficie de revolución alrededor del eje de la Tierra; lo forman líneas rectas tangentes a la Tierra que cortan el plano del ecuador a la altura de la órbita geoestacionaria.

Las interferencias entre satélites geoestacionarios y satélites no geoestacionarios se pueden impedir haciendo que cesen las transmisiones de uno de ellos cuando sea insuficiente la separación angular que existe, vista desde las estaciones terrenas que comunican a través de dichos satélites. Si la estación terrena que trabaja con un satélite no geoestacionario está diseñada para permitir las operaciones de conmutación, seguimiento y rápida reorientación de la antena, técnicamente ha de ser factible hacer que cesen las transmisiones de tales satélites cuando no se dispone de suficiente separación entre ellos y los satélites geoestacionarios. Cuando se llegue a utilizar plenamente la órbita de los satélites geoestacionarios, los satélites no geoestacionarios tienen que poder dejar de transmitir cuando se encuentren en la zona de interferencia que se muestra en la fig. 1. Sin embargo, esta cuestión tendrán que decidirla las administraciones interesadas.

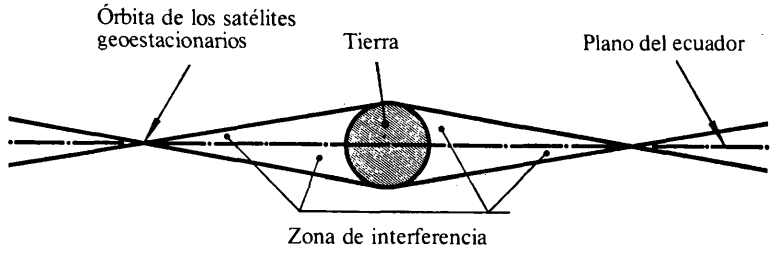


FIGURA 1 — *Zona de interferencia entre satélites geoestacionarios y satélites no geoestacionarios*

7. Resumen

El presente estudio muestra que la separación angular mínima entre satélites depende del nivel admisible de ruido de interferencia causado por otros satélites y estaciones terrenas en los canales de la banda de base.

La compartición de frecuencias entre redes de satélites geoestacionarios es factible si existe suficiente separación angular. La separación necesaria entre los satélites en la órbita de los satélites geoestacionarios depende de los parámetros del sistema, por ejemplo de la p.i.r.e., de los diagramas de radiación de las antenas de las estaciones terrenas etc., y por ahora no se puede definir ni siquiera en términos generales.

También es factible la compartición de frecuencias entre redes de satélites geoestacionarios y no geoestacionarios si se interrumpe el funcionamiento de uno de los satélites cuando no existe suficiente separación. La decisión sobre qué satélite hay que interrumpir deberán tomarla las administraciones interesadas.

La separación real necesaria entre los satélites depende también del nivel admisible de la interferencia total y del modo en que está constituido este total a partir de las contribuciones de interferencia de satélites individuales. La optimización de esos niveles y la determinación de medios para regularizarlos es asunto importante que requiere ulterior estudio en el marco del Programa de Estudios 2J/4.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos del CCIR
[1966-69]: IV/348 (URSS).

ANEXO I

MÉTODO DE CÁLCULO DE LAS RELACIONES PORTADORA DESEADA/PORTADORA INTERFERENTE ENTRE REDES DE SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

1. Introducción

La importancia de la interferencia entre dos redes de satélites depende de los parámetros de funcionamiento de los sistemas empleados. Para evaluar las interferencias entre redes de radiocomunicación por satélite se acostumbra a dividir en dos etapas los cálculos. En primer lugar se determinan las relaciones portadora deseada/portadora interferente a la entrada del receptor correspondiente, entre dos posibles portadoras cualesquiera capaces de interferirse y, en la segunda etapa se comparan estas relaciones con la potencia de ruido en el canal de la banda de base. En el presente anexo se expone el método de cálculo de las relaciones portadora deseada/portadora interferente. Para la segunda etapa, referirse al Informe 388.

2. Método

En las figs. 2a y 2b se han representado los trayectos de interferencia entre dos redes por satélite. La determinación del valor mínimo de los ángulos de separación topocéntrica entre satélites (vistos desde un punto de la Tierra), debe hacerse teniendo en cuenta el valor nominal del ángulo de separación geocéntrico del satélite, las incertidumbres en la posición del satélite (longitud de los nodos orbitales e inclinaciones de las órbitas) y las ubicaciones geográficas de las estaciones terrenas. El empleo de la separación angular geocéntrica, θ, en lugar de la separación angular topocéntrica simplifica los cálculos y está justificado por el hecho de que los dos ángulos son casi iguales. Además, como la separación angular topocéntrica es siempre mayor que la separación angular geocéntrica, los cálculos basados en esta última dan resultados más prudentes.

Los satélites de radiocomunicación requieren asignaciones de frecuencia en dos bandas, una para el trayecto ascendente y la otra para el trayecto descendente. Es práctica común el asociar las bandas de frecuencias por parejas, utilizándose una de cada pareja para el enlace ascendente y la otra para el enlace descendente. El caso I, a continuación, describe las posibilidades de interferencia entre dos redes a las que se han asignado bandas de frecuencias en esta forma; esta interferencia procedente de un enlace ascendente, afecta al enlace ascendente deseado, y la interferencia procedente de un enlace descendente afecta al enlace descendente deseado. Sería posible, sin embargo, utilizar bandas de frecuencias en el sentido inverso para ambas redes, la banda del enlace ascendente para una red sería la misma que la del enlace descendente para la red que utiliza un satélite adyacente; en tales circunstancias la interferencia procedente de un enlace ascendente afecta al enlace descendente deseado, y la interferencia procedente de un enlace descendente afecta al enlace ascendente deseado; este es el caso II.

2.1 *Caso I*

Se supone que para establecer las relaciones portadora deseada/portadora interferente en los enlaces ascendente y descendente rigen las siguientes condiciones de propagación:

- debido a los efectos de la propagación y de las precipitaciones locales, habrá fluctuaciones en las señales deseadas e interferentes transmitidas por estaciones terrenas ubicadas en distintos puntos de la superficie de la Tierra. Al calcular el valor medio de la interferencia, debe darse un margen a la ecuación correspondiente al enlace ascendente, a menos que las p.i.r.e. de las estaciones terrenas se regulen de manera que los niveles de potencia recibidos por los satélites sean siempre los mismos;
- en el enlace descendente, la relación «nivel de la señal deseada/nivel de la señal interferente» no varía con el tiempo. Las interferencias bastante intensas como para producir efectos apreciables, son las causadas por otros satélites próximos a la red deseada por resultar insuficiente la discriminación debida a la directividad de la antena de la estación terrena para separar las señales deseadas e interferentes. De aquí que se atenuarán en la misma medida las señales deseadas y las interferentes cuando varíen las condiciones de propagación, puesto que viajarán a través de las mismas zonas perturbadas. Por consiguiente, la fluctuación que aparezca en la señal deseada recibida, no tendrá efectos apreciables en el nivel de interferencia de la banda de base, por lo que no se necesita ningún margen para el enlace descendente.

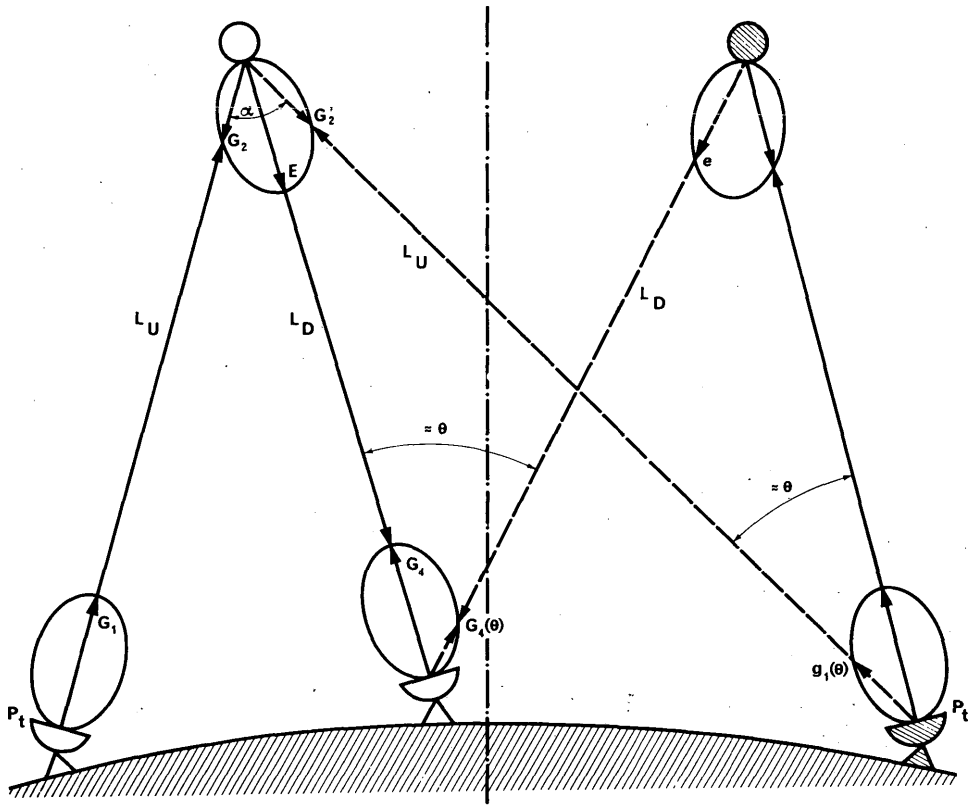


FIGURA 2a – *Geometría de las interferencias entre dos redes por satélite, caso I – enlace ascendente de la red deseada que comparte frecuencias con el enlace ascendente de la red interferente*

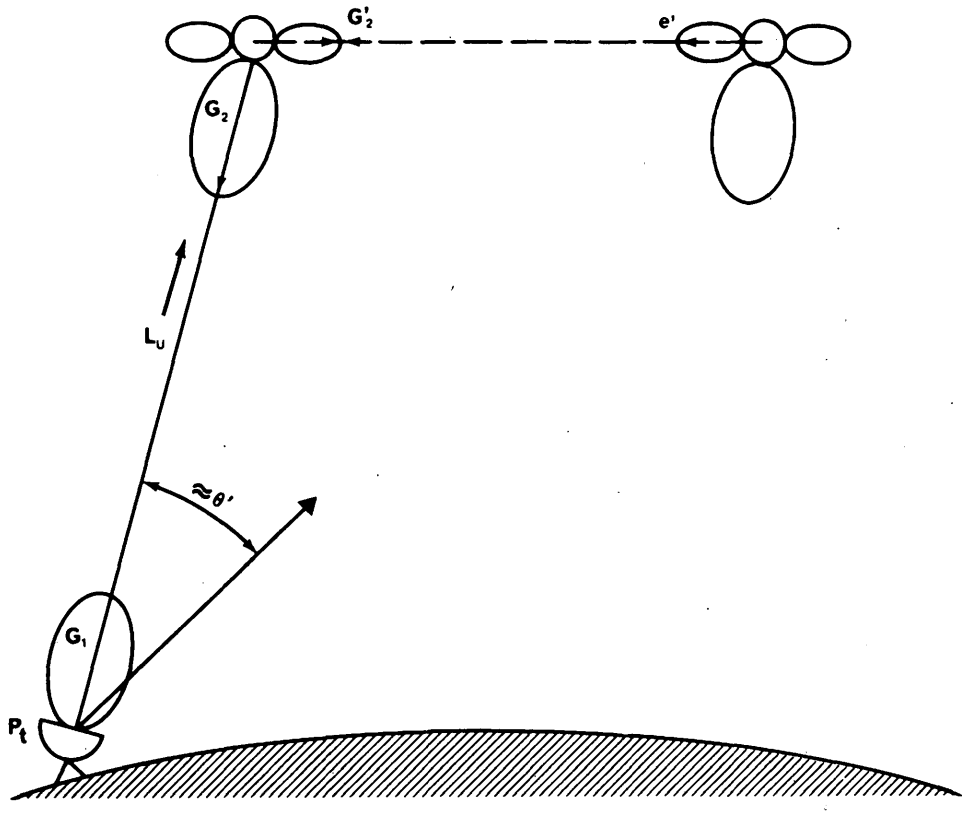


FIGURA 2b – *Geometría de la interferencia entre dos redes por satélite, caso II – enlace ascendente de la red deseada que comparte frecuencias con el enlace descendente de la red interferente*

En esta primera etapa hay que resolver las dos ecuaciones siguientes:

$$(C/I)_U = P_t + G_1 - \Delta L_U - M_U - p_t - g_1(\theta) + \Delta G_2 + Y_U \quad \text{dB} \tag{4}$$

y

$$(C/I)_D = E + G_4 - \Delta L_D - e - G_4(\theta) + Y_D \quad \text{dB} \tag{5}$$

donde:

$(C/I)_{U,D}$: relación portadora deseada/portadora interferente en los enlaces ascendente y descendente respectivamente (dB);

P_t, p_t: potencias de transmisión de la portadora deseada y de la portadora interferente aplicadas a las antenas de las correspondientes estaciones terrenas (dBW);

G_1, G_4: ganancias de transmisión y de recepción de las antenas de la estación o de las estaciones terrenas (dB);

ΔL_U: diferencia de pérdida en los enlaces ascendentes hacia el satélite deseado, desde las dos estaciones terrenas,
$\Delta L = L_{deseada} - L_{interferente}$ (dB);

ΔL_D: diferencia de pérdida en los enlaces descendentes hacia la estación terrena deseada desde los satélites; ΔL igual que en la definición anterior (dB);

M_U: margen para el enlace ascendente en la red deseada (dB);

$g_1(\theta)$: ganancia de antena en la estación terrena interferente en dirección del satélite deseado (dB);

(θ): separación angular geocéntrica mínima de los satélites vista desde la estación terrena interferente;

ΔG_2: diferencia entre las ganancias de antena (recepción) del satélite deseado en la dirección de las dos estaciones terrenas,
$\Delta G_2 = G_{2\,deseada} - G_{2\,interferente}$ (dB);

Y_U: discriminación mínima por polarización entre la portadora interferente en el enlace ascendente y la antena receptora del satélite deseado (dB);

Y_D: discriminación mínima por polarización entre la portadora interferente en el enlace descendente y la antena receptora de la estación terrena deseada (dB);

E, e: p.i.r.e. de la portadora deseada y de la portadora interferente en la dirección de la estación terrena deseada (dBW);

$G_4(\theta)$: ganancia de antena en la estación terrena deseada en dirección del satélite interferente (dB).

Notas relativas a algunos de los factores de las ecuaciones anteriores:

- Las potencias y ganancias de antena correspondientes a la red deseada se indican con letras mayúsculas, y las correspondientes al sistema interferente, con letras minúsculas. Los subíndices que acompañan a las ganancias de las distintas antenas corresponden al trayecto seguido por la señal, por ejemplo: 1 = transmisión desde la estación terrena; 2 = recepción en el satélite; 3 = transmisión desde el satélite; 4 = recepción en la estación terrena.
- Las ganancias de antena $g_1(\theta)$ y $G_4(\theta)$ conviene calcularlas utilizando los diagramas de radiación medidos de las antenas de la estación terrena; sin embargo, en los cálculos preliminares se puede emplear el diagrama de radiación generalizado de una antena de una estación terrena, que se da en la Recomendación 465.
- Para cálculos muy precisos se pueden utilizar los ángulos topocéntricos en las expresiones de g_1 y G_4.
- De ser posible, se computarán los términos ΔG_2, E y e utilizando diagramas medidos de antena de satélite. Las variaciones de la geometría del trayecto con el tiempo pueden influir en estos términos; pero es probable que aquéllas sean pequeñas, y generalmente podrán despreciarse.
- Si no se conocen las polarizaciones de las antenas de los satélites, hay que suponer que son idénticas, en cuyo caso deben hacerse iguales a 0 dB los factores Y_U e Y_D. La cuestión sobre la discriminación por polarización se estudia en el Informe 555.

2.2 *Caso II*

Cuando la frecuencia asignada al enlace ascendente de una red deseada sea la misma que la asignada al enlace descendente de una red interferente, se obtiene una buena aproximación de la relación portadora deseada/portadora interferente para el enlace ascendente de la red deseada mediante:

$$(C/I)'_U = P_t + G_1 - M_U + \Delta G'_2 - e' + Y' + 20 \log \theta' - 35{,}2 \quad \text{dB} \tag{6}$$

donde (además de las anteriores definiciones):

$\Delta G'_2$: diferencia entre la ganancia de la antena receptora del satélite deseado, en la dirección de la estación terrena transmisora deseada, y la ganancia de esta misma antena en la dirección del satélite interferente,
$\Delta G'_2 = G_{2\,deseada} - G_{2\,interferente}$ dB;

e' : p.i.r.e. de la portadora interferente del satélite en la dirección del satélite deseado (dBW);

Y' : discriminación por polarización mínima entre la portadora del satélite interferente y la antena receptora del satélite deseado (dB);

θ' : separación angular mínima geocéntrica de los satélites, vista desde la estación terrena deseada (grados).

Los cálculos de la interferencia desde un enlace ascendente no deseado a un enlace descendente deseado, es decir, desde el transmisor de una estación terrena al receptor de la estación terrena deseada, deberán basarse en las técnicas expuestas en los Informes 448 y 388. No obstante, debe ser posible reducir esta interferencia hasta un nivel despreciable, eligiendo cuidadosamente la ubicación de las estaciones terrenas.

2.3 *Relación entre las portadoras deseada e interferente del enlace*

– Para el caso I, la relación global entre las portadoras deseada e interferente se obtiene mediante la combinación de los resultados de las ecuaciones (4) y (5) utilizando la fórmula:

$$C/I = -10 \log \left[10^{-\frac{(C/I)_U}{10}} + 10^{-\frac{(C/I)_D}{10}} \right] \quad \text{dB} \qquad (7)$$

– Para el caso II, la relación entre las portadoras deseada e interferente* se obtiene directamente de la ecuación (6).

3. Efectos de la interferencia

El punto 2 proporciona la fórmula de cálculo de la relación portadora deseada/portadora interferente. Los efectos específicos en el funcionamiento del sistema dependerán de muchos factores adicionales tales como: 1) tipo de servicio, por ejemplo, telefonía, televisión, transmisión de datos, etc.; 2) tipo de modulación empleado, por ejemplo, modulación digital, modulación de frecuencia, modulación de amplitud; 3) parámetros de la modulación, y 4) relación portadora deseada/ruido térmico del sistema. Las posibles interacciones entre señales interferentes son de muchas clases distintas y deben ser objeto de constantes estudios.

Los tipos de transmisión más corrientemente empleados en los sistemas de satélites de telecomunicación son: *a)* telefonía con modulación de frecuencia; *b)* televisión con modulación de frecuencia y *c)* portadoras con modulación digital. Para poder determinar el funcionamiento global de la red y establecer directrices de interferencia admisible, es necesario conocer el efecto en la banda de base de la interferencia entre señales de tipos semejantes y diferentes. En el presente anexo se expone únicamente un método de cálculo de la relación portadora deseada/portadora interferente, utilizable como parámetro en dicho cálculo.

4. Resumen

El procedimiento de cálculo de las diversas interferencias entre dos redes de satélites, para determinada serie de parámetros, comprende las siguientes operaciones:

4.1 Designar el satélite deseado y el satélite interferente.

4.2 Elegir los parámetros necesarios para resolver las ecuaciones (4), (5) o (6) para una de las posibles fuentes de interferencia y designar los parámetros de acuerdo con el punto 4.1.

4.3 Resolver las ecuaciones (4), (5) o (6), para la serie de parámetros elegidos.

4.4 Determinar la relación portadora deseada/portadora interferente de la red, de conformidad con el § 2.3 de este anexo, según los casos.

4.5 Sirviéndose de los resultados obtenidos de acuerdo con el punto 4.4 y de los datos relativos a la modulación y a la separación de las portadoras estudiadas, determinar, de acuerdo con el Informe 388, la potencia de ruido de la interferencia causada a la portadora deseada.

4.6 Invertir, si procede, las designaciones del satélite deseado y satélite interferente y repetir las operaciones anteriores.

4.7 Repetir las operaciones anteriores para todas las combinaciones de portadoras y estaciones terrenas que puedan dar lugar a interferencias mutuas en las dos redes.

Nota. – En algunos casos, una determinada portadora puede ser interferida por más de una portadora interferente. En tales casos parece lícito sumar, en potencia, las contribuciones de ruido debido a las interferencias.

---

* Debe estudiarse por separado la interferencia entre estaciones terrenas, ya que son distintas las condiciones de propagación y los criterios que se aplican.

BIBLIOGRAFÍA

Documentos del CCIR
[1966-69]: IV/348 (URSS).

ANEXO II

RELACIONES ENTRE $\Delta T/T$ Y LOS CRITERIOS DE INTERFERENCIA PROCEDENTE DE UNA SOLA FUENTE

1. Introducción

En el Informe 454 se describe el método de cálculo para determinar cuando se requiere coordinación entre dos redes de satélites. Dado que allí se considera como ruido térmico a las señales interferentes, el método puede utilizarse independientemente de las capacidades y características de modulación de las portadoras transmitidas en cada red de satélites; tampoco es necesario conocer con precisión sus frecuencias. El método del Informe 454 es por lo tanto aproximado y es conservador en el sentido de que no exime de coordinación a dos redes de satélite que transmitan portadoras en las que los criterios referentes a la interferencia procedente de una sola fuente no se cumplirían si se calculara detalladamente la interferencia. Dichos criterios representan el objetivo final que ha de acatarse si la interferencia mutua entre dos redes de satélite cualesquiera ha de mantenerse dentro de valores predeterminados.

Se ha calculado la relación $\Delta T/T$ que corresponde a una fuente de interferencia única específica para distintos tipos de portadoras interferentes y deseadas, utilizadas en las redes de satélites geoestacionarios. En el caso de parámetros de modulación distintos a los supuestos en [CCIR, 1978-82a], los valores resultantes de $\Delta T/T$ pueden ser diferentes.

2. Relación entre $\Delta T/T$ y C/I

El método descrito en el Informe 454 se basa en el principio de que la temperatura de ruido del sistema interferido sufre un aumento aparente como consecuencia del efecto de la interferencia; las señales interferentes se consideran como un ruido térmico con una densidad espectral de potencia igual a la densidad espectral máxima de potencia de las señales.

Si I_0 es la densidad espectral máxima de potencia de la portadora interferente, puede por lo tanto expresarse así:

$$\frac{C}{I_0} = \frac{C}{k \times \Delta T} \tag{8}$$

donde C/I_0 es la relación entre la portadora y la densidad de interferencia, suponiendo que I_0 se calcule como si la interferencia pudiera considerarse como ruido térmico. El aumento aparente en la temperatura de ruido del sistema interferido es ΔT y k es la constante de Boltzmann (J/K).

La relación «portadora/densidad de ruido» para la portadora «deseada», debido al ruido total del enlace por satélite, puede expresarse así:

$$\frac{C}{N_0} = \frac{C}{k\,T} \tag{9}$$

donde T es la temperatura de ruido equivalente del enlace por satélite de la portadora interferida.

La combinación de las fórmulas (8) y (9) da el siguiente resultado:

$$10 \log \frac{\Delta T}{T} = (C/N_0) - (C/I_0) \tag{10}$$

donde las relaciones portadora/densidad de ruido y portadora/densidad de interferencia se expresan en dBHz.

Cabe observar que I_0 corresponde a los valores máximos de densidad de potencia notificados mediante los apéndices 3 y 4 del Reglamento de Radiocomunicaciones, y utilizados en los cálculos realizados conforme al apéndice 29 del Reglamento de Radiocomunicaciones y al Informe 454.

3. Protección de las portadoras MDF-MF

En [CCIR, 1978-82a] los valores de $\Delta T/T$ se determinaron para una amplia gama de portadoras de telefonía MDF-MF interferentes sobre la base de una interferencia procedente de una sola fuente de 600 pW0p y un ruido del sistema de 7000 pW0p (es decir, ruido excluidas todas las interferencias). Los valores requeridos de la relación portadora/interferencia filtrada (C/I_B) que corresponden a un nivel de ruido de señal interferente demodulada de 600 pW0p en el canal superior de la portadora deseada, se han calculado utilizando el modelo matemático que se expone en [Pontano y otros, 1973]. No se consideró ninguna separación de frecuencias para cada par de portadoras del cuadro I.

Borodich [1984] da una fórmula que expresa la relación entre el aumento aparente de la temperatura de ruido equivalente en la entrada del receptor debida a la interferencia y la potencia de ruido causada en consecuencia en el canal de audiofrecuencia.

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{P_{NI}}{P_{NT}} \frac{W_I(0)}{D(\delta f, F)} \tag{11}$$

en donde:

P_{NI}: potencia de ruido (pW) causado por la señal interferente real en el canal de audiofrecuencia, en el punto de nivel relativo cero;

P_{NT}: potencia de ruido total (intermodulación + término) ponderado sofométricamente (pW), en el canal de audiofrecuencia, en el punto de nivel relativo cero;

$W_I(0)$: densidad espectral de potencia normalizada máxima de la señal interferente en la entrada de la antena receptora de la estación terrena;

$$D(\delta f, F) = \frac{1}{2}\left[\int_{-\infty}^{\infty} W_s(u)\, W_I(F-\delta f+u)\, du + \int_{-\infty}^{\infty} W_s(u)\, W_I(F+\delta f-u)\, du\right]$$

en donde:

D: convolución de los espectros de la señal deseada $W_S(F)$ y la señal interferente $W_I(F)$, medida en las mismas unidades que la densidad espectral de potencia, y

δf: diferencia entre las frecuencias portadoras de la señal deseada y la señal interferente.

La fórmula (11) es de carácter general y válida para todos los tipos de señales interferentes, analógicas y digitales.

En el cuadro I se muestran los valores resultantes de $\Delta T/T$ para varios pares de portadoras interferentes que incluyen portadoras de televisión, lo que se examina también más detalladamente en [CCIR, 1978-82a]. En este caso se consideró una portadora de televisión con una excursión máxima de 7,5 MHz, modulada por una señal de prueba multirráfaga y una señal de dispersión con una excursión de cresta a cresta de 1 MHz.

CUADRO I – *Valores de $\Delta T/T$ correspondientes a 600 pW0p de interferencia*

Portadora interferente (número de canales/anchura en MHz)	Portadora deseada (número de canales/anchura en MHz)	$\Delta T/T$ (%)
24/2,5	12/1,25	11,4
972/36	12/1,25	8,5
972/36	972/36	14,4
TV	12/1,25	8,5

En el cuadro Ia se muestran, para los mismos parámetros de las señales deseada e interferente, los resultados obtenidos para $\Delta T/T$ de acuerdo con la ecuación (11) y las gráficas del Informe 388 que aplican el criterio de interferencia de 600 pW0p correspondiente a una sola fuente.

CUADRO Ia – Valores de $\Delta T/T$ *correspondientes a un nivel de ruido en el canal de audiofrecuencia de 600 pW0p*

Señal interferente (número de canales/anchura en MHz)	Señal deseada (número de canales/anchura en MHz)	$\Delta T/T$ (%)
24/2,5	12/1,25	8,98
972/36	12/1,25	8,57
972/36	972/36	16,3
TV	12/1,25	8,57
24/2,5	252/7,5	80,0

Al comparar las cifras de los cuadros I y Ia se observa que los resultados obtenidos por los dos métodos son muy parecidos.

El valor más bajo de 8,5% se consideró el caso más desfavorable, entre los analizados en [CCIR, 1978-82a].

Puede obtenerse ese mismo resultado en general utilizando directamente la ecuación (11). Como se indica en [Borodich, 1983], en el caso más desfavorable, cuando $\delta f = 0$, y cuando el espectro de la señal interferente es aproximadamente uniforme dentro de los límites de la parte significativa del espectro de la señal deseada, $D(0, F) \approx W_I(0)$ y la ecuación (11) pasa a ser:

$$\frac{\Delta T}{T} \approx \frac{P_{NI}}{P_{NT}} \tag{12}$$

Se deduce de la ecuación (12) que en el caso de la interferencia más desfavorable de banda ancha, el aumento aparente de la temperatura de ruido equivalente del enlace de satélite correspondiente al nivel de ruido admisible en el canal de audiofrecuencia tiene el siguiente valor:

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{600}{7\,000} = 0{,}0857 \qquad \text{esto es} \qquad 8{,}57\%$$

Cuando la interferencia a la portadora MDF-MF es producida por una portadora AMDT, entonces la relación $\Delta T/T$ correspondiente a 600 pW0p de interferencia tendrá de nuevo un valor máximo de 8,5% aproximadamente, pues los espectros de las portadoras AMDT suelen ser relativamente planos.

4. Protección de las portadoras AMDT

En el caso de las portadoras AMDT para telefonía con codificación MIC de 8 bits por muestra, la Recomendación 523 señala que el nivel máximo de potencia de interferencia en cualquier sistema telefónico MIC de 8 bits, causado por uno cualquiera de los transmisores de otras redes del servicio fijo por satélite y promediado durante un periodo cualquiera de 10 min, no debe exceder, durante más del 20% de cualquier mes, del 6% de la potencia total del ruido cuya presencia a la entrada del demodulador da lugar a una proporción de bits erróneos de 1×10^{-6}.

Si se supone que el ruido interno del sistema es el 70% del ruido total del sistema, el 30% restante se atribuye a interferencia de sistemas terrenales y por satélite.

En el cuadro II se muestran los resultados de los cálculos pertinentes (véase [CCIR, 1978-82a]).

CUADRO II – *Valores de* $\Delta T/T$ *para portadoras AMDT deseadas*

Portadoras interferentes (número de canales/MHz)	432/17,5	96/7,5	TV/4(1)		AMDT/36		AMDT/2,5	
Portadora AMDT deseada (MHz)	36	2,5	36	2,5	36	2,5	36	2,5
$\Delta T/T$(%)	64	10,8	76	8,6	8,6	8,6	12,3	8,6

(1) Suponiendo una dispersión de energía cresta a cresta de 4 MHz.

Borodich [1984] da una fórmula para calcular el aumento aparente de la temperatura de ruido equivalente del enlace de satélite ($\Delta T/T$) correspondiente al criterio de interferencia de una sola fuente definido en la Recomendación 523:

$$\frac{\Delta T}{T} = 0{,}06\,\frac{W_I(0)\,\Delta f}{0{,}7\,S(\Delta f)} = 0{,}09\,\frac{W_I(0)\,\Delta f}{S(\Delta f)} \qquad (13)$$

donde:

$W_I(0)$: densidad espectral de potencia normalizada máxima de la señal interferente en la entrada de la antena receptora de la estación terrena;

$$S(\Delta f) = \int_{\frac{-\Delta f}{2}}^{\frac{\Delta f}{2}} W_I(F)\,dF$$

Δf: anchura de banda del receptor a la entrada del demodulador.

La ecuación (13) es de carácter general y válida para todos los tipos de señales interferentes, analógicas y digitales. Se deduce de esa ecuación que en el caso de la interferencia más desfavorable de banda ancha, $\Delta T/T = 0{,}09$, esto es, 9,0%.

5. Protección de las portadoras SCPC-MF

En el caso de interferencia de banda ancha, como la procedente de portadoras MDF-MF o AMDT, la $\Delta T/T$ correspondiente a un valor de ruido de 600 pW0p (o el equivalente subjetivo en el caso de portadoras SCPC-MF con compresión-expansión) será 8,5%, según el mismo razonamiento utilizado en el punto 3.

Cuando se trata de interferencia producida por dispersión de energía de barrido lento puede haber una influencia del ruido impulsivo debido a efectos del umbral MF, pero no se han obtenido resultados de mediciones para confirmar o refutar esta hipótesis. El límite de $\Delta T/T$ para este caso debe considerarse, por tanto, desconocido, pero con un límite superior de 8,5%.

Cuando la interferencia es producida por otras portadoras SCPC-MF, suponiendo que se utiliza el accionamiento de la pordadora por la voz, y que el valor r.m.s. de la excursión es 3,4 kHz, la relación $\Delta T/T$ correspondiente a un valor de ruido de interferencia equivalente a 600 pW0p se consideró del 3% aproximadamente en [CCIR, 1978-82a].

6. Protección de las portadoras SCPC-MDP

Cuando la señal interferente puede considerarse como ruido térmico, puede aplicarse el mismo criterio supuesto de la interferencia procedente de una sola fuente y las conclusiones para el caso de la portadora SCPC-MF. Por consiguiente, la relación $\Delta T/T$ requerida tendrá igual valor que en el criterio porcentual de la interferencia de una sola fuente especificada.

Puede ahora analizarse otro tipo de interferencia, cuando la señal interferente es una portadora modulada en frecuencia con dispersión de energía lenta, como es el caso de una portadora TV-MF modulada sólo por la señal de dispersión de energía.

Se han efectuado mediciones de laboratorio (véase [CCIR, 1978-82b]) y los resultados aparecen en el anexo 5.2.9.5.2 del Informe de la Reunión Preparatoria Especial (RPE-78) del CCIR (página 5.221 de la versión española). Según este anexo «N fuentes de interferencia de onda continua idénticas (aunque no correlacionadas), todas ellas con la misma dispersión de energía triangular de barrido lento» tenían sus niveles ajustados para asegurar el cumplimiento del criterio del 10% de la potencia total señalado en la Recomendación 523 (para portadoras de codificación digital MIC de 8 bits). Si se toman los datos disponibles resultantes de tales mediciones, como un ejemplo de criterio de interferencia de una sola fuente, los valores resultantes de la relación $\Delta T/T$ requerida para la protección de tres portadoras SCPC/MDP distintas, con anchuras de banda atribuidas de 22,5, 30 y 45 kHz, contra portadoras interferentes TV-MF de barrido lento con una excursión de cresta a cresta de la señal de dispersión de energía de 1 MHz, girarían en torno al 1%.

Puede efectuarse un cálculo más estricto del aumento aparente de la temperatura de ruido equivalente $\Delta T/T$ debido al efecto de una señal TV-MF modulada por la forma de onda de dispersión de energía, con un nivel correspondiente al criterio especificado de interferencia de una sola fuente, utilizando la fórmula indicada en [Borodich, 1984]:

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{\delta}{0{,}7}\,\frac{P_S}{P_{N\Sigma}}\,\frac{P_I}{P_S} \qquad (14)$$

donde:

$\delta = \frac{\Delta f_{SCPC}}{\Delta f_{c\text{-}c}}$: relación entre la anchura de banda del canal (Δf_{SCPC}) y la desviación cresta a cresta de la señal interferente ($\Delta f_{c\text{-}c}$);

$\frac{P_S}{P_{N\Sigma}}$: relación de potencias «señal/ruido» en la entrada del receptor;

P_I : umbral de interferencia para un valor dado de δ y una relación señal/ruido ($P_S/P_{N\Sigma}$) dada.

En [Borodich, 1982 y Zlotnikova, 1983] se indican métodos para calcular la relación P_I/P_S en función de δ para distintos criterios de interferencia de una sola fuente.

El cuadro III da los resultados del valor de $\Delta T/T$ calculado para distintos valores de δ. Para los fines del cálculo, se supone que el umbral de la señal interferente, conforme a la Recomendación 523, no pasa del 6% de la potencia de ruido total en la entrada del demodulador, lo que daría lugar a una proporción de bits erróneos de 1×10^{-6}.

CUADRO III – *Valor de $\Delta T/T$ para el criterio de interferencia de una sola fuente de la Recomendación 523*

δ	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
P_S/P_I (dB)	17,5	19,1	20	20,7	21,3
$\Delta T/T$ (%)	0,84	1,17	1,43	1,61	1,76

Los resultados muestran que cuando una señal TV-MF modulada por una señal de dispersión de frecuencia, a la frecuencia del cuadro o trama, interfiere con un sistema de transmisión SCPC, el método provisional subestima la interferencia y el cumplimiento del criterio $\Delta T/T \leqslant 6\%$ no garantiza que la probabilidad de bits erróneos permanezca dentro de límites admisibles.

En el caso de las señales interferentes MDF-MF, MDT-MP y otras, es correcto utilizar la ecuación (13).

7. Resumen y conclusiones

En este anexo se ha presentado la relación $\Delta T/T$ que corresponde a los objetivos especificados para el caso de la interferencia procedente de una sola fuente, cuando la interferencia se produce entre cada par de portadoras de banda ancha.

En el caso de la interferencia producida en portadoras MDF-MF, el valor mínimo de la relación $\Delta T/T$ es del 8,5% aproximadamente. Cuando la señal deseada es una portadora AMDT, este valor será del 6% aproximadamente en muchos casos.

En el cuadro IV se resumen los valores $\Delta T/T$ resultantes para la interferencia a portadoras SCPC. Para la interferencia procedente de portadoras MDF-MF, TV-MF y AMDT, que pueden considerarse de densidad espectral de potencia plana dentro de la anchura de banda de la portadora SCPC, el valor de la relación $\Delta T/T$ correspondiente al criterio especificado de una sola fuente de interferencia será igual al valor porcentual de tal criterio.

En resumen, si la señal interferente es una portadora MDF-MF, una portadora TV-MF modulada o una portadora AMDT, el valor del 4% para el umbral de decisión dado en el Informe 454 será apropiado. En el caso de interferencia entre dos portadoras SCPC-MF, la relación $\Delta T/T$ requerida puede ser próxima al criterio del 4%.

Sin embargo, en algunos casos, el criterio del 4% adoptado por la CAMR-79 puede no ser del todo suficiente para la protección de portadoras SCPC-MDP contra portadoras TV-MF.

CUADRO IV – *Resumen de los resultados para la relación $\Delta T/T$ en el caso de la interferencia causada a portadoras SCPC*

De / A	Interferencia con características de ruido térmico (MDF, TV, AMDT)	TV-MF de dispersión lenta	SCPC-MF
SCPC-MF	$\Delta T/T = 8{,}5\%$	No se dispone de mediciones	El valor $\Delta T/T$ será aproximadamente del 3%
SCPC-MDP	$\Delta T/T = 6\%$	El valor $\Delta T/T$ será del 1% aproximadamente	Caso no analizado

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORODICH, S. V. [1982] Raschet pomekh vyzvannykh meshayuschimi signalami v sistemakh peredachi «odin kanal na kashdoy nesuschei» (Cálculo de la interferencia causada por señales indeseadas en sistemas de transmisión SCPC). *Trudy NIIR*, **4**.

BORODICH, S. V. [1983] Uproschennaya metodika rascheta pomekh mezhdu setyami fiksirovannoy sputnikovoy sluzhby pri ikh koordinatsii (Método simplificado de cálculo de la interferencia entre redes del servicio fijo por satélite para fines de coordinación). *Elektrosviaz*, **1**, 14-17.

BORODICH, S. V. [1984] O primenenie metoda predvaritelnoy otsenki vzaimnykh pomekh mezhdu sistemami fiksirovannoy sputnikovoy sluzhby (Aplicación de un método para el cálculo provisional de la interferencia entre sistemas del servicio fijo por satélite). *Elektrosviaz*, **9**, 4-7.

PONTANO, P., FUENZALIDA, J. y CHITRE, N. [junio de 1973] Interference into angle-modulated systems carrying multi-channel telephony signals. *IEEE Trans. Comm. Systems*, Vol. COM-21, **6**, 714-727.

ZLOTNIKOVA, E. A. [1983] Opredelenie zaschitnykh otnoshenii na vkhode priemnikov FM signalov pri vozdeistvii radioimpulsnykh pomekh (Determinación de las relaciones de protección en la entrada del receptor de señales MF sujetas a interferencia radioeléctrica por impulsos). *Trudy NIIR*, **1**.

Documentos del CCIR

[1978-82]: **a.** 4/128 (Brasil); **b.** 4/156 (INTELSAT).

BIBLIOGRAFÍA

INTELSAT [1978] Interference between slowly swept television and SCPC carriers. Doc. P/293, Reunión Preparatoria Especial de la CAMR-79, Ginebra.

INFORME 555-3

DISCRIMINACIÓN MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE POLARIZACIONES ORTOGONALES CIRCULARES O LINEALES

(Programas de Estudios 1B/4 y 1C/4)

(1974-1978-1982-1986)

1. Introducción

El empleo de la polarización ortogonal puede ser un medio eficaz de aumentar la capacidad de la órbita de los satélites geoestacionarios.

Las aplicaciones posibles de la polarización ortogonal son:

- reutilización de frecuencias dentro de los haces principales de las antenas de los satélites y de las estaciones terrenas;
- empleo por satélites adyacentes, a fin de reducir la separación entre satélites;
- empleo en haces de cobertura restringida – vecinos o superpuestos – de los satélites para reducir las interferencias;
- reducción de la interferencia producida por los enlaces de mayor potencia en los de menor potencia, a través del mismo satélite.

Deben tomarse en consideración distintos factores, tales como la discriminación por polarización cruzada que puede obtenerse en diferentes sectores de los haces de las antenas y para las diferentes frecuencias de la banda de funcionamiento, las características de los polarizadores, los efectos de despolarización que se producen en la atmósfera y en la ionosfera, la estabilidad en la orientación de los satélites y la implantación del seguimiento y corrección de la polarización.

2. Factores que influyen en la discriminación por polarización

2.1 *Sistemas de antenas de estaciones terrenas*

2.1.1 *Antenas de las estaciones terrenas*

Cuando se reutilizan frecuencias en un mismo satélite, el centro del haz principal es la región más importante.

En la dirección de puntería, la discriminación por polarización depende principalmente de los componentes del alimentador (transductores ortomodos, polarizadores, etc.). En el interior del haz principal, pero fuera del eje de puntería, la discriminación depende primordialmente del radiador primario (por ejemplo, alimentador de bocina) aunque puede también resultar afectada por la utilización de reflectores descentrados o de fuente periscópica. En el anexo I al presente Informe se consideran la calidad de dos diferentes tipos de antenas, así como los resultados de las mediciones efectuadas sobre un cierto número de antenas.

2.1.2 *Polarizadores de las estaciones terrenas*

En los sistemas polarizados circularmente, se emplean polarizadores para la conversión entre polarización lineal y polarización circular. En los sistemas polarizados linealmente, pueden utilizarse polarizadores rotables para alinear la polarización de la estación terrena con la de la onda recibida. En ambos casos pueden utilizarse polarizadores ajustables para compensar los efectos de despolarización.

Si se utiliza un polarizador común para transmisión y recepción, debe cubrir tanto las frecuencias del enlace ascendente como las del descendente, por lo que se requiere que tenga gran anchura de banda. Además este polarizador deberá tolerar la transmisión de elevados niveles de potencia de radiofrecuencia y cumplir al mismo tiempo el requisito de una baja temperatura de ruido. En la fig. 1a se muestra, en función de la frecuencia, la discriminación por polarización de un polarizador de estación terrena especialmente diseñado para la reutilización de frecuencias y el funcionamiento en las bandas de 6 y 4 GHz. Su contribución a la temperatura de ruido es del orden de 2 K en 4 GHz.

Otro método consiste en proyectar sistemas de alimentadores en los cuales las bandas de frecuencias de transmisión y de recepción estén separadas de forma que permitan utilizar polarizadores de banda estrecha e interfaces ortomodales, lo que permite obtener una mejor discriminación por polarización.

En la fig. 1b pueden verse los resultados de la medición de la relación axial de polarización de dos polarizadores de banda estrecha destinados a una antena de estación terrena que emplea polarización circular.

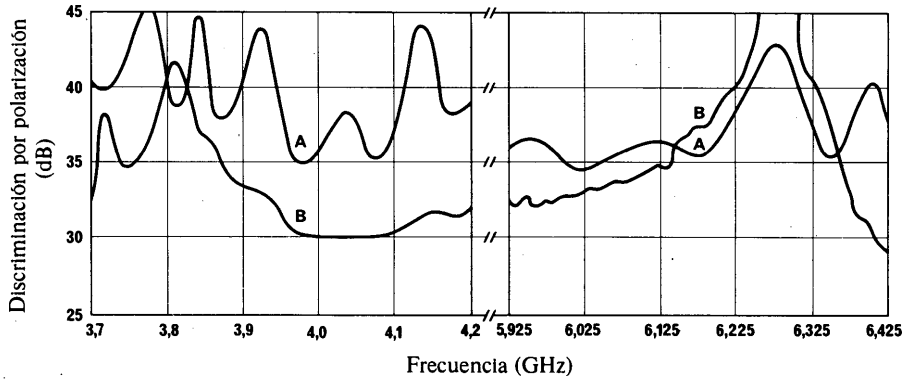


FIGURA 1a – *Características de los polarizadores para una estación terrena*

A: Polarización circular
B: Polarización lineal

2.1.3 *Comportamiento de las estaciones terrenas*

En este punto se considera el comportamiento global de un sistema de antena compuesto por la antena y el polarizador.

Las antenas típicas de estaciones terrenas, proporcionan, dentro del haz principal y hasta la zona de -1 dB, valores de discriminación superiores a 30 dB para la polarización circular y a 35 dB para la polarización lineal.

Generalmente, sólo puede asegurarse una discriminación por polarización cruzada reducida en las zonas muy alejadas del haz principal [Haidle y Fitzgerrell, 1977].

2.1.4 *Medición de la discriminación por polarización de las antenas de estaciones terrenas*

Son considerables las dificultades prácticas para medir las relaciones de discriminación de los componentes individuales del sistema, siendo necesarios estudios analíticos complementarios y pruebas experimentales antes de poder recomendar un método normalizado que permita medir las características de discriminación por polarización de las antenas de estaciones terrenas.

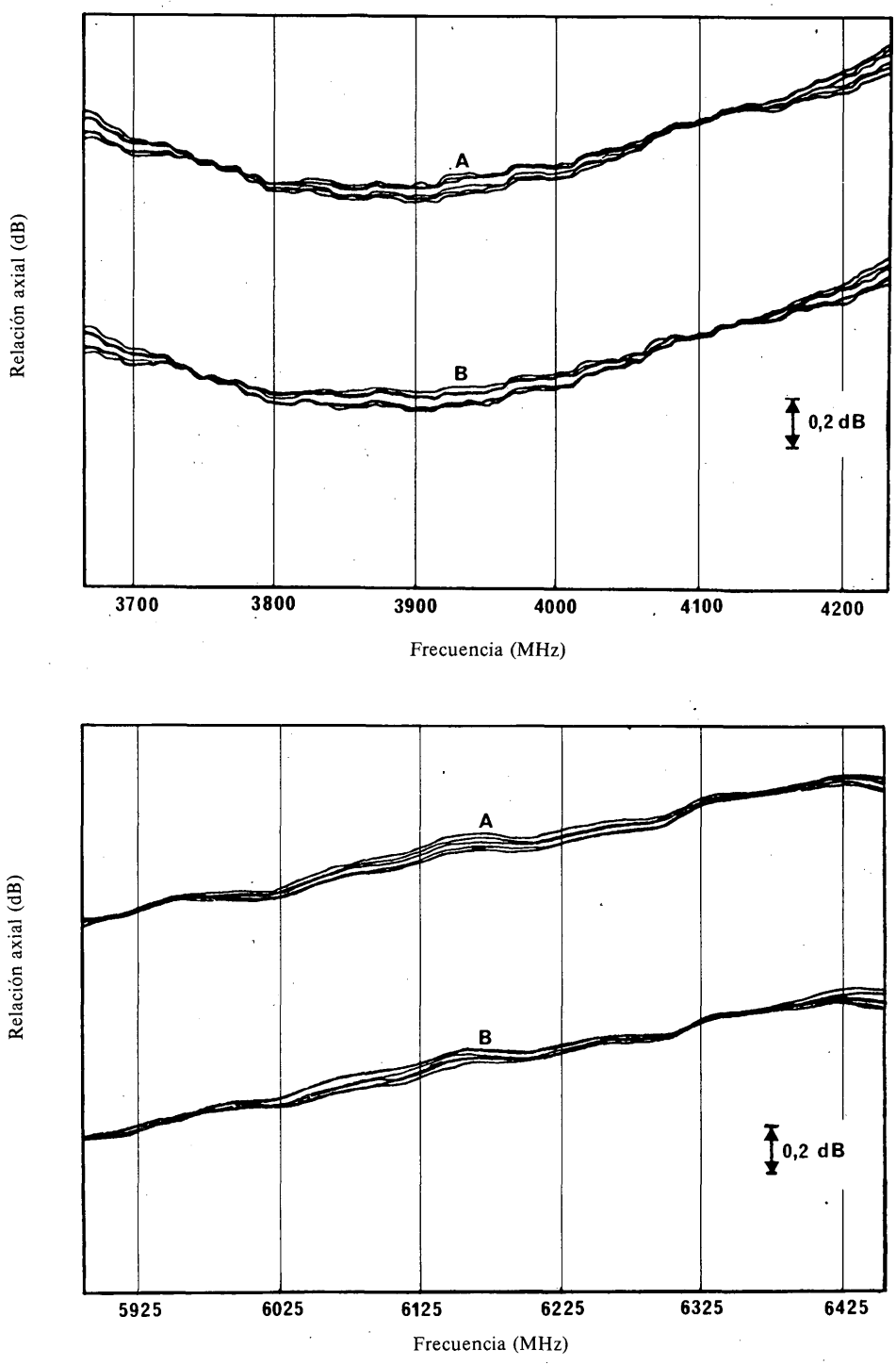


FIGURA 1b – *Características del polarizador empleado en la banda de 4 y 6 GHz*

A: Polarización circular levógira
B: Polarización circular dextrógira

Los métodos precisos de medición pueden dividirse en dos: el método que utiliza señales emitidas por un satélite y el método que utiliza un dispositivo de puntería.

El método que utiliza señales emitidas por un satélite comprende además, el de aislamiento directo y el de antena de referencia. El método de aislamiento directo mide la discriminación por polarización de una antena de estación terrena directamente, mediante el cálculo de la relación de la potencia recibida en la puerta de acceso contrapolar y la recibida en la puerta de acceso copolar. El método de la antena de referencia se sirve de una antena de referencia de polarización a fin de eliminar, en los resultados obtenidos en la antena objeto de medición, la despolarización de la fuente.

En el anexo II se examinan los criterios para la adopción del método de aislamiento directo o el método de la antena de referencia. También se formulan en el mismo anexo ciertas consideraciones con respecto a este último método.

El empleo de métodos que utilizan un dispositivo de puntería proporciona gran receptibilidad de las mediciones y permite utilizar diversas técnicas, tales como la de barrido de frecuencias.

Con la polarización casi circular (es decir, relación axial (RA) $\leq$ 3 dB), el valor de la relación axial de tensión, en dB, puede convertirse en discriminación por polarización (XPD) mediante la expresión:

$$XPD \text{ (en dB)} = 24{,}8 - 20 \log RA \text{ (en dB)}, \text{ y viceversa}$$

$$RA \text{ (en dB)} = 17{,}37 \left[10^{\frac{-XPD \text{ (en dB)}}{20}} \right]$$

2.2 *Sistemas de antenas de satélites*

2.2.1 *Antenas de satélites*

Para las antenas de satélites, la región de interés coincide con la cobertura del haz, extendiéndose al menos hasta el contorno de -3 dB. Las medidas típicas recogidas en el anexo I indican que, en esta región, las antenas de bocina de satélites, con diagramas cuyo haz tenga una simetría de revolución casi perfecta alrededor del eje focal, proporcionarán una discriminación de 40 dB tanto para la polarización circular como lineal. Las antenas de satélite con bloqueo de abertura pueden permitir una discriminación de 35 dB con polarización lineal y de 30 dB con polarización circular en la misma región. Puede resolverse el problema del bloqueo de apertura mediante el empleo de reflectores descentrados. Una antena reflectora parabólica de polarización lineal doble con haz elíptico (relación de los ejes, 2 : 1) puede dar una discriminación comprendida entre 30 y 35 dB, en la región de -3 dB. Para conseguir valores elevados de discriminación por polarización lineal, tal vez haya que utilizar diseños especiales, empleando rejillas.

2.2.2 *Polarizadores de satélites*

En los satélites, los polarizadores necesarios para generar una polarización circular deben tratar separadamente las bandas de transmisión y recepción y pueden diseñarse de forma que ofrezcan una excelente discriminación por polarización. Por ejemplo, se han construido polarizadores con una discriminación por polarización de 40 dB en los 500 MHz de anchura de banda de las bandas de 4 GHz y 6 GHz.

2.3 *Trayecto de propagación*

2.3.1 *Rotación de Faraday*

La rotación de Faraday es importante en el caso de polarización lineal, pero sus efectos son despreciables en el caso de polarización circular.

El cambio de ángulo del vector campo eléctrico, como consecuencia de la rotación de Faraday, depende de la dirección de propagación en relación con el campo magnético de la Tierra, las condiciones de la parte de la ionosfera atravesada por la onda y la intensidad del campo magnético de la Tierra. La cuantía de la rotación es también inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia. Las condiciones ionosféricas dependen de muchos factores, comprendidos la estación del año, la hora del día y la actividad solar. La rotación de Faraday puede alcanzar a veces un valor de cresta de hasta 9° en 4 GHz, 4° en 6 GHz y 1° en 12 GHz. Sin embargo, este valor de cresta depende de la ubicación geográfica de la estación terrena y del satélite, pudiendo ser despreciable muchas veces para frecuencias superiores a 10 GHz. Si la rotación de Faraday es importante en la frecuencia de trabajo, debe asegurarse en la estación terrena la rotación diferencial de los planos de polarización, puesto que los sentidos de la rotación para transmisión y recepción son opuestos entre sí, vistos desde la dirección de propagación.

2.3.2 *Precipitaciones*

La lluvia y la nieve son factores importantes que pueden degradar el aislamiento por polarización. Las precipitaciones pueden causar diferencias de atenuación y de desplazamiento de fase entre componentes lineales ortogonales de la señal, degradando así la discriminación entre señales polarizadas lineal o circularmente. El efecto de la lluvia en la polarización lineal depende de los ángulos de orientación de las gotas de lluvia respecto del plano de polarización, siendo idéntico al de la polarización circular con un ángulo de 45°, e inferior con otros ángulos. El principal efecto de despolarización se debe a la diferencia de desplazamiento de fase, pero por encima de 10 GHz la diferencia de atenuación es también importante. Es posible corregir la despolarización provocada por la lluvia en la antena de una estación terrena; sin embargo, la corrección de los efectos de atenuación puede reducir el factor G/T debido al aumento de las pérdidas en los guiaondas y alimentadores.

Los trabajos teóricos y experimentales han mostrado que existe una alta correlación estadística entre la atenuación copolar y la discriminación entre señales polarizadas ortogonalmente, durante la precipitación. Se ha encontrado una relación empírica que se ajusta razonablemente a los datos obtenidos en las mediciones, pudiendo utilizarse para predecir la discriminación entre polarizaciones cruzadas en una ubicación, a partir de las estadísticas de la atenuación copolar, para las frecuencias comprendidas entre 8 y 40 GHz. Sin embargo, aunque en algunos casos se asocia la despolarización con la atenuación causada por las precipitaciones, en otros no se ha relacionado con una atenuación importante, habiéndose atribuido a la presencia de nubes de hielo a lo largo del trayecto.

El Informe 722 (Volumen V) contiene un resumen más completo sobre estudios teóricos y mediciones.

3. Polarización cruzada en los sistemas de satélites

3.1 *Posición y actitud de los satélites*

La dirección del plano de polarización de las antenas de un satélite observada desde la estación terrena varía en función de la posición del satélite con relación a la ubicación de la estación terrena y la actitud del satélite. Estas variaciones en la dirección del plano de polarización pueden reducirse a un mínimo utilizando las técnicas habituales de control de la actitud y de mantenimiento en posición del satélite.

3.2 *Seguimiento de polarización*

En las estaciones terrenas explotadas con polarización lineal, puede ser necesario el seguimiento o el ajuste periódico del ángulo de polarización para compensar los efectos de la rotación de Faraday y de los factores geométricos expuestos en el punto 3.1. También puede ser necesario reajustar el ángulo de polarización al pasar a otro satélite o a otro haz de un mismo satélite. Un desajuste del plano de polarización de 1° y 6° da como resultado valores de discriminación por polarización de 35 y 20 dB, respectivamente. El seguimiento de polarización puede lograrse haciendo rotar todo el dispositivo de alimentación o únicamente algunos componentes, como por ejemplo un transductor ortomodal o un polarizador adecuado.

3.3 *Corrección de la polarización*

La despolarización debida al trayecto de propagación se produce principalmente por el desplazamiento de fase y la atenuación diferenciales causados por las precipitaciones, según se indica anteriormente.

En los sistemas de telecomunicaciones por satélite, el efecto de despolarización puede producirse tanto en el enlace ascendente como en el descendente, según las condiciones climatológicas. Si la degradación de la calidad de funcionamiento de un sistema de satélite con doble polarización a causa de este efecto resulta intolerable, puede ser preciso corregir la polarización en el enlace ascendente, en el descendente o en ambos.

3.3.1 *Circuitos de corrección de la polarización*

La corrección de la polarización puede hacerse corrigiendo los efectos del desplazamiento de fase y de la atenuación diferenciales en la estación terrena transmisora, en la receptora o en ambas. Los circuitos de corrección de la polarización pueden ser de los tipos siguientes:

a) Los circuitos destinados a corregir las componentes de desplazamiento de fase y atenuación diferenciales se incluyen separadamente en las porciones del guiaondas de las cadenas transmisora y receptora de la antena de estación terrena.

b) Los circuitos destinados a corregir el desplazamiento de fase diferencial se instalan en las porciones del guiaondas de las cadenas transmisora y receptora de la antena de estación terrena. Los circuitos destinados a corregir la atenuación diferencial se instalan después de un amplificador de bajo nivel de ruido y antes de un transmisor de gran potencia.

c) Los circuitos destinados a corregir el desplazamiento de fase y la atenuación diferenciales se realizan en forma de acoplamiento recíproco entre los dos accesos ortogonales después de los amplificadores de bajo nivel de ruido y antes de los transmisores de gran potencia.

En la práctica pueden emplearse configuraciones con tipos diferentes en los enlaces ascendente y descendente.

3.3.2 *Circuitos de corrección del desplazamiento de fase diferencial*

La función del desfasador diferencial en las configuraciones a) y b) debe permitir un desplazamiento de fase variable entre 0° y 180°, en cualquier dirección de la elipse de polarización. Por lo general, ese desfasador diferencial variable puede estar formado por dos polarizadores rotativos conectados en tándem, y puede incluir varias combinaciones de unidades de 90° y 180°.

3.3.3 *Circuitos de corrección de la atenuación diferencial*

Se emplea el circuito de corrección de la atenuación diferencial a fin de anular la componente de despolarización residual que permanece sin compensar después de la corrección de la componente de desplazamiento de fase diferencial. La función del circuito de corrección debe permitir producir la atenuación variable en cualquier dirección de la elipse de polarización. En los casos prácticos pueden utilizarse circuitos del tipo de acoplamiento recíproco compuestos de divisores, combinadores atenuadores variables y desfasadores variables.

3.3.4 *Métodos de control para los circuitos de corrección*

Para el control de los circuitos de corrección del enlace ascendente, pueden considerarse dos métodos: uno de ellos se conoce con el nombre de «método de predicción», y el otro como «método de señal piloto». En el primero, las señales de control para los circuitos de corrección del enlace ascendente se obtienen por predicción del desplazamiento de fase y atenuación diferenciales efectuada sobre la base de la información relativa al enlace descendente. La calidad de funcionamiento de los circuitos de corrección, dependerá de la exactitud de la predicción. Así pues, antes de aplicar el método a un caso práctico, se necesitarán suficientes datos demostrativos de la correlación entre la degradación de la polarización en el enlace ascendente y en el descendente. Si se emplea el segundo método, los circuitos de corrección para el enlace ascendente pueden controlarse mediante una señal de error derivada de la detección de la diferencia de fase y la relación de amplitud entre una componente contrapolar y una componente copolar en el enlace ascendente utilizando señales piloto emitidas por la estación terrena y retransmitidas por el satélite. Con este método puede lograrse una corrección de gran fiabilidad, comparada con la del método de predicción, ya que puede obtenerse información más precisa sobre las señales de error y la estación terrena transmisora puede vigilar los estados de polarización de las portadoras radiadas. En términos generales, por tanto, se aconseja emplear el método de la señal piloto.

3.3.5 *Resultados experimentales*

Se efectuaron mediciones con el satélite Intelsat IV-A (F-3) empleando dos combinaciones diferentes de polarizadores rotativos para corregir el desplazamiento de fase diferencial y se obtuvieron los resultados indicados en la fig. 2. De estos resultados se infiere que la complejidad adicional que introduce la corrección de la atenuación diferencial sólo daría lugar a una mejora marginal.

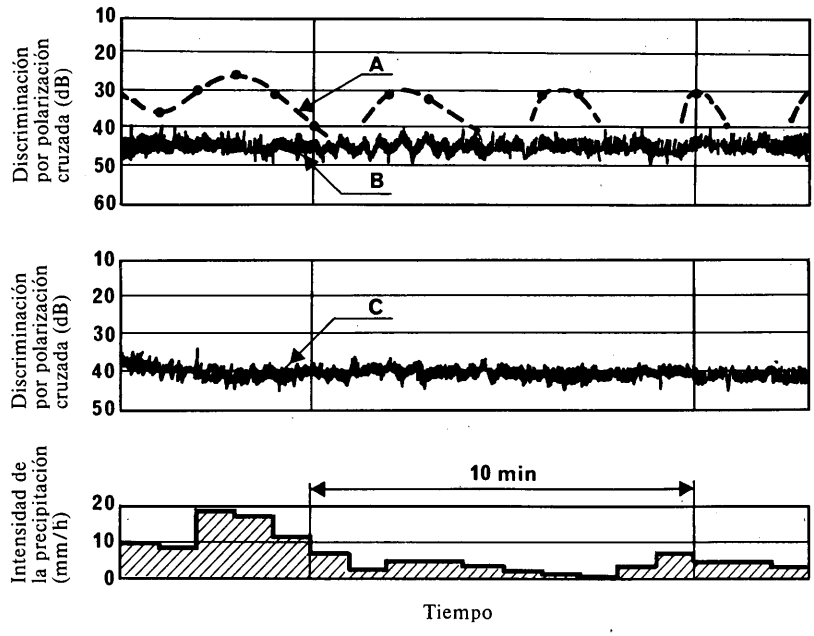
3.4 *Comparación entre las polarizaciones lineal y circular*

Resulta útil resumir las consideraciones en que puede basarse la elección entre las polarizaciones lineal y circular en los sistemas de satélites:

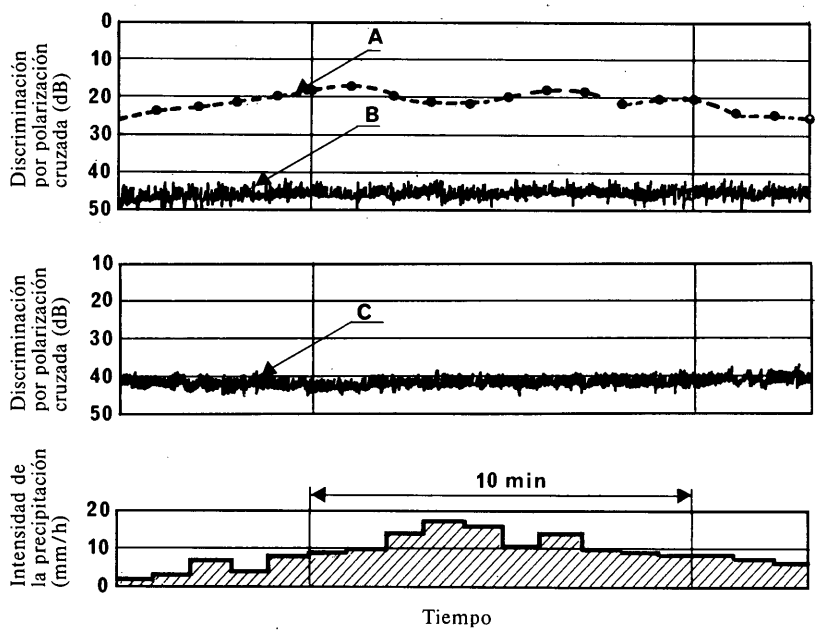
- La polarización lineal requiere mantener una alineación adecuada entre las direcciones de polarización de las antenas del satélite y de la estación terrena.
- En el caso de la polarización lineal, para frecuencias inferiores a 10 GHz, la rotación de Faraday puede exigir el seguimiento de polarización en la estación terrena.
- El ángulo de polarización de una antena polarizada linealmente, puede variar a lo largo de su anchura de banda de diseño.
- La calidad de funcionamiento de los polarizadores que son necesarios en los sistemas con polarización circular y pueden utilizarse también en los sistemas polarizados linealmente, puede variar con la frecuencia.
- Los sistemas con polarización lineal correctamente alineados, se comportan mejor en presencia de la lluvia que los sistemas con polarización circular.

4. Conclusiones

En lo que respecta a la discriminación por polarización y a la utilización eficaz del espectro radioeléctrico y de la órbita de los satélites geoestacionarios, deben tomarse en consideración varios factores. Por ejemplo, si la reutilización de frecuencias se aplicara a sistemas de un solo satélite o a sistemas de satélites adyacentes, así como las cuestiones relativas a los diagramas de radiación de polarización cruzada para ángulos amplios y en el centro del haz y otras concernientes a la explotación del sistema, como el seguimiento y corrección de la polarización. Hay, también, que proseguir el estudio de técnicas para reducir la componente de polarización cruzada, lo mismo en el caso de la polarización circular que en el de la polarización lineal, por ejemplo, una técnica de adaptación mediante el uso de señales piloto.



a) Pol 90° + pol 180°



b) Pol 90° + pol 90°

FIGURA 2 – *Ejemplo típico de datos medidos durante periodos de lluvia*

A: Discriminación no corregida f_1 = 3940 MHz
B: Discriminación corregida f_1 = 3940 MHz
C: Discriminación corregida f_2 = 3780 MHz

Se invita a las administraciones a que presenten nueva información sobre la discriminación por polarización cruzada medida en el haz principal de los sistemas de antena de satélite y de estación terrena, así como en los lóbulos laterales alejados de los sistemas de antena de las estaciones terrenas. Los datos relativos a las crestas de los lóbulos laterales en polarización cruzada deben presentarse, preferiblemente, como una distribución estadística, como se hace en el Informe 391. También se solicitan descripciones de sistemas autoadaptables para la corrección de la polarización, y resultados medidos sobre la discriminación por polarización lograda, en trayectos por satélite, con estos sistemas y sin ellos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HAIDLE, L. L. y FITZGERRELL, R. G. [mayo de 1977] Hemispherical power gain pattern measurements at 7.5 GHz. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-25, **3**, 373-376.

ANEXO I

DIAGRAMAS DE RADIACIÓN DE POLARIZACIÓN CRUZADA DE LAS ANTENAS

1. Consideraciones teóricas

El diagrama de radiación de polarización cruzada de una antena de reflector depende tanto de la bocina de alimentación como de la configuración del reflector.

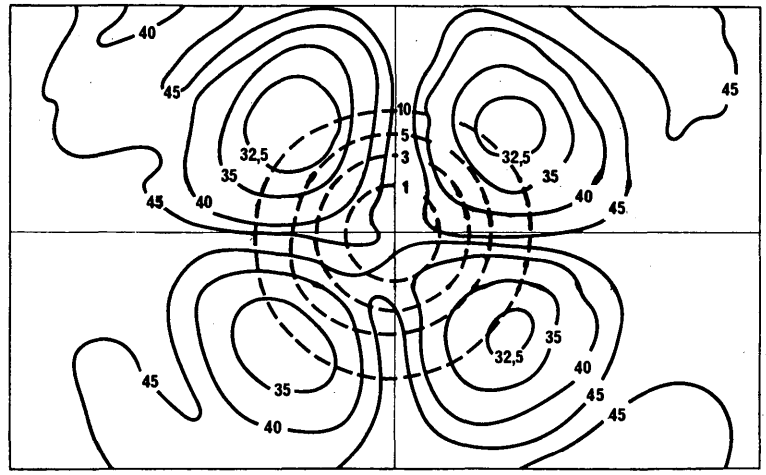
El diagrama de radiación de polarización cruzada de la bocina cónica de la fig. 3a) muestra una estructura de cuatro lóbulos característica de las configuraciones de bocinas rectas y reflectores simétricos, con un nulo (discriminación por polarización elevada) en el eje. Las crestas del diagrama de polarización cruzada aparecen alrededor del contorno de -10 dB del lóbulo principal copolarizado, bastante más allá, tanto de la gama de seguimiento normal de una antena de estación terrena como de la zona de cobertura de una antena de satélite. La discriminación por polarización cruzada dentro del haz principal de una bocina de pared lisa y modo único, es demasiado baja para poder utilizar tal bocina en un sistema de polarización doble. Puede mejorarse la calidad de funcionamiento, bien sea generando deliberadamente modos de orden más elevado en las discontinuidades de la bocina de pared lisa, u ondulando las paredes de la bocina para que puedan soportar modos híbridos que contengan menos energía de polarización cruzada.

El comportamiento de los alimentadores de bocina es el factor dominante sobre la calidad de la polarización de una antena con reflector simétrico. La curvatura del reflector o reflectores contribuye en forma muy reducida a los lóbulos de la señal con polarización cruzada (del orden de 50 dB por debajo de la cresta copolarizada). Los efectos de los soportes de los alimentadores o subreflectores pueden aumentar la radiación de polarización cruzada en algunas partes del haz, pero resulta difícil predecir esos efectos.

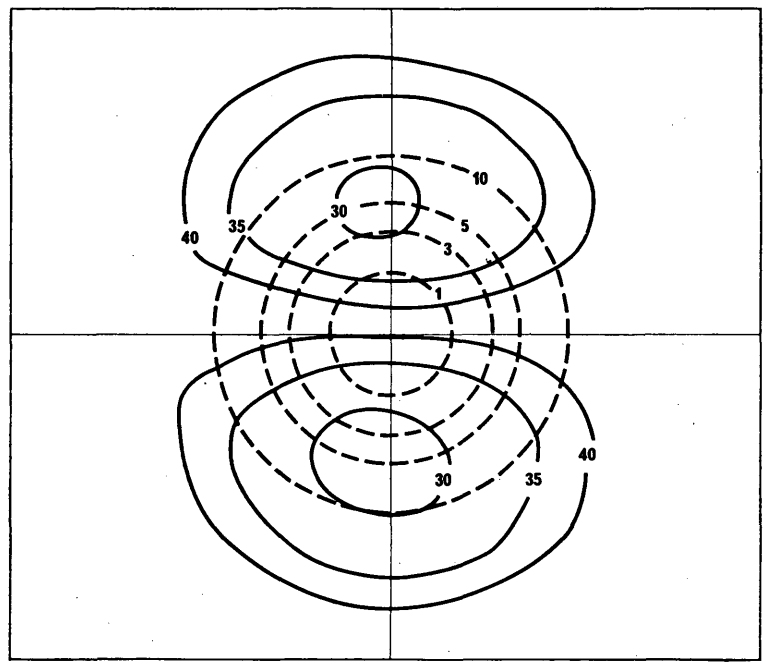
La fig. 3b) muestra que el diagrama de radiación de polarización cruzada de un reflector-bocina es fundamentalmente distinto del de una bocina simétrica. Los reflectores curvos descentrados, tal como se incorporan en los reflectores-bocina, determinan característicamente que surjan dos crestas de polarización cruzada en cada lado del plano de simetría del reflector con niveles máximos más bien próximos a la cresta copolarizada [Gans y Semplak, 1975]. Esta deficiencia inherente de los reflectores descentrados puede eliminarse considerablemente en la práctica generando un modo asimétrico apropiado más elevado en la bocina de alimentación [Rudge y Adatia, 1975] o introduciendo un subreflector curvo descentrado idóneo. Las figs. 4a) y 4b) muestran resultados de mediciones de polarización cruzada para antenas desarrolladas recientemente, de reflector doble, alimentación descentrada y haces que son casi simétricos con relación al eje [Mizugutch y otros, 1976]. Se produce casi la cancelación perfecta de la polarización cruzada debido a los reflectores asimétricos, de forma que sólo se observa la polarización cruzada residual del alimentador.

Los reflectores curvos descentrados incorporados en un alimentador de haz de guiaonda (fuente periscópica) dan lugar a lóbulos de polarización cruzada similares, pero dos reflectores de este tipo se pueden disponer de modo que sus efectos se cancelen mutuamente en gran medida y que los lóbulos de polarización cruzada resultantes, incidentes en el subreflector Cassegrain, estén, al menos, de 30 a 35 dB por debajo de la cresta de la señal copolarizada [Gans, 1976].

Un reflector toroidal o un reflector esférico con un tipo de alimentador descentrado puede utilizarse para una antena de haz orientable capaz de explorar su haz radiado sin mover el reflector principal. Estas antenas de reflector, sin embargo, no sólo tienen una distribución de la apertura asimétrica debido a la configuración excéntrica sino también aberración esférica, es decir, error de fase. Tanto la reducción de la ganancia causada por la aberración como el deterioro de la característica de polarización cruzada causado por la asimetría pueden eliminarse en gran parte gracias al empleo de varios subreflectores de formas especiales [Watanabe y Mizugutch, 1983]. En la fig. 5a puede verse un ejemplo de medición de la polarización cruzada de una reciente antena de reflector esférico con alimentador descentrado con los subreflectores mencionados y en la fig. 5b se muestran sus propiedades de exploración. Se advierte que las características de polarización cruzada para grandes ángulos de exploración son excelentes.



a) Bocina cónica de haz casi simétrico con respecto al eje
(Factor de simetría del haz ≈ 1,05)



b) Reflector-bocina cónica de haz casi simétrico con respecto al eje*
(Factor de simetría del haz ≈ 1,05)

FIGURA 3 – *Valores medidos de polarización cruzada (polarización lineal)*

Notas. — La línea de trazo continuo representa el contorno de nivel de la señal de polarización cruzada referido a la cresta del haz principal para la polarización principal.

— La línea de trazos representa el contorno de nivel de polarización principal o normal del haz principal.

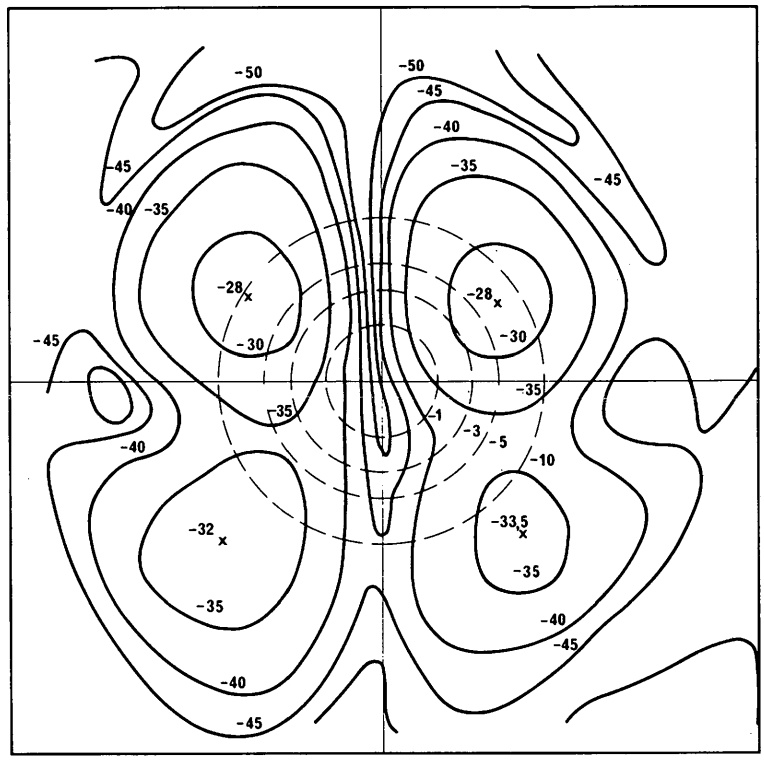
— Las cifras de los diagramas indican los niveles relativos en dB con relación al nivel de cresta del haz principal en polarización principal.

— El punto central de cruce de los diagramas indica la cresta del haz principal en polarización principal.

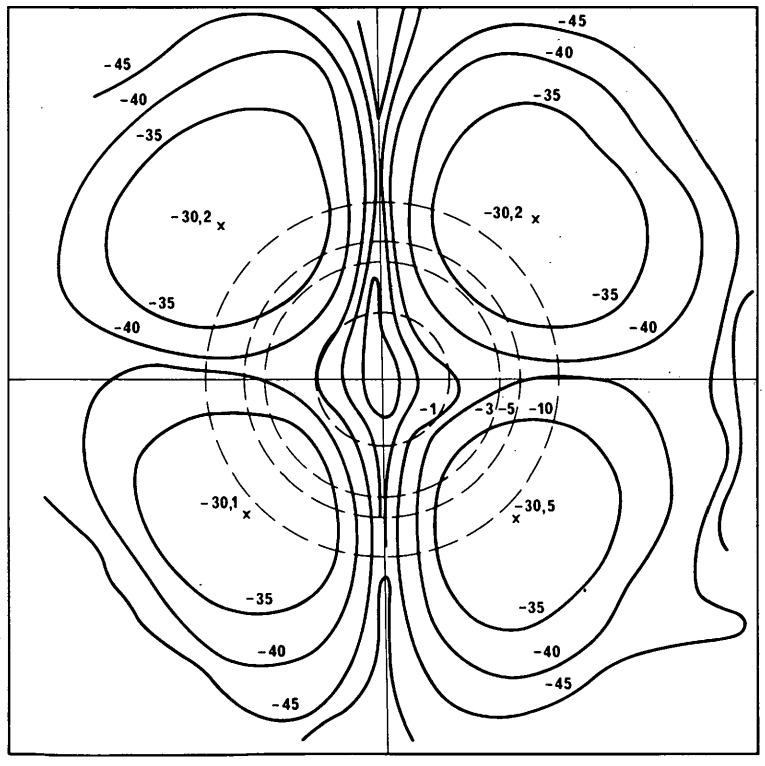
— El plano del vector campo eléctrico para la polarización principal (en polarización lineal) está orientado en la dirección vertical en los diagramas.

— El eje de la bocina de la antena reflector-bocina está orientado en la dirección de izquierda a derecha en el diagrama, con su vértice en el lado izquierdo.

* El plano de polarización es perpendicular al eje de la bocina.



a) Antena Gregory excéntrica con alimentador de bocina cónica cargado con dieléctrico



b) Antena Cassegrain excéntrica con alimentador de bocina cónica ondulada

FIGURA 4 – *Valores medidos de polarización cruzada de las antenas de dos reflectores con alimentación excéntrica (Polarización principal: horizontal)*

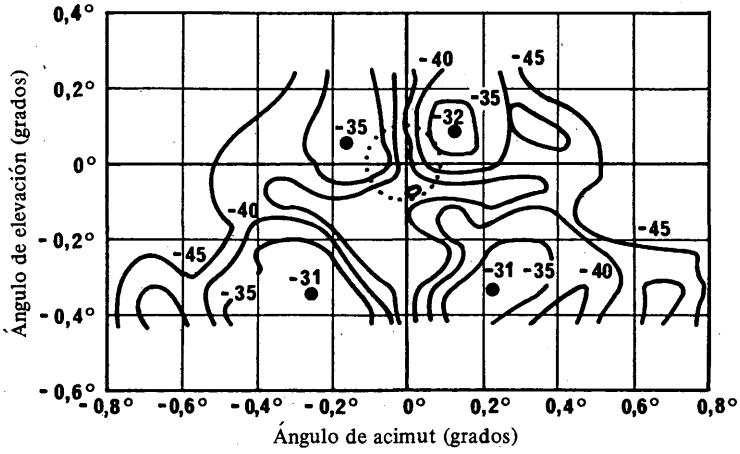


FIGURA 5a – *Nivel de polarización cruzada medido en una antena de reflector esférico con alimentador descentrado (Polarización principal: polarización vertical)*

– – – Copolarización vertical (–3 dB)

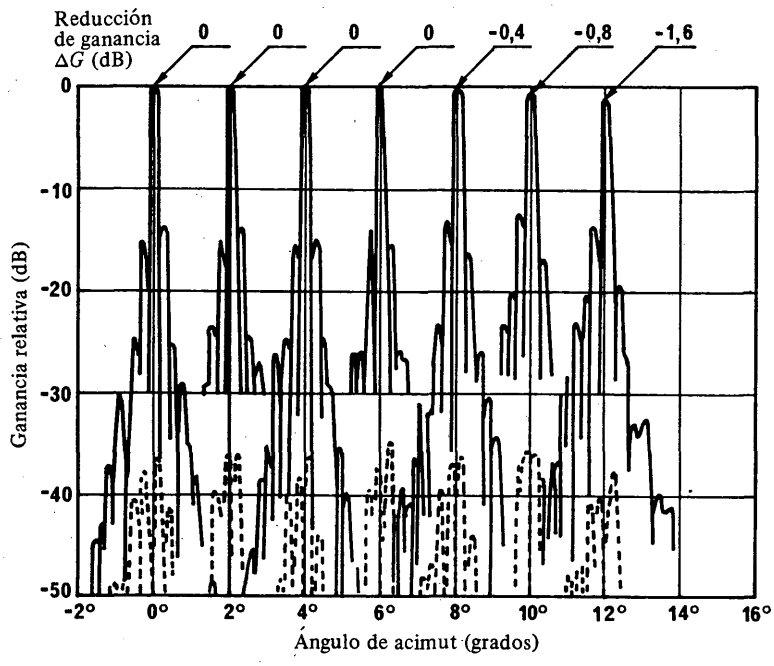


FIGURA 5b – *Diagramas de radiación medidos de una antena de reflector esférico con alimentador descentrado en función del ángulo de exploración*

G_0 = 60,1 dB

f = 52 GHz

——— Polarización vertical

- - - - - - Polarización cruzada

En cuanto precede, se ha supuesto que la polarización era lineal. En el caso de polarización circular, el comportamiento de bocinas y reflectores, tanto simétricos como descentrados, es fundamentalmente distinto. En el caso de las bocinas y de los reflectores simétricos, los cuatro lóbulos con polarización cruzada del caso de la polarización lineal se convierten en un lóbulo circularmente simétrico único de la misma magnitud y a la misma distancia de la cresta copolarizada. En el caso de los reflectores-bocina y de los reflectores curvos descentrados, sólo hay un nivel muy bajo de polarización cruzada (menos de 50 dB por debajo de la cresta copolarizada), pero hay un desplazamiento lateral de la cresta copolarizada equivalente a una fracción de la abertura angular del haz, dependiendo el sentido de ese desplazamiento del sentido de la polarización circular.

En general, las antenas de las estaciones terrenas están expuestas a las inclemencias del tiempo y, con frecuencia, sus superficies se cubrirán de películas de agua. Los cálculos teóricos han mostrado que los efectos de estas delgadas películas de agua sobre los reflectores de las antenas de las estaciones terrenas reales no degradarán el aislamiento en el caso de polarización lineal, en direcciones próximas al eje de la antena por debajo de unos 35 dB, en frecuencias inferiores a 30 GHz [Popović, 1975 y 1976].

2. Antenas de estaciones terrenas

En mediciones efectuadas con antenas de estaciones terrenas del tipo Cassegrain de 1,2 y 3,0 m de diámetro, con alimentadores del tipo de bocina ondulada y diseñadas para funcionar con polarización lineal en las bandas de 11 y 14 GHz, se obtuvieron los siguientes resultados en la frecuencia de 11,6 GHz:

CUADRO I

Discriminación por polarización de dos antenas (dB)		
Diámetro de la antena	Región del haz principal	
	-1 dB	-3 dB
1,2 m	50	42,5
3,0 m	42,5	40,0

La característica de discriminación por polarización es algo mejor a 11,6 GHz que a 14,25 GHz.

Mediciones efectuadas en 11,6 GHz con una antena de tipo Cassegrain provista de un reflector principal parabólico de 10 m y un subreflector hiperbólico de 1,1 m (soportado por tirantes situados en planos formando un ángulo de 45°), no revelaron diferencias significativas en los diagramas de copolarización, cuando el eje del vector de polarización se inclinó 45° con respecto a la vertical, es decir, se dispuso paralelo a un par de tirantes. Sin embargo, las diferencias en los diagramas de polarización cruzada mostrados en la fig. 6 son evidentes, y se observa también que la discriminación por polarización cruzada mejora cuando el vector de polarización es paralelo a los tirantes. Con polarización vertical, se miden valores más bajos de discriminación por polarización en los planos paralelos a los tirantes. Este efecto se debe a la influencia diferente que ejercen los tirantes en la polarización de la onda que incide paralela o perpendicularmente a ellos.

Se efectuó una serie de mediciones mediante una antena de estación terrena Cassegrain de 32 m de diámetro con una configuración de cuatro reflectores alimentados por guiaondas. En la fig. 7 pueden verse las relaciones axiales de polarización, incluida la calidad global de polarización de la antena, medida por el método de fase-amplitud utilizando el satélite Intelsat-IV-A (F-3) y el dispositivo de puntería. En los gráficos de la figura están también representados los datos de las pruebas en fábrica del dispositivo de alimentación. En la fig. 8 pueden verse los contornos de polarización cruzada de la misma antena a 3925 MHz, medida utilizando un dispositivo de puntería. Las flechas indican el estado de polarización: su longitud es proporcional a la relación axial de polarización (dB) y su dirección indica la orientación del eje mayor de la elipse de polarización.

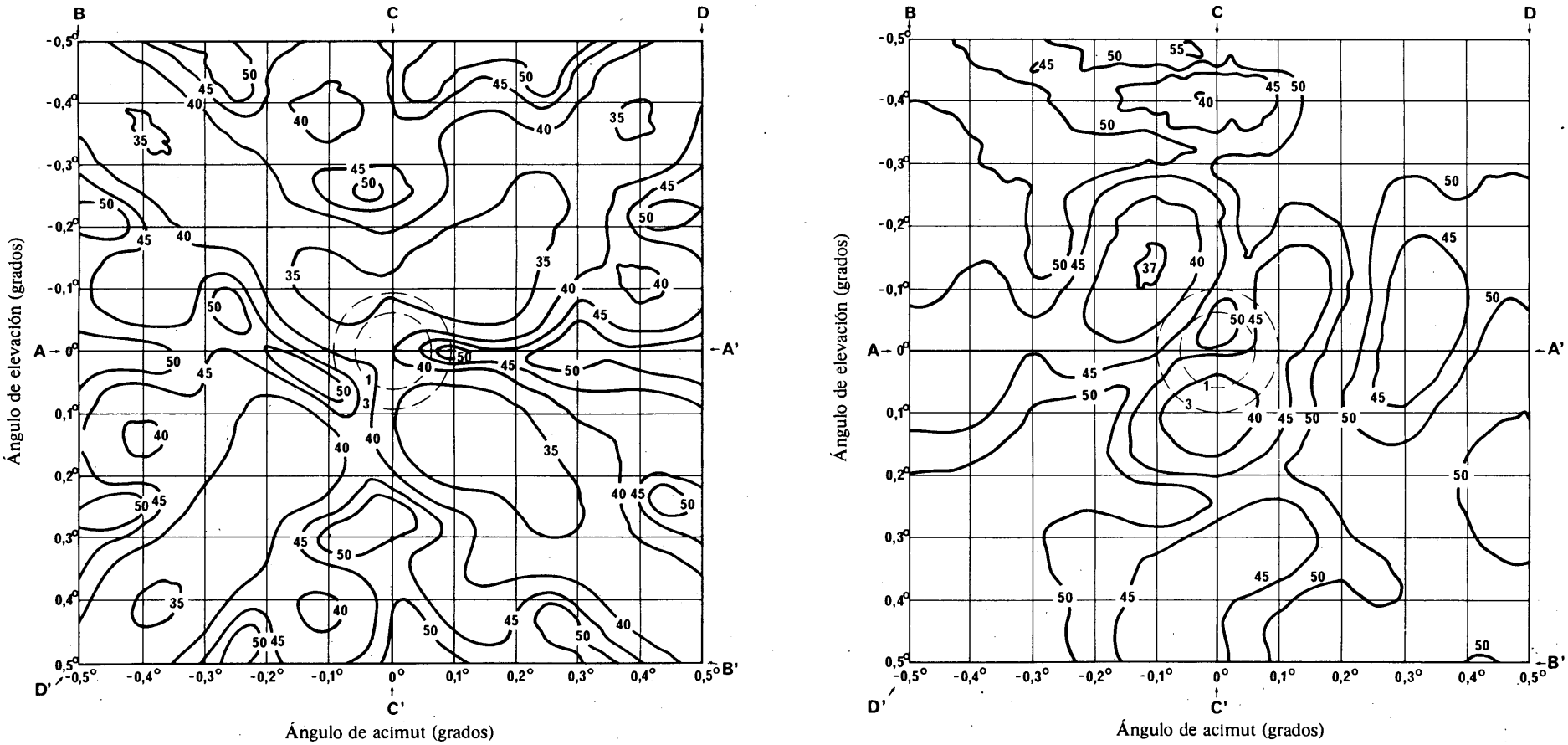
Se realizaron mediciones similares de la relación axial de polarización en una antena de estación terrena de 32 m de diámetro diseñada para cubrir una anchura de banda de 875 MHz y 800 MHz, en las bandas de 6 GHz y 4 GHz, respectivamente. La configuración de antena es del tipo Cassegrain con alimentación por haces de guiaondas y cuatro reflectores. En la fig. 9, se muestra la relación axial en el eje del sistema global de antena medida con un dispositivo de comprobación del eje de puntería, que indica que se consiguió una relación axial mejor que 0,34 dB en la banda de 6 GHz y que 0,41 dB en la banda de 4 GHz.

En la fig. 10 se muestra la calidad medida de una antena de reflector simétrico. Se trata de una antena Cassegrain INTELSAT de norma A de 32 m con bocina de alimentación ondulada diseñada para funcionar reutilizando frecuencias con alta calidad. En el haz principal, en la región de -1 dB, se ha obtenido una discriminación típica superior a 35 dB (RA = 0,3 dB) con el sistema completo para polarización circular. La propia antena, sin acoplador de modo de seguimiento TM_{01}* y sin polarizador, presenta por lo general una discriminación de más de 41 dB (0,15 dB de relación axial).

En las figs. 11 y 12 se muestran algunos ejemplos de mediciones de diagramas de gran ángulo utilizando polarización lineal, para antenas de estación terrena de tamaño relativamente pequeño y sin polarizadores. Sin embargo, otras mediciones en antenas mayores han mostrado que no siempre puede conseguirse una gran discriminación [Haidle y Fitzgerrell, 1977].

---

* *TM*: Tracking mode (modo de seguimiento).



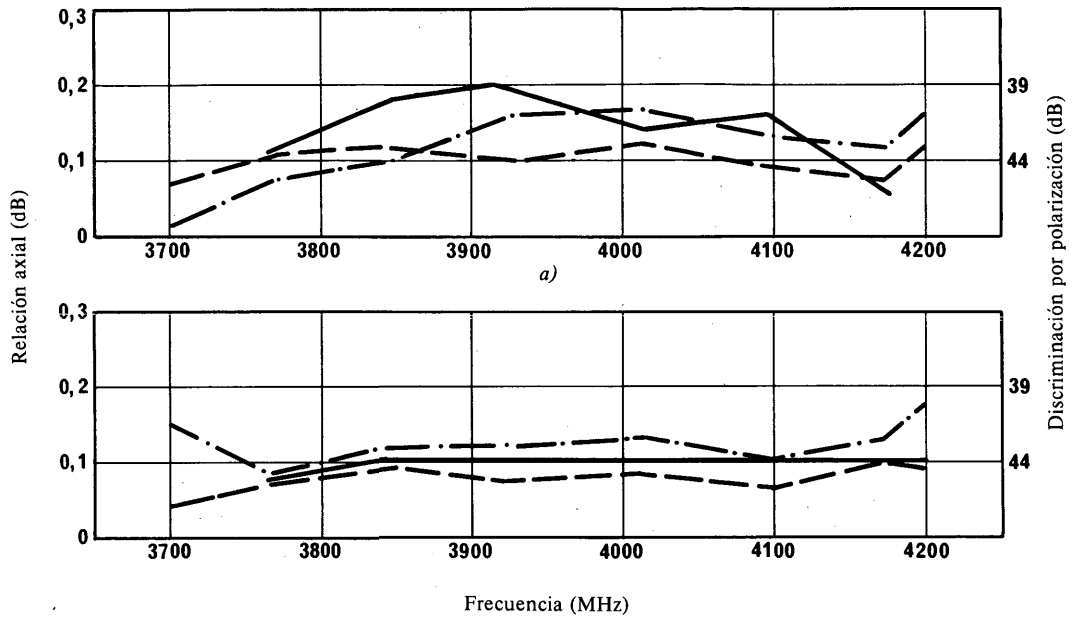
a) Polarización vertical

b) Polarización con un ángulo de 45°

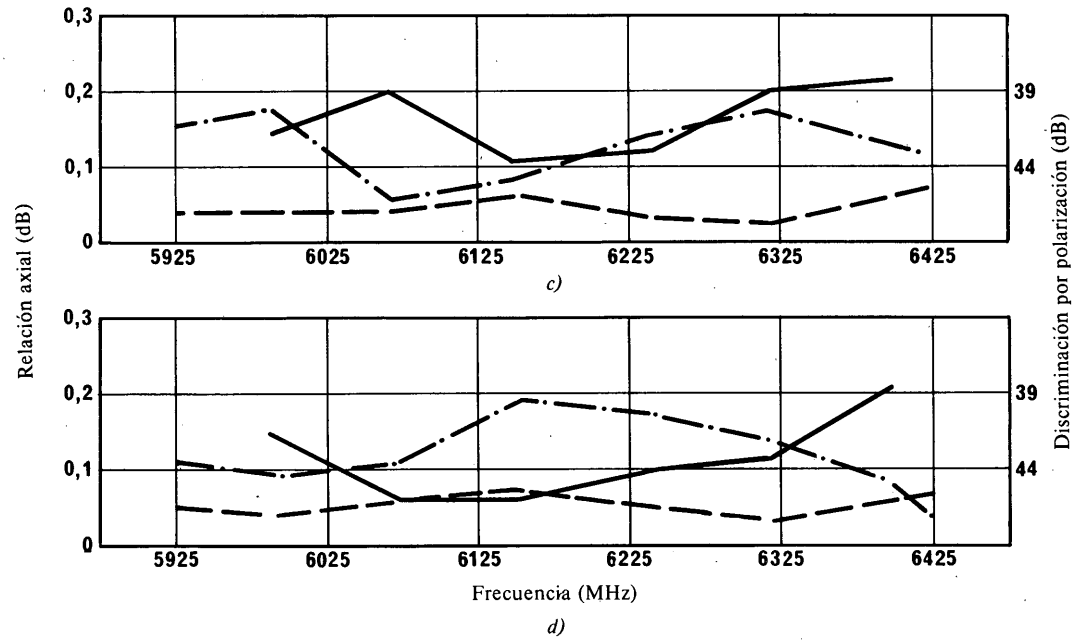
FIGURA 6 – *Niveles de polarización cruzada medidos de una antena de 10 m (11,6 GHz, polarización lineal)*

——— Polarización cruzada

– – – – Copolarización



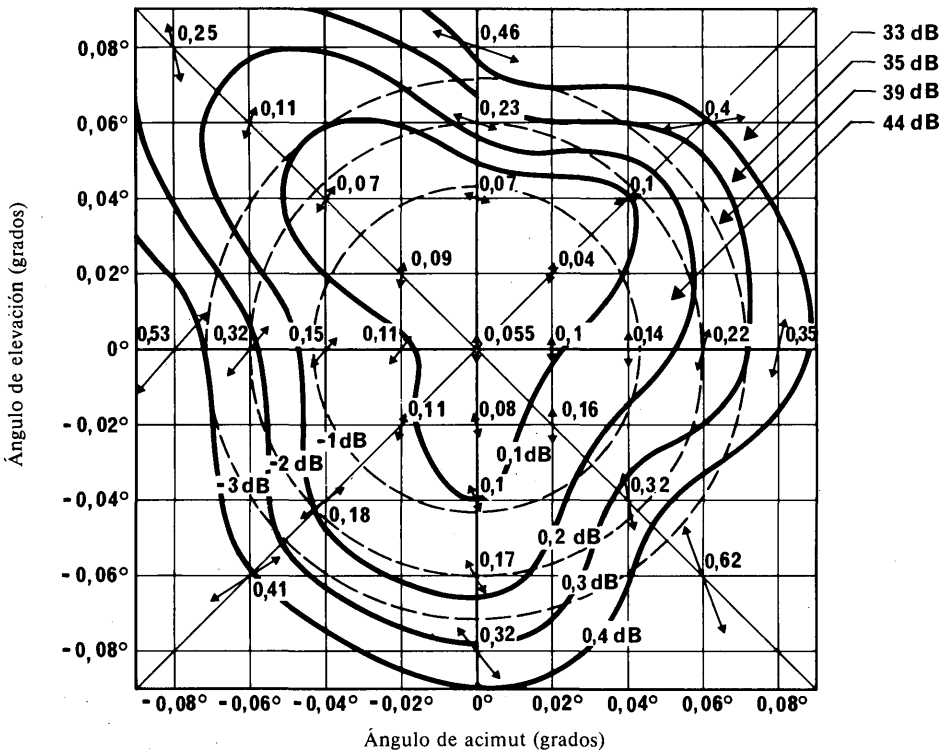
a) Polarización circular levógira
b) Polarización circular dextrógira



c) Polarización circular dextrógira
d) Polarización circular levógira

FIGURA 7 – *Características de la antena de estación terrena*

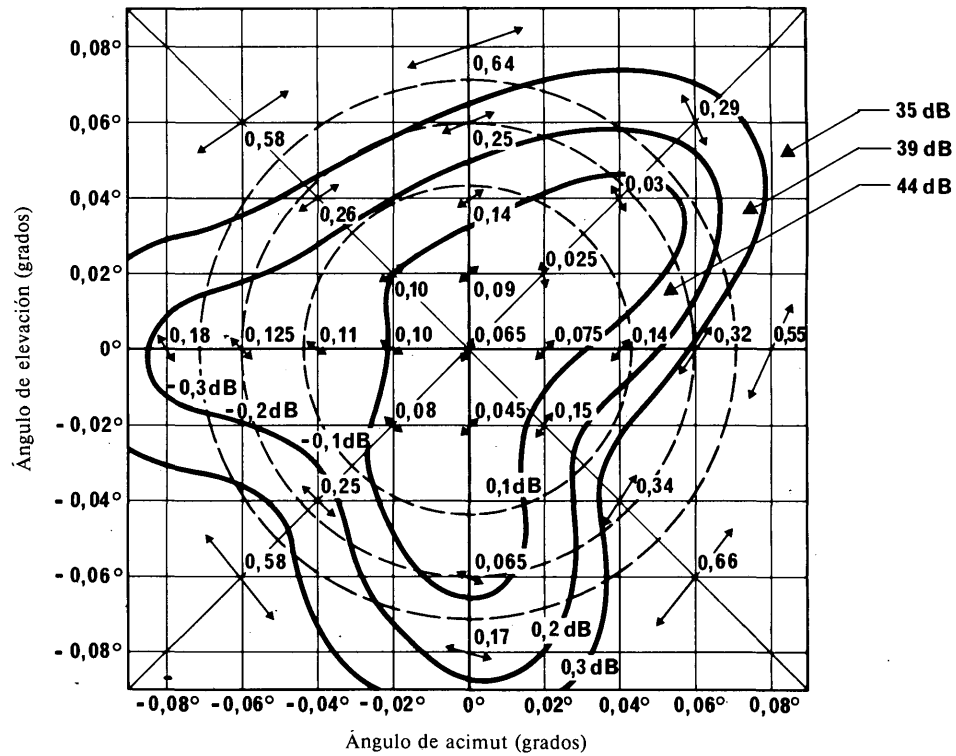
——— Calidad de funcionamiento global medida por el método de la antena de referencia utilizando señales de satélite
—·—·— Calidad de funcionamiento global medida a partir de las señales utilizadas a efectos de puntería
— — — Datos sobre el dispositivo de alimentación obtenidos en fábrica



a)

f = 3925 MHz

Copolar: Polarización circular dextrógira
Contrapolar: Polarización circular levógira



b)

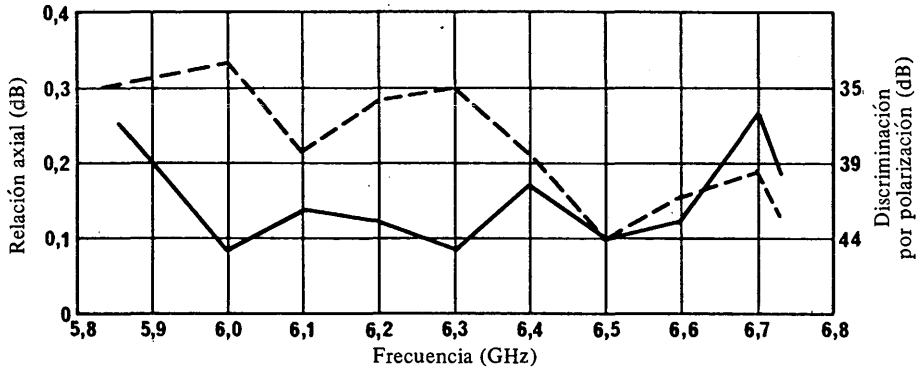
f = 3925 MHz

Copolar: Polarización circular levógira
Contrapolar: Polarización circular dextrógira

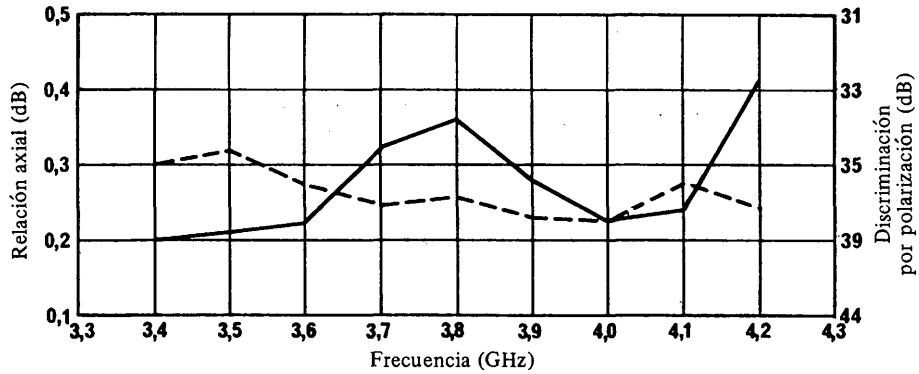
FIGURA 8 – *Contornos de polarización cruzada de una antena de estación terrena*

——— Polarización cruzada

– – – – Polarización copolar



a) Banda de 6 GHz

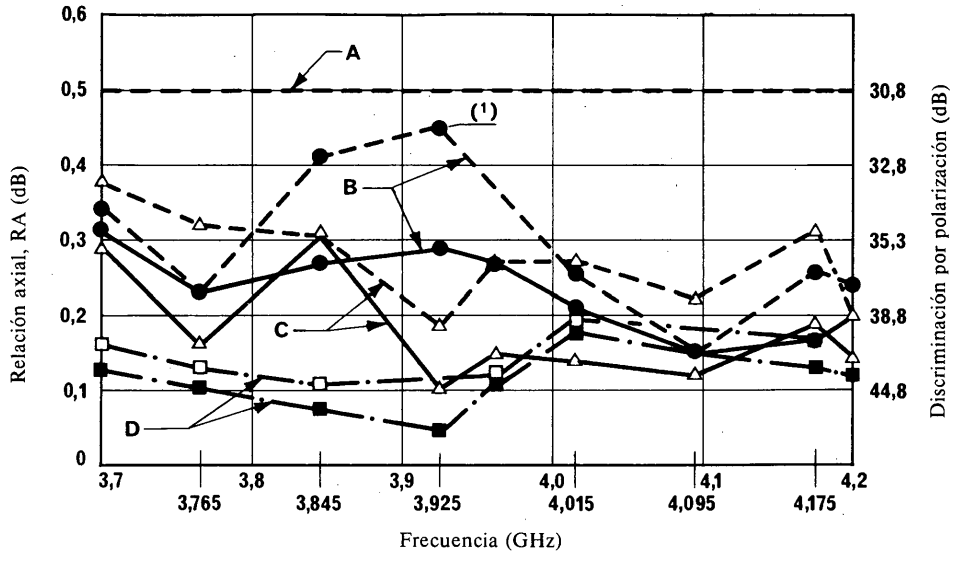


b) Banda de 4 GHz

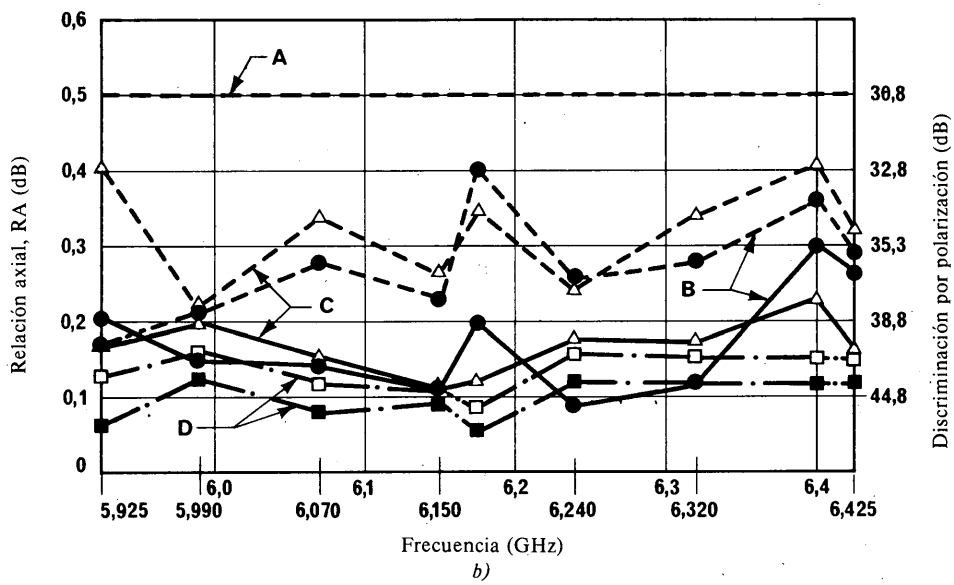
FIGURA 9 – *Características de una antena de estación terrena de banda ancha*

——— Polarización circular levógira

— — — Polarización circular dextrógira



a)



b)

FIGURA 10 – *Relación axial de la antena Raisting 4 medida con un transmisor de puntería*

A : Especificación de INTELSAT

B : LHCP: Polarización circular levógira

C : RHCP: Polarización circular dextrógira

D : RHCP/LHCP

Dentro de una anchura de haz de 1 dB

En el eje

En el eje

Dentro de una anchura del haz de 1 dB } pero sin acoplador TM_{01} ni polarizador; obtenida por conversión de la medición con polarización lineal

(1) Un valor únicamente

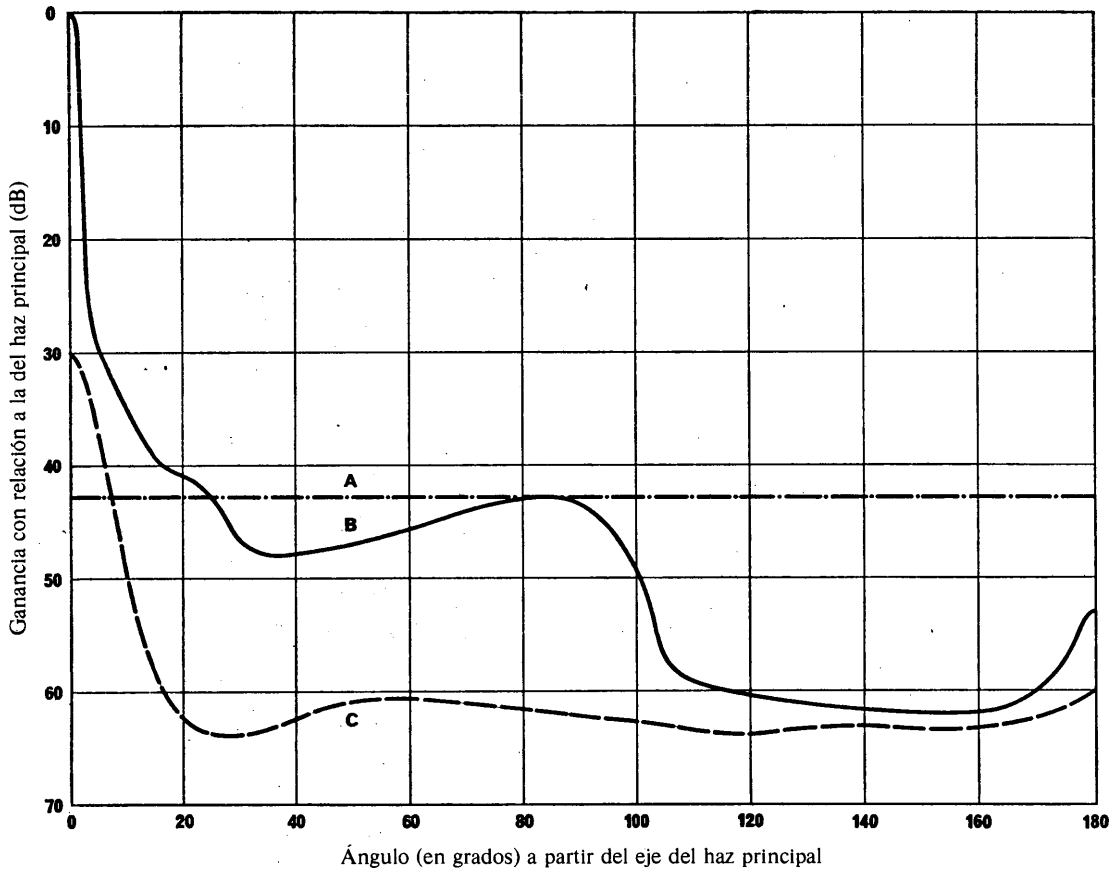


FIGURA 11 – *Envolvente del diagrama de copolarización y de polarización cruzada de una antena de 3 m (10 pies)*

Envolvente suavizada de las crestas de los lóbulos laterales en el plano horizontal a 6 GHz

A: Isotrópica
B: Respuesta correspondiente a una señal polarizada verticalmente
C: Respuesta correspondiente a una señal polarizada horizontalmente

Ganancia 42,8 dB a 6 GHz

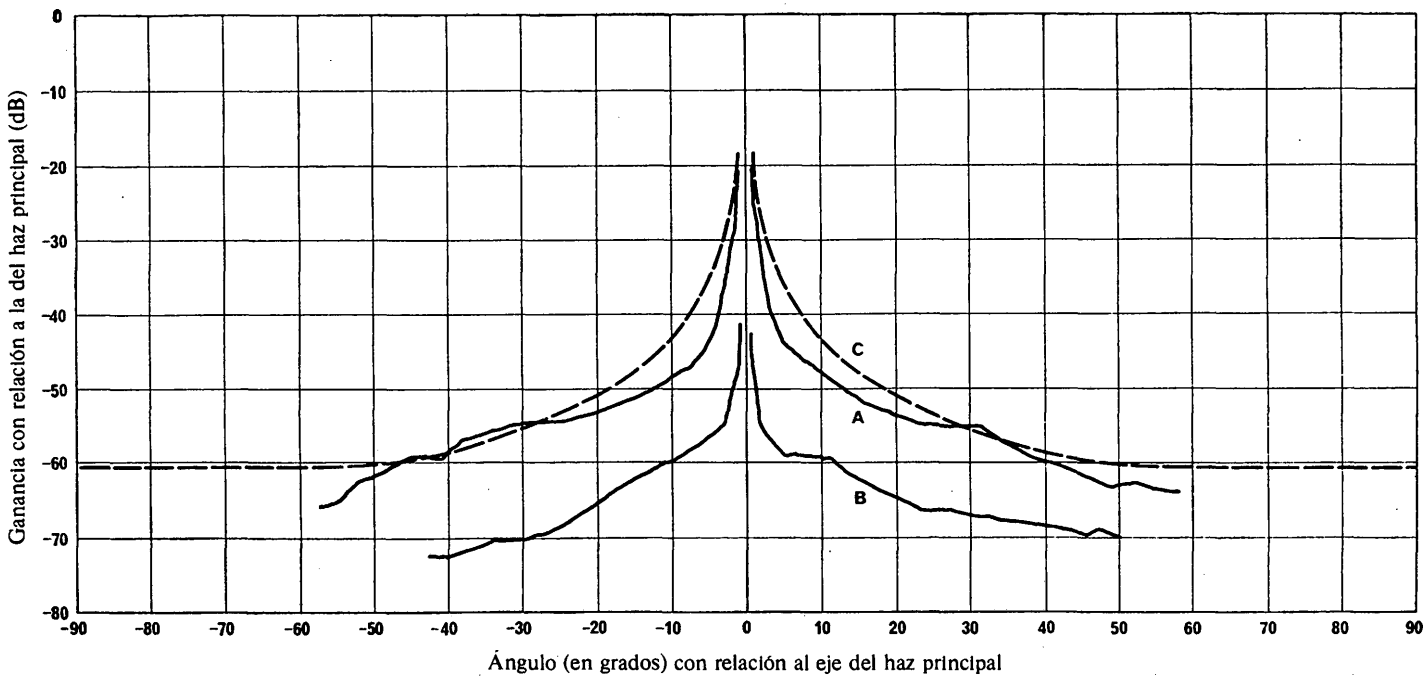


FIGURA 12 – *Diagramas de copolarización y de polarización cruzada de un reflector circular de 3,6 m (12 pies) de diámetro (polarización lineal) con alimentador Gregorian (plano E), a 10,5 GHz*

A: Copolarización
B: Polarización cruzada
C: Diagrama de referencia de la Recomendación 465

Pueden obtenerse datos estadísticos sobre la distribución de las crestas de los lóbulos laterales con polarización cruzada de las seis fuentes siguientes:

a) en la gama angular de 0,5° a 4,0°, datos de una estación INTELSAT de norma A existente, que utiliza un reflector de bocina cónica como fuente de radiación y un diplexor modificado;

b) en la gama angular de 0,4° a 10°, datos de una nueva antena de 32 m construida para la reutilización de frecuencias con satélites Intelsat-V, que utiliza un guiaondas de bocina ondulada como fuente de radiación;

c) en la gama angular de 1° a 120°, datos de una antena de dimensiones más reducidas ($D/\lambda = 162$), que utiliza una bocina ondulada;

d) en la gama angular de 1,5° a 85°, datos de dos antenas de estaciones terrenas japonesas del sistema INTELSAT; ambas antenas son del tipo Casssegrain con configuraciones de alimentador de haz por guiaondas;

e) en la gama angular de 0,4° a 10,0° datos de una antena INTELSAT de la norma A existente en los Países Bajos, que utiliza un sistema de alimentador por haz de guiaondas de doble reflector con una bocina ondulada y un diplexor modificado;

f) en la gama angular de 0,4° a 20°, datos de un gran número de antenas de norma A del sistema INTELSAT que han entrado en servicio después de 1977 y que han sido sometidas a pruebas para funcionar reutilizando frecuencias con los satélites Intelsat-V.

En la fig. 13 se resumen los datos correspondientes a los apartados a), b), c), d) y e) anteriores, que muestran el 10% más desfavorable de los niveles de cresta de los lóbulos laterales con polarización cruzada.

En las figs. 14 y 16 se resumen los datos correspondientes al apartado f) anterior. Estas figuras muestran los resultados del análisis de los datos obtenidos en las pruebas realizadas sobre 29 antenas INTELSAT de norma A instaladas después de 1977, y según las cuales las mencionadas antenas respectan la envolvente de ganancia dada por $G = 32 - 25 \log \varphi$ (es decir, que al menos el 90% de las crestas de sus lóbulos laterales respetan esta fórmula). Las distribuciones estadísticas de los niveles de radiación contrapolar de los lóbulos laterales en emisión en gamas angulares que se extienden hasta alrededor de 20° a partir del eje del haz principal, se han trazado y comparado con dos formas de envolvente de la ganancia, a saber, $32 - 25 \log \varphi$ y $23,6 - 20 \log \varphi$. Un poco más de la mitad de las antenas sometidas a pruebas respetan la envolvente de la ganancia de referencia de $23,6 - 20 \log \varphi$ en la gama angular comprendida entre 1° y 7° a partir del eje del haz principal. En la gama comprendida entre 7° y alrededor de 20°, menos de la mitad de estas antenas cumplen la ecuación de la ganancia $G = 23,6 - 20 \log \varphi$, lo que significa que en esta gama angular convendría quizás utilizar una envolvente de ganancia diferente. Serán necesarios ulteriores estudios con objeto de caracterizar el comportamiento de los lóbulos laterales de las antenas con radiación contrapolar para ángulos superiores a 20°. A partir de estos datos y en base a un razonamiento físico pueden formularse varios comentarios:

— no cabe esperar discriminación por polarización cruzada en ángulos superiores a 50° a partir del eje del haz principal;

— no cabe esperar que simples modificaciones de las antenas existentes den lugar a ninguna discriminación importante por polarización cruzada cuando la abertura angular es grande.

Dado que son comparables los niveles de las crestas de los lóbulos laterales de la señal con polarización cruzada y de las crestas de los lóbulos laterales de la señal copolar, para ángulos superiores a 50°, y que para las antenas más modernas las crestas de la señal con polarización cruzada presentan niveles algo inferiores, esos niveles se ajustan a una ley de variación menos rápida con el ángulo que la relación $25 \log \varphi$.

Los datos del diagrama de radiación de una antena Cassegrain de 32 m de diámetro diseñada para cubrir la anchura de banda de 875 MHz en 6 GHz y de 800 MHz en 4 GHz se obtuvieron y trataron de conformidad con el método descrito en el anexo II al Informe 391. En la fig. 15 se indican los niveles excedidos por el 10% de las crestas de los lóbulos laterales de la antena con polarización cruzada.

En el supuesto de que exista una relación $20 \log \varphi$, habrá un diagrama de referencia de polarización cruzada de:

G (polarización cruzada) $= 23,6 - 20 \log \varphi$.

Así se ilustra en las figs. 13 y 14, pudiéndose observar que ese contorno incluye generalmente el 10% más desfavorable de los niveles de los lóbulos laterales de la señal con polarización cruzada de las antenas más modernas.

3. Antenas de los satélites

En las figs. 3a) y 3b) se muestran los resultados de mediciones de la envolvente del diagrama de polarización cruzada para bocinas cónicas y para reflectores con bocinas cónicas, utilizados ampliamente en los satélites, cuyos haces presentan una simetría casi perfecta alrededor de su eje; se puede observar que se consigue gran calidad cuando es posible acercarse a la simetría rotacional.

Se ha mostrado experimentalmente que puede lograrse una discriminación por polarización de 30 dB con configuraciones de antena especialmente diseñadas para satélites, tanto para polarización lineal como para polarización circular, en el caso de una configuración de antena con reflector alimentado por delante (véanse las figs. 17 y 18). El haz elíptico mostrado en la fig. 18 se obtiene dando una forma adecuada al reflector. Cuando se utilizó la misma antena para polarización circular, los contornos de polarización cruzada tenían una estructura compleja, lo que ponía de manifiesto los efectos del soporte y de la interacción del diagrama de fase del alimentador de bocina primario.

Es de destacar que las configuraciones de antena con reflector alimentado por delante ensayadas tenían aberturas relativamente pequeñas, por lo cual la presencia de soportes del conjunto de alimentadores influyó considerablemente y en un sentido desfavorable en la despolarización y en la pérdida de eficacia. En cambio, las configuraciones con alimentadores excéntricos ofrecen mejores posibilidades en relación con estas dos características (véanse las figs. 4a), 4b) y 19). En el caso de la polarización circular, el porcentaje de elipticidad que pueda lograrse del polarizador limitará quizá la discriminación global por polarización cruzada.

Las configuraciones con reflector descentrado revisten especial interés para los satélites que requieren haces restringidos o perfilados, puesto que los sistemas alimentadores producirían de otro modo un bloqueo excesivo de la abertura. En el proyecto de antenas con gran discriminación por polarización han de resolverse problemas más complicados, incluyendo la interacción entre elementos de alimentación adyacentes.

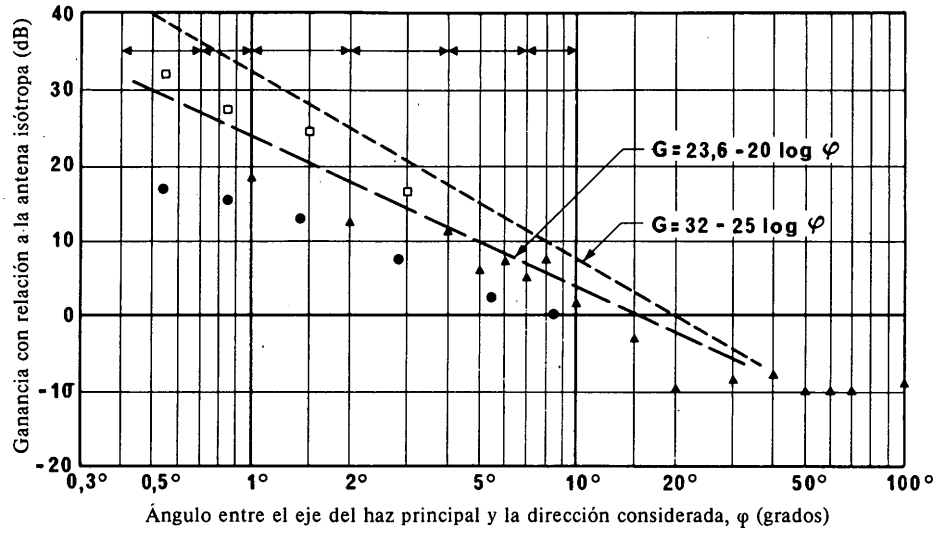


FIGURA 13 – *Distribución estadística de las crestas de los lóbulos laterales de polarización cruzada*

● Del Doc. 4/94 (Italia)
▲ Del Doc. 4/70 (Estados Unidos de América)*
□ Del Doc. 4/88 (Países Bajos)

} nivel excedido durante el 10% de las crestas de los lóbulos laterales

— — — Diagrama de radiación copolar de referencia

*Se dan valores para ángulos discretos de 1°, 2°, 4°, etc., según se indica.

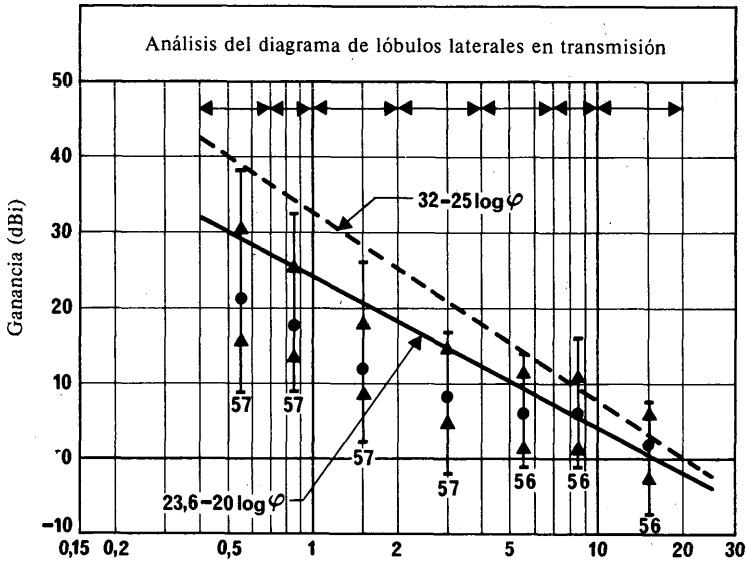


FIGURA 14 – *Distribución de los niveles de los lóbulos laterales en los diagramas de radiación contrapolar de señales con polarización circular (antenas INTELSAT de norma A)*

Datos de las antenas:

Tipo: INTELSAT norma A
Diámetro: aprox. 30 m
Frecuencia: 5990-6400 MHz
Polarización: Contrapolar levógira y dextrógira

Intervalo angular de muestreo

: Valor máximo
: 10% de casos más desfavorables
: Valor mediano
: 10% de casos más favorables
: Valor mínimo
56 : Número de muestras

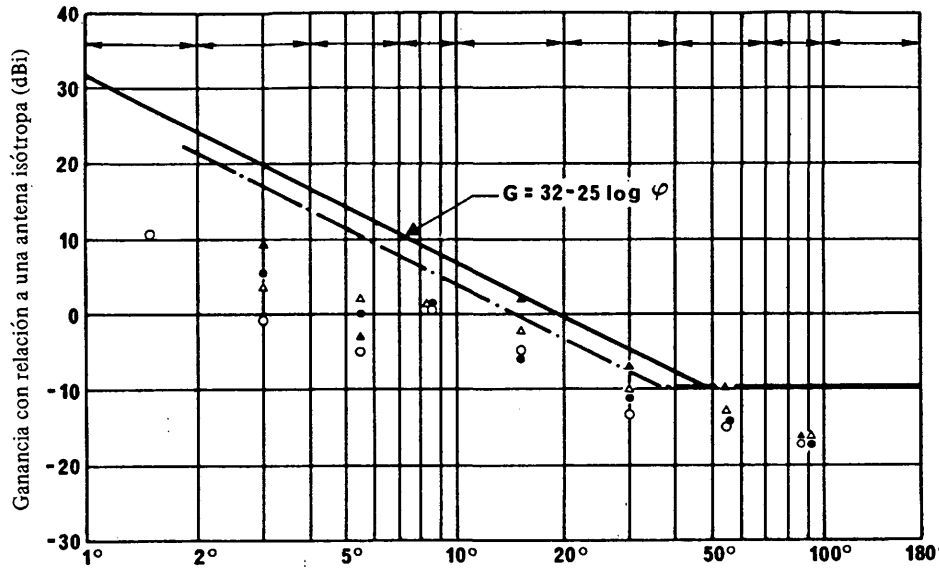


FIGURA 15 – *Datos estadísticos de las crestas de los lóbulos laterales de una antena Cassegrain de 32 m (polarización cruzada)*

Niveles excedidos por el 10% de las crestas de los lóbulos laterales tratados de conformidad con el anexo II al Informe 391

O : 6,725 GHz	$D/\lambda = 718$
● : 6,150 GHz	$D/\lambda = 656$
△ : 3,950 GHz	$D/\lambda = 419$
▲ : 3,400 GHz	$D/\lambda = 363$

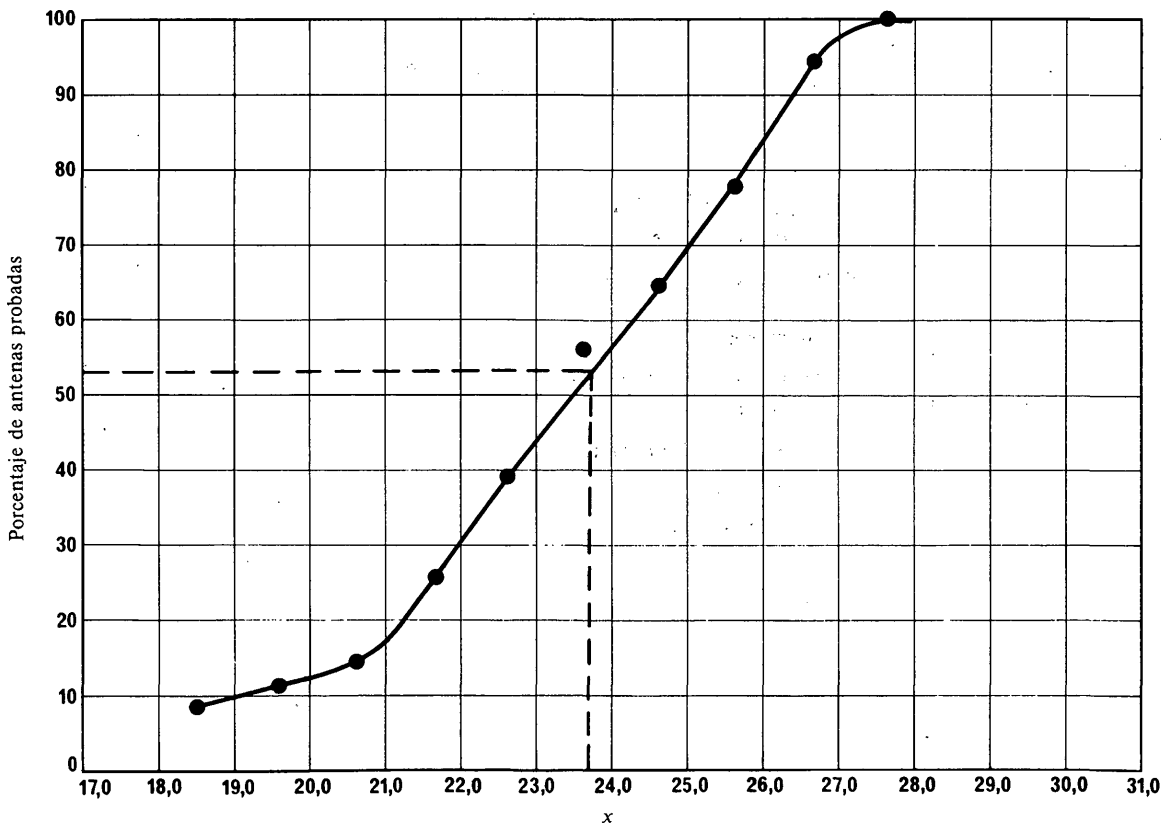
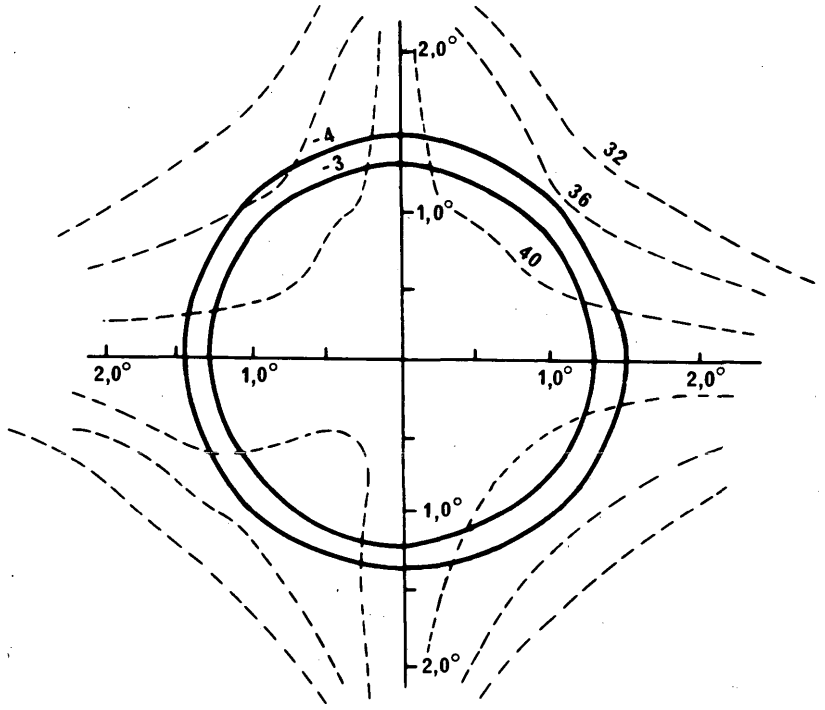
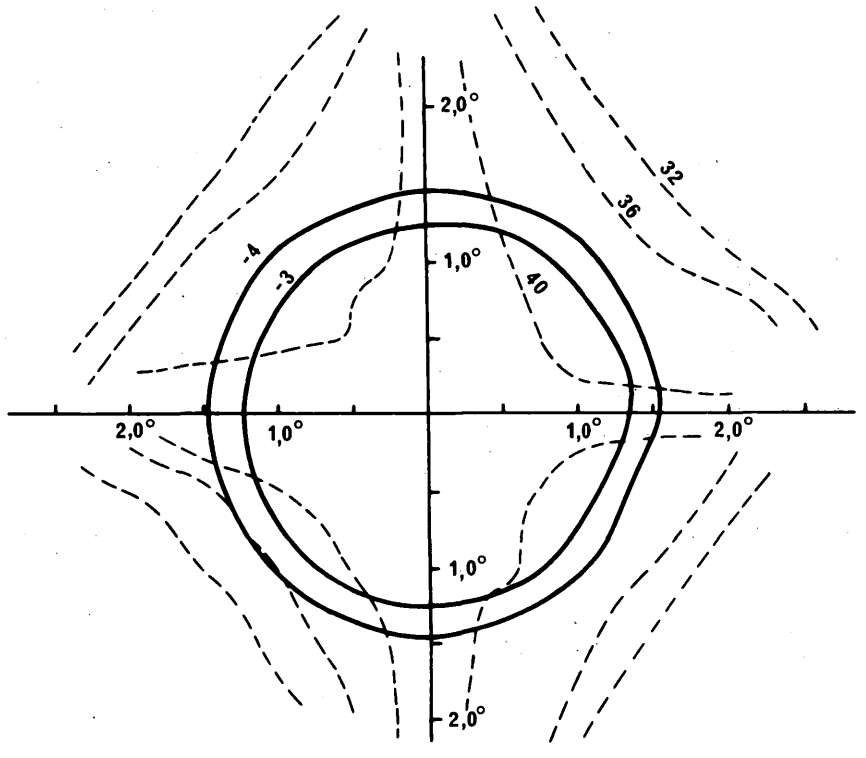


FIGURA 16 – *Antenas INTELSAT de norma A: Diagramas de radiación contrapolar*

Envolvente de la ganancia (x – 20 log φ)



a) Puerta de acceso 1



b) Puerta de acceso 2

FIGURA 17 – *Contornos correspondientes al mismo valor, en el caso de un haz circular (polarización lineal) (valores en dB)*

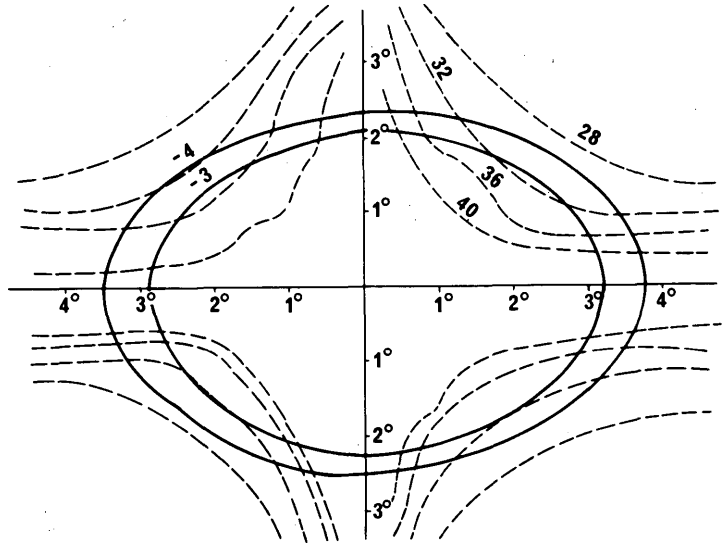
——— Curvas correspondientes a un mismo valor para la componente copolar (isolíneas copolares)

– – – – Curvas correspondientes a un mismo valor de discriminación por polarización (isolíneas de discriminación por polarización)

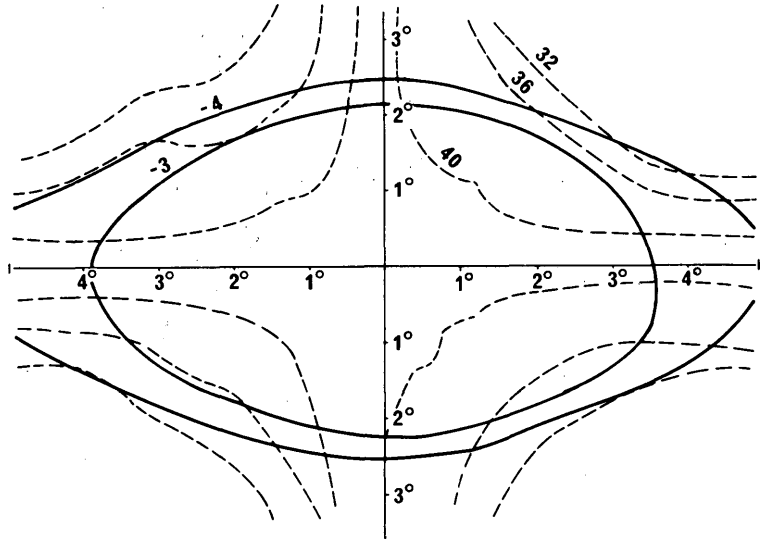
Frecuencia: 11,58 GHz

Anchura nominal del haz (3 dB): 2,5° × 2,5°

Ganancia de cresta medida: 36,4 dB



a) Puerta de acceso 1



b) Puerta de acceso 2

FIGURA 18 – *Contornos correspondientes al mismo valor, en el caso de un haz elíptico (polarización lineal) (valores en dB)*

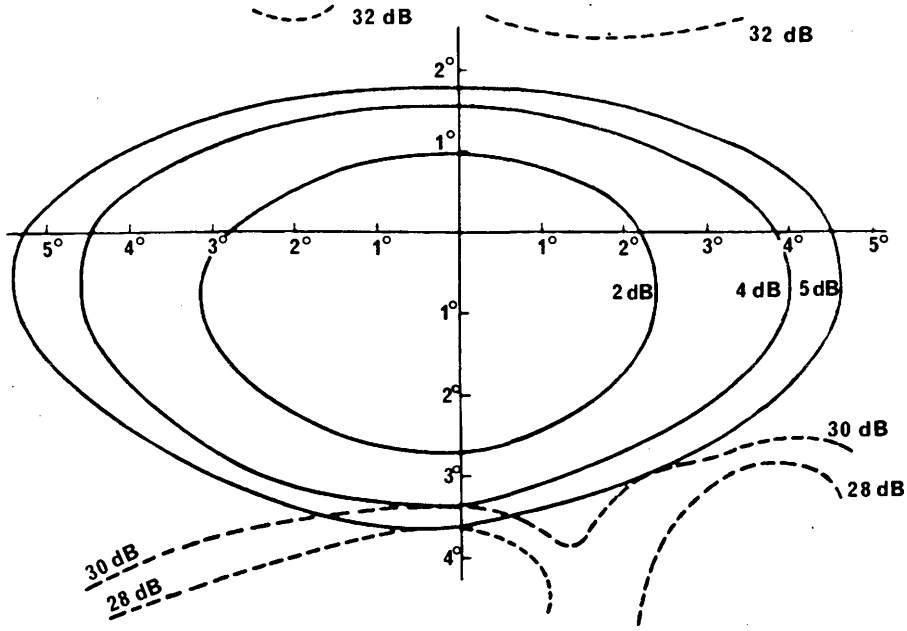
——— Curvas correspondientes a un mismo valor para la componente copolar (isolíneas copolares)

– – – – Curvas correspondientes a un mismo valor de discriminación por polarización (isolíneas de discriminación por polarización)

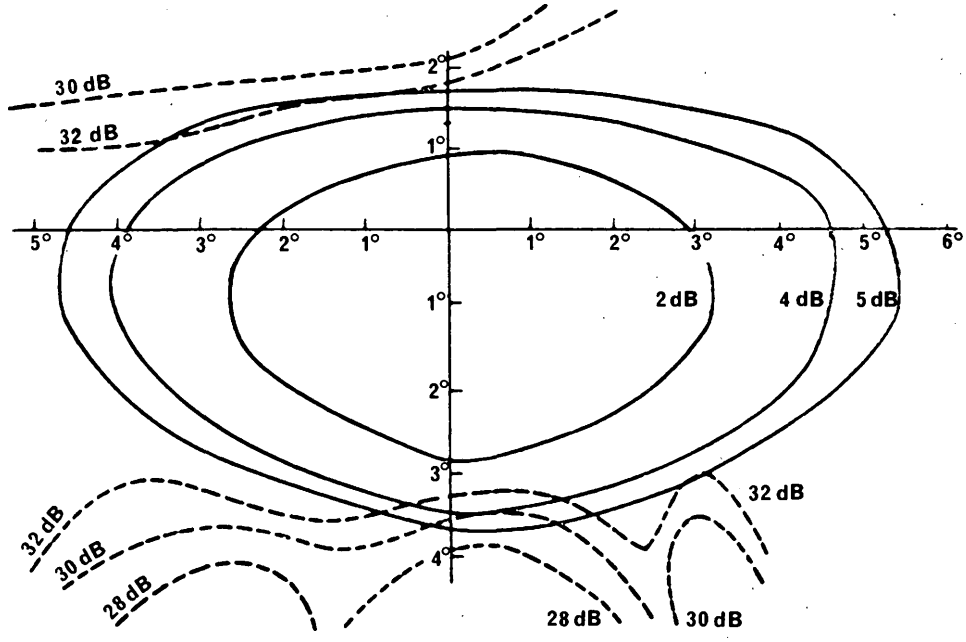
Frecuencia: 14,173 GHz

Anchura nominal del haz (3 dB): 7,5° × 4,25°

Ganancia de cresta medida: 28,8 dB



a) Puerta de acceso 1



b) Puerta de acceso 2

FIGURA 19 – *Contornos correspondientes al mismo valor, en el caso de una antena con alimentadores descentrados (polarización circular) (valores en dB)*

———— Curvas correspondientes a un mismo valor para la componente copolar (isolíneas copolares)

– – – – – Curvas correspondientes a un mismo valor de discriminación por polarización (isolíneas de discriminación por polarización)

Frecuencia: 11,8 GHz

Anchura nominal del haz (3 dB): 7,5° × 4,25°

Ganancia de cresta medida: 28,8 dB

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GANS, M. J. [marzo de 1976] Cross-polarization in reflector-type beam waveguides and antennae. *BSTJ*, Vol. 55, **3**, 289-316.

GANS, M. J. y SEMPLAK, R. A. [septiembre de 1976] Some far-field studies of an offset launcher. *BSTJ*, Vol. 54, **7**, 1319-1340.

HAIDLE, L. L. y FITZGERRELL, R. G. [mayo de 1977] Hemispherical power gain pattern measurements at 7,5 GHz. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-25, **3**, 373-376.

MIZUGUTCH, Y., AKAGAWA, M. y YOKOI, H. [octubre de 1976] Offset dual reflector antenna. IEEE Antennas and Propagation Society (AP-S) International Symposium, Mass., Estados Unidos de América.

POPOVIĆ, B. [1975] Cross-polarization effects due to a water film on a Cassegrain reflector in frequency range 10-30 GHz. COST/TELECOM 2/TD 30/75. Faculty of Electrical Engineering, Belgrado, República Socialista Federativa de Yugoslavia.

POPOVIĆ, B. [1976] Off-axis cross-polarization due to a water film on reflector surfaces of a Cassegrain antenna. COST/TELECOM 2/TD 36/76. Faculty of Electrical Engineering, Belgrado, República Socialista Federativa de Yugoslavia.

RUDGE, A. W. y ADATIA, N. A. [1975] New class of primary-feed antennae for use with offset parabolic-reflector antennae. *Electron. Lett.*, Vol. 11, 597.

WATANABE, F. y MIZUGUTCH, Y. [1983] An offset spherical tri-reflector antenna *Trans. Inst. Electron. Comm. Engrs. Japan*, Vol. E66, **2**.

BIBLIOGRAFÍA

SHKAROFSKY, I. P. y MOODY, H. J. [septiembre de 1976] Performance characteristics of antennae for direct broadcasting satellite systems including effects of rain depolarization. *RCA Rev.*, Vol. 37, **3**, 279-319.

Documentos del CCIR

[1978-82]: 4/269 (Japón); 4/280 (Países Bajos); 4/308 (INTELSAT); 4/327 (Alemania (República Federal de)).

ANEXO II

MEDICIÓN DE LA DESPOLARIZACIÓN DE ANTENAS DE ESTACIÓN TERRENA

1. Elección del método de medición cuando se emplea como fuente una señal procedente del satélite

Si la polarización de la señal procedente del satélite es de gran pureza, puede emplearse el método de aislamiento directo. En caso de que la polarización de esa fuente sea deficiente, se perderá precisión en las mediciones debido al efecto de despolarización del satélite. En ese supuesto, se necesita una antena de referencia de polarización para eliminar la incertidumbre causada por la despolarización del satélite.

Ambos métodos se han revelado viables en la práctica. En la fig. 20 se indican los criterios para la selección del método de aislamiento directo o el de la antena de referencia.

2. Consideraciones relativas al método de la antena de referencia

Se ha ideado un método preciso de medición de la polarización [DiFonzo y Trachtman, 1978], con empleo de una antena de referencia de polarización y una red de adaptación de polarización, en el que se procura obtener una señal nula en una de las puertas de acceso del transductor ortomodal a fin de determinar el estado de polarización. Este método puede denominarse el «método de la señal nula».

El «método de fase-amplitud», ideado más recientemente [Satoh y Makita, 1980], demostró su eficacia para la medición de relaciones axiales de polarización de sólo 0,2 dB en antenas de gran abertura. En el cuadro II se compara el método de la señal nula con el de fase-amplitud.

El método de fase-amplitud con empleo de una antena de referencia de polarización se considera preferible y apropiado cuando debe efectuarse una medición precisa de la polarización de antenas de gran abertura.

En la fig. 21a) puede verse un esquema para la medición de la despolarización en recepción por el método de fase-amplitud. Se transmite una señal de portadora f_1 desde una estación terrena a fin de obtener una señal de satélite f_2 que se emplea para la medición de la despolarización en recepción de la estación terrena. Mediante la detección de fase-amplitud de dos señales recibidas en los accesos del transductor ortogonal de la antena, se obtiene la despolarización total del enlace descendente. Las características de despolarización de la antena en recepción pueden calcularse a partir de la despolarización total del enlace descendente medida, a la que se resta el vector de despolarización del satélite en transmisión. Este vector puede obtenerse por medición, utilizando la antena de referencia de polarización con el dispositivo de alimentación rotado 90°. La fig. 21b) es un esquema de la medición de la despolarización en transmisión por el método de fase-amplitud. Se transmiten desde la estación terrena una señal de portadora f_1 y la señal modulada en dos fases $f_1 \pm \Delta f$ con dos polarizaciones circulares ortogonales. La componente contrapolar causada por la despolarización del enlace ascendente está contenida en la señal copolar devuelta $f_2 \pm \Delta f$. La señal contrapolar puede separarse de la señal copolar mediante la detección de fase-amplitud, ya que las señales f_1 y $f_1 \pm \Delta f$ están correlacionadas, y se obtiene la despolarización total del enlace ascendente. Por un procedimiento análogo al de la medición de la despolarización en recepción, puede obtenerse la despolarización en transmisión de la antena objeto de las pruebas, mediante el uso de una antena de referencia de polarización.

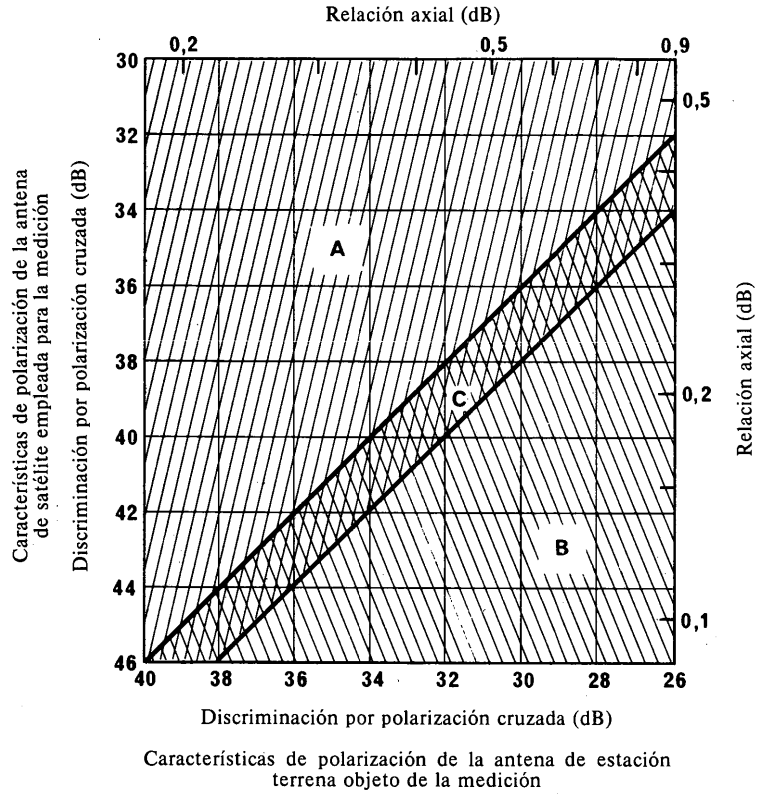


FIGURA 20 – *Criterios para el empleo del método de aislamiento directo o el método de la antena de referencia*

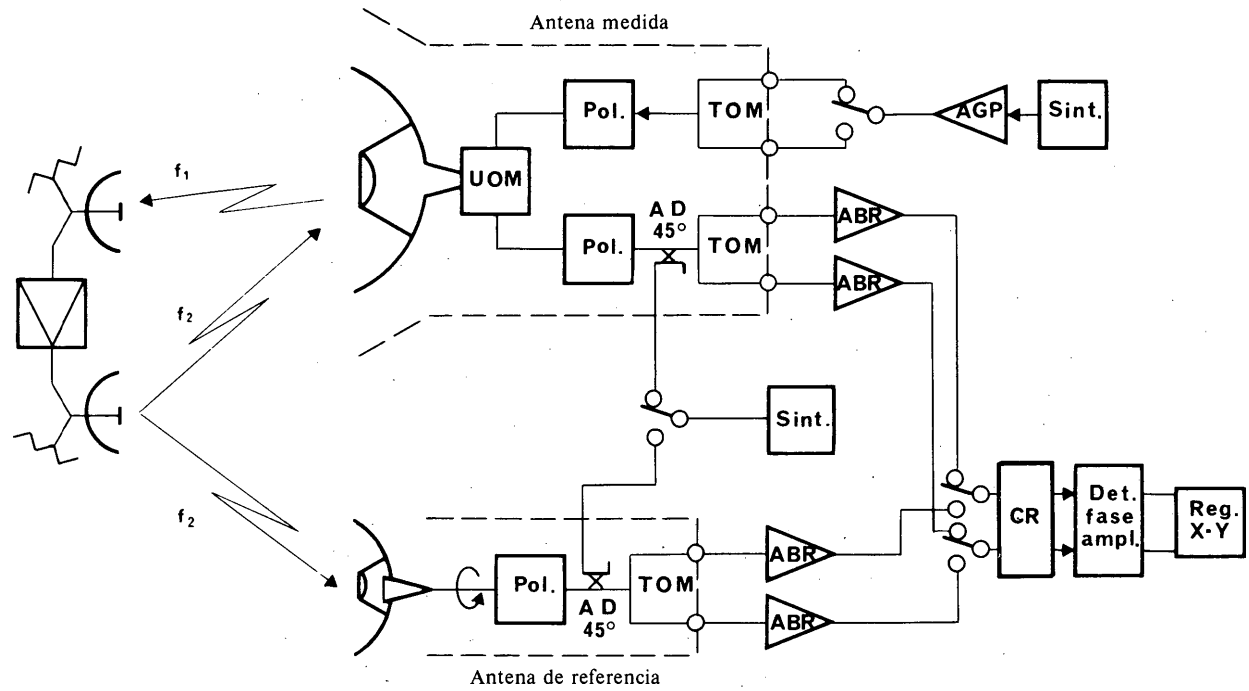
A: Método de la antena de referencia

B: Método del aislamiento directo

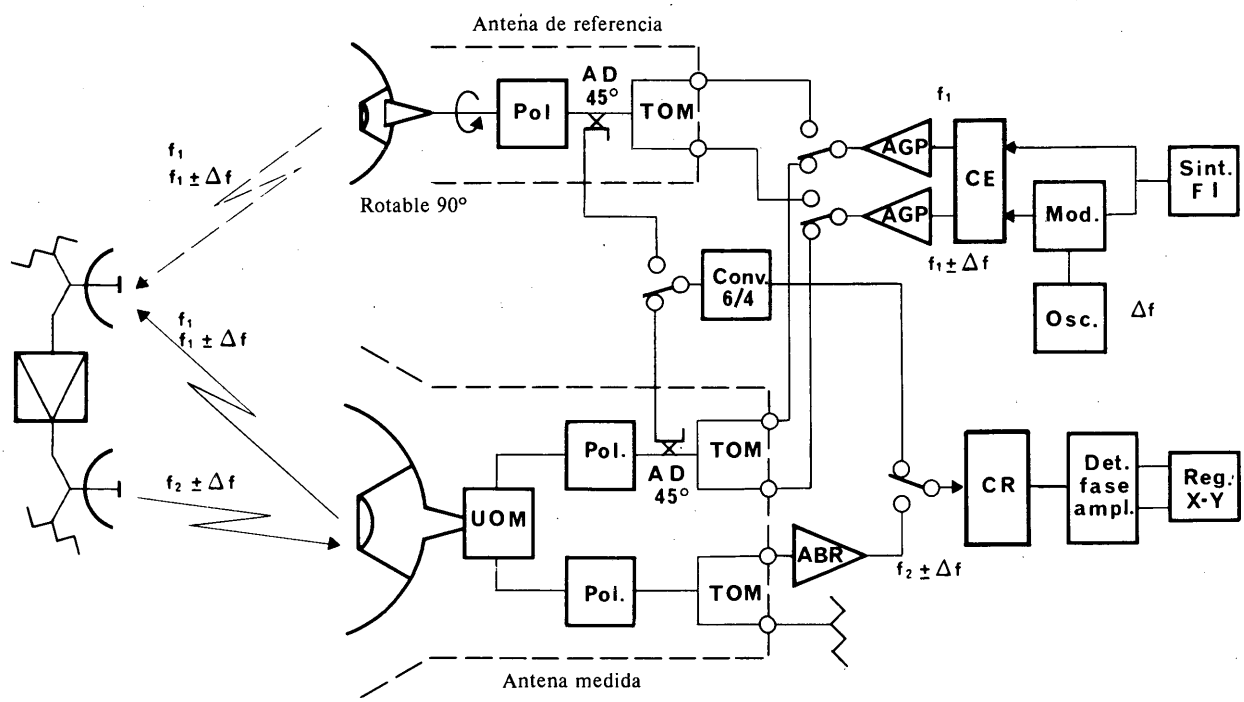
C: Zona gris

CUADRO II – *Comparación entre los métodos de la señal nula y de fase-amplitud*

	Método de la señal nula	Método de fase-amplitud
Ventajas	El generador y el detector de señales son simples El estado de polarización (relación axial y orientación) puede obtenerse fácilmente por lectura de los ángulos de los polarizadores	Sólo el tratamiento eléctrico de la señal permite obtener un resultado preciso
Inconvenientes	Es muy difícil reemplazar un dispositivo de alimentación de gran tamaño por una red de adaptación de polarización Es imposible medir la calidad de funcionamiento global de un sistema de antena. (El dispositivo de alimentación queda excluido de los componentes medidos por este método)	Se necesitan acopladores direccionales de 45° en el dispositivo de alimentación de la antena objeto de la medición Se necesita un detector de fase-amplitud de elevada calidad



a) Medición de la despolarización en recepción



b) Medición de la despolarización en transmisión

FIGURA 21 – *Configuración para efectuar mediciones de la despolarización de una antena de estación terrena*

UOM : Unión ortomodo
TOM : Transductor ortomodo
Pol. : Polarizador
AGP : Amplificador de gran potencia
AD : Acoplador direccional
ABR : Amplificador de bajo ruido
CR : Conversor reductor
CE : Conversor elevador
Reg. : Registrador

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DiFONZO, D. F. y TRATCHTMAN, W. S. [primavera de 1978] Antenna depolarization measurements using satellite signals. *COMSAT Tech. Rev.*, Vol. 8, 1, 155-185.

SATOH, T. y MAKITA, F. [1980] Measurement method of earth station and antenna polarization characteristics. IEEE Antennas and Propagation Society (AP-S) URSI International Symposium, Université Laval, Québec, Canadá, A/J.5-1.

INFORME 557-2

UTILIZACIÓN DE LAS BANDAS DE FRECUENCIAS ATRIBUIDAS AL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE, TANTO PARA EL ENLACE ASCENDENTE COMO PARA EL ENLACE DESCENDENTE DE LOS SISTEMAS DE SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

(Programa de Estudios 28A/4)

(1974-1982-1986)

1. Introducción

A cada satélite de radiocomunicaciones se le asignan frecuencias en dos bandas diferentes, una para los enlaces ascendentes y otra para los enlaces descendentes; lo usual es utilizar una banda determinada para los enlaces ascendentes o para los enlaces descendentes, pero no para ambos. Por ello, puede haber dos enlaces de interferencia entre sistemas, es decir:

- del transmisor de la estación terrena interferente al receptor de la estación espacial deseada;
- del transmisor de la estación espacial interferente al receptor de la estación terrena deseada.

Cuando las bandas de frecuencias ocupadas por dos sistemas se yuxtaponen, la separación de los satélites debe ser lo suficientemente grande para reducir dicha interferencia a un nivel aceptable.

Sin embargo, si dos satélites están separados por el arco orbital mínimo necesario, puede ser posible intercalar entre ellos otro satélite que utilice las mismas bandas de frecuencias pero asignadas en sentido inverso. Por ejemplo, la banda de frecuencias del enlace ascendente del tercer satélite podría ser la misma que la de los enlaces descendentes de los otros dos. Puede aumentarse así la capacidad total del espectro y de la órbita ocupada. Entre dos sistemas por satélite con asignaciones de frecuencias en sentido inverso puede haber los siguientes trayectos de interferencia:

- del transmisor de la estación espacial interferente al receptor de la estación espacial deseada;
- del transmisor de la estación terrena interferente al receptor de la estación terrena deseada.

En el presente Informe se examina este posible modo de utilización de las frecuencias desde el punto de vista de los servicios espaciales de radiocomunicación, y se estudian sus repercusiones en los servicios terrenales en bandas de frecuencias compartidas. Los estudios se han limitado totalmente hasta ahora al caso de los satélites geoestacionarios, pero también habrá que considerar los problemas que puede plantear la atribución bidireccional de frecuencias a los satélites geoestacionarios en bandas utilizadas asimismo por satélites no geoestacionarios.

2. Aumento de la capacidad de la órbita con el método de asignaciones invertidas de frecuencias

La ecuación siguiente da una buena aproximación de la relación portadora/interferencia en la entrada del receptor de una estación terrena que recibe una emisión de otra estación terrena a través de una estación repetidora espacial geoestacionaria, en presencia de un segundo sistema de características similares cuya estación espacial está separada de la primera estación espacial por un ángulo geocéntrico φ:

$$(C/I)^{-1} \approx \frac{p'_e\, g'_1(\varphi)\, g_2(\delta)}{p_e\, g_1\, g_2} + \frac{p'_s\, g_4(\varphi)\, g'_3(\eta)}{p_s\, g_4\, g_3} \qquad (1)$$

donde:

p_e, p'_e: potencias de transmisión disponibles en las entradas de las antenas de las estaciones terrenas de los sistemas deseado p_e e interferente p'_e, respectivamente;

p_s, p'_s: potencias de transmisión disponibles en las entradas de las antenas de las estaciones espaciales de los sistemas deseado p_s e interferente p'_s, respectivamente;

g_1, g_2, g_3, g_4: ganancias nominales del haz principal de la antena para el sistema deseado; los índices representan el trayecto de transmisión: 1 = estación terrena transmisora, 2 = estación espacial receptora, 3 = estación espacial transmisora, 4 = estación terrena receptora;

$g'_1(\varphi)$, $g_4(\varphi)$: ganancia de la antena en la estación terrena transmisora interferente en la dirección de la estación espacial deseada ($g'_1(\varphi)$) y ganancia de la antena en la estación terrena receptora deseada en la dirección de la estación espacial interferente ($g_4(\varphi)$) respectivamente;

$g_2(\delta)$, $g'_3(\eta)$: ganancia de la antena receptora de la estación espacial deseada en la dirección de la estación terrena transmisora interferente ($g_2(\delta)$), y ganancia de la antena transmisora de la estación espacial interferente en la dirección de la estación terrena receptora deseada ($g'_3(\eta)$), respectivamente (δ y η representan los ángulos de discriminación entre las direcciones deseada e interferente).

Cuando en el sistema interferente las frecuencias de los enlaces ascendente y descendente están invertidas con relación a las del sistema deseado, la relación portadora/interferencia puede calcularse aproximadamente mediante la ecuación (2), en el supuesto de que todas las interferencias importantes procederán de satélites distantes menos de 60° del satélite deseado.

$$(C/I)_r^{-1} \approx \frac{p'_s\, g'_3(\nu)\, g_2(\varepsilon)\, l_u}{p_e\, g_1\, g_2\, l_0} \quad * \qquad (2)$$

donde

$g_2(\varepsilon)$, $g'_3(\nu)$: ganancia de la antena receptora de la estación espacial deseada en la dirección de la estación espacial interferente ($g_2(\varepsilon)$) y ganancia de la antena transmisora de la estación espacial interferente en la dirección de la estación espacial deseada ($g'_3(\nu)$), respectivamente;

l_u, l_0: atenuación en el espacio libre en el enlace ascendente del sistema deseado (l_u) y entre las estaciones espaciales interferente y deseada (l_0), respectivamente, en la misma banda de frecuencias.

Para evaluar la capacidad potencial de utilización de la órbita con el empleo de asignaciones invertidas de frecuencias y compararla con las posibles asignaciones comunes de frecuencias en las mismas direcciones, pueden formularse varias hipótesis que normalicen y simplifiquen el problema:

a) Homogeneidad de sistemas:

- las potencias de la estación terrena y del satélite son iguales:

$$p'_e / p_e = p'_s / p_s = 1$$

- las anchuras de los haces de las antenas de las estaciones espaciales son iguales:

$$g_2 = g_3\ (= g'_2 = g'_3)$$

- iguales diámetros de antenas de estación terrena y diagramas de lóbulos laterales idénticos según la fórmula:

$$g_1(f) = a_1 / \rho^b$$
$$g_4(f) = a_4 / \rho^b$$

en la que ρ representa el ángulo fuera del eje del haz y a_1, a_4 y b son coeficientes.

b) La separación angular topocéntrica y geocéntrica entre estaciones espaciales es reducida y aproximadamente igual. En este supuesto:

$$l_0 \approx \varphi^2\, l_u$$

c) Subestimación de la interferencia entre sistemas con frecuencias comunes para las mismas direcciones, suponiendo que:

$$g_2(\delta) = g'_3(\eta) = 1$$

es un postulado representativo para el caso de redes de cobertura separada.

---

* Los valores de ν y ε no serán inferiores a 60°.

d) Sobrestimación de la interferencia entre sistemas con frecuencias inversas suponiendo que $g_2\,(80°) = g'_3\,(80°) = 1$ (las estaciones espaciales se ven entre sí según un ángulo de aproximadamente $\pi/2$ con respecto a los ejes de sus haces).

e) Que en una banda de frecuencias determinada, se supone que las temperaturas de ruido del receptor de la estación espacial son aproximadamente diez veces las temperaturas de ruido del receptor de la estación terrena; se supone asimismo que la relación portadora del enlace ascendente/ruido térmico no es inferior al doble de la relación portadora del enlace descendente/ruido térmico.

Admitiendo estas hipótesis, y sumando las fuentes de interferencia de numerosos sistemas con frecuencias comunes para las mismas direcciones, con una separación uniforme entre satélites φ_c, se obtiene la siguiente ecuación aproximada:

$$(C/I)_c^{-1} \approx \frac{2\zeta\,(b)}{\varphi_c^b}\left[\frac{a_1}{g_1\,g_2} + \frac{a_4}{g_3\,g_4}\right]^{*} \tag{3}$$

donde a_1 y a_4 corresponden a las antenas transmisoras y receptoras, respectivamente, de una estación terrena del sistema deseado.

Cuando se alternan estaciones espaciales con frecuencias comunes para las mismas direcciones o con frecuencias inversas, y con una separación φ_{rc}, a lo largo de la órbita, la suma de todas las fuentes de interferencia da:

$$(C/I)_{rc}^{-1} \approx \frac{2\zeta\,(b)}{(2\varphi_{rc})^b}\left[\frac{a_1}{g_1\,g_2} + \frac{a_4}{g_3\,g_4}\right] + \frac{3\zeta\,(2)}{20\,g_1\,g_2\,\varphi_{rc}^2}\;^{**} \tag{4}$$

Dado que en ambos casos la interferencia en el sistema deseado debe ser la misma (para igual capacidad con igual calidad de funcionamiento), si $(C/I)_c = (C/I)_{rc}$, se establece una relación entre φ_c y φ_{rc}:

$$(\varphi_{rc}/\varphi_c)^b \approx 2^{-b} + \varphi_{rc}^{b-2}\,\frac{0{,}1233}{(a_1 + a_4 g_1/g_4)\,\zeta(b)} \tag{5}$$

Cuando se trata de sistemas con igual cobertura, la hipótesis c) anterior da lugar a resultados demasiado pesimistas. Para este caso es conveniente establecer la siguiente hipótesis:

$$g_2(\delta) = g_2 = g'_3(\eta) = g'_3$$

Sin embargo, en el caso de igual cobertura se debería también asignar más interferencia dentro de la red para facilitar la coordinación entre estaciones terrenas. A tal fin parece apropiado el no permitir que la interferencia inversa dentro de la red, provocada por la interferencia entre estaciones terrenas, represente el 50% de aquélla, como se hizo en el caso de cobertura separada, sino el 90%. Con estas hipótesis se obtiene una nueva ecuación:

$$(\varphi_{rc}/\varphi_c)^b = 2^{-b} + \varphi_{rc}^{b-2}\,\frac{0{,}617}{(a_1 + a_4 g_1/g_4)\,g_2\,\zeta\,(b)} \tag{5a}$$

en la que figura la ganancia absoluta de las antenas de satélite. Para hacer mínima la mejora esperada en la utilización de la órbita, deberá elegirse para g_2 un valor razonable lo más reducido posible, como es el caso de la ganancia en el borde del haz de un haz de cobertura mundial: $g_2 = 40$ (16 dB).

Las ecuaciones (5) y (5a) pueden despejarse para hallar «la relación de utilización relativa de la órbita» φ_c/φ_{rc} en función de φ_c, para frecuencias y diagramas de antena específicos.

Suponiendo dos tipos de diagramas para las antenas de estaciones terrenas, por ejemplo, el diagrama de referencia del CCIR en el que $a_1 = a_4 = 0{,}063$ y $b = 2{,}5$, y un diagrama perfeccionado en el que, en forma optimista, $a_1 = a_4 = 0{,}016$ y $b = 3$; y suponiendo una relación $g_1/g_4 \approx f^2_{asc}/f^2_{desc} = 2{,}25$ (que corresponde a los pares de bandas 6/4 GHz, 15/10 GHz y 30/20 GHz), pueden obtenerse las curvas representadas en la fig. 1.

---

* $\zeta\,(b)$: función Zeta de Riemann.

** La contribución de los sistemas con frecuencias inversas se consideró dos veces superior para tener en cuenta un volumen igual de interferencia entre las estaciones terrenas.

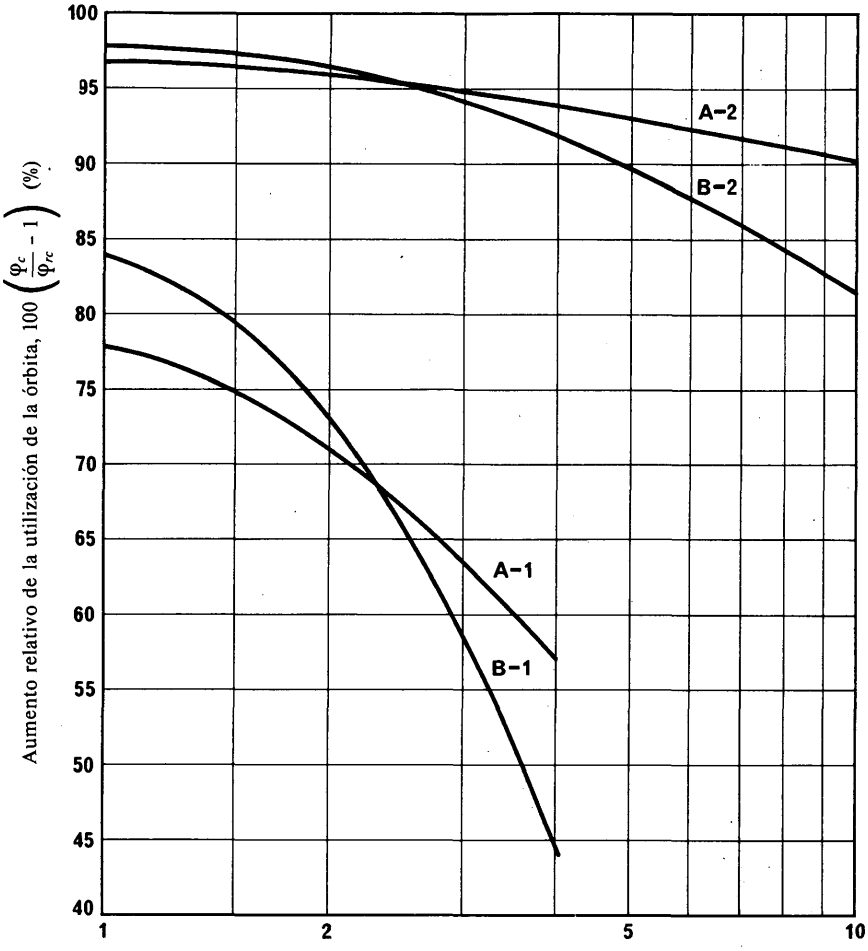


FIGURA 1 – *Aumento de capacidad de la órbita con sistemas que emplean frecuencias asignadas en sentido inverso, en comparación con sistemas que emplean únicamente frecuencias asignadas en un sentido*

Sistema A: a_1, a_4 = 0,063; b = 2,5

Sistema B: a_1, a_4 = 0,016; b = 3,0

Sufijo 1: Redes con cobertura separada

Sufijo 2: Redes con igual cobertura

Puede comprobarse que la utilización de asignaciones inversas de frecuencias en satélites alternos ofrece la posibilidad de una utilización de la órbita más eficaz que la que se consigue con asignaciones comunes para las mismas direcciones, particularmente con parámetros de realización y de explotación que permiten una menor separación entre estaciones espaciales con frecuencias comunes para las mismas direcciones.

El argumento precedente es válido en el caso de una utilización homogénea de la órbita como la descrita, pero se puede obtener una ventaja similar en una situación heterogénea.

3. Interferencia entre estaciones espaciales casi antípodas con asignaciones invertidas de frecuencias

Las estaciones espaciales que emplean antenas de haz estrecho y elevados valores de p.i.r.e. pueden producir interferencias mutuas si sus ubicaciones son casi antípodas (fig. 2).

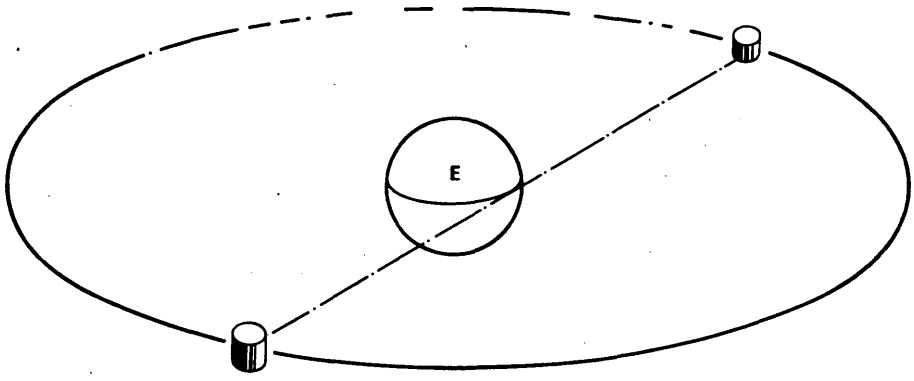


FIGURA 2 — *Geometría de los satélites casi antípodas*

E: Tierra

Para evitar tales interferencias deben adoptarse criterios adecuados de compartición.

El nivel de potencia de interferencia entre estaciones casi antípodas, puede calcularse seguidamente como se expone:

Llamemos g_a a la ganancia de la antena receptora de la estación espacial en la dirección de la línea ecuatorial (esto es, hacia la estación espacial casi antípoda) y e'_s a la p.i.r.e. radiada por la estación espacial casi antípoda en la dirección contraria (o sea, hacia la primera estación espacial). La potencia de la interferencia recibida viene dada por la fórmula:

$$i = \frac{e'_s \, g_a}{l_a} \tag{6}$$

donde l_a es la atenuación en el espacio libre en las antípodas, entre las dos estaciones espaciales;

$$l_a \approx 1{,}27 \, f^2 \times 10^{19} \tag{7}$$

expresada la frecuencia f, en GHz.

En lo que concierne a la potencia de ruido térmico a la entrada del receptor ($n = kT_R \, B$, siendo T_R la temperatura de ruido del sistema receptor y B la anchura de banda efectiva del receptor), se puede suponer que la temperatura de ruido de un sistema depende de la frecuencia. Suponiendo en el vehículo espacial una temperatura de ruido del sistema receptor de 1500 K a 6 GHz, se puede considerar que la temperatura de ruido con otras frecuencias sigue una ley de potencia mitad:

$$T_R(f) = 1500 \, (f/6)^{0{,}5} = 612 \, f^{0{,}5} \qquad \text{K} \tag{8}$$

Además, las características de la señal en el servicio fijo por satélite, indican que quizá fuera adecuada para los cálculos de interferencia una anchura de banda de referencia de 1 MHz. Por consiguiente, se sugiere que e'_s de la ecuación (6) sea la potencia isótropa radiada equivalente (interferente) en una anchura de banda de 1 MHz, y que se normalice también la potencia de ruido térmico en 1 MHz.

Entonces, la relación entre la interferencia y el ruido térmico en una anchura de banda de 1 MHz, puede expresarse:

$$I/N = \frac{e'_s \, g_a}{l_a \, k \, T_R \, B} = \frac{e'_s \, g_a}{1{,}07 \, f^{2{,}5} \times 10^5} \tag{9}$$

Supongamos asimismo que el ruido térmico del enlace ascendente en un sistema de telecomunicaciones espaciales, no pasa de 1/3 del ruido total del sistema y que la interferencia se puede estimar en el 1/20 del ruido interno del sistema. En tal caso, la relación I/N deberá no rebasar el valor 3/20. Por lo tanto, se puede volver a formular la ecuación (9) para establecer una relación entre la p.i.r.e. aceptable, e'_s, en una anchura de banda de 1 MHz, procedente de la estación espacial interferente, y la ganancia de la antena de la estación espacial interferida, ambas en la dirección de la línea ecuatorial terrestre (puntos A o B de la fig. 3):

$$e'_s \, g_a < 1{,}6 \, f^{2{,}5} \times 10^4 \tag{10}$$

La fig. 4 muestra la relación entre e'_s y g_a para diversas bandas de frecuencias de interés.

Donde esas bandas se usen para el enlace descendente y estén compartidas con servicios terrenales, las limitaciones de la densidad del flujo de potencia determinan valores máximos de e'_s, según se indica para las bandas de frecuencias de 4, 6, 12 y 20 GHz. Se pueden utilizar sin riesgo, valores de g_a correspondientes a valores de e'_s mayores que los límites señalados.

Donde las bandas que se usan para el enlace ascendente y se comparten con servicios terrenales, no es necesario que los valores aceptables de e'_s sean inferiores a los de las estaciones transmisoras terrenales. Se indican estos valores para las bandas de frecuencias de 6, 12, 20 y 30 GHz. Es posible utilizar sin riesgos valores de g_a correspondientes a valores de e'_s mayores que los señalados para las transmisiones terrenales.

Es posible que haya que adoptar restricciones en cuanto a e'_s y g_a en las bandas exclusivas, con el objeto de evitar interferencias entre estaciones espaciales casi antípodas.

Debe subrayarse que estas restricciones se refieren sólo a las direcciones hacia los puntos A y B de la fig. 3.

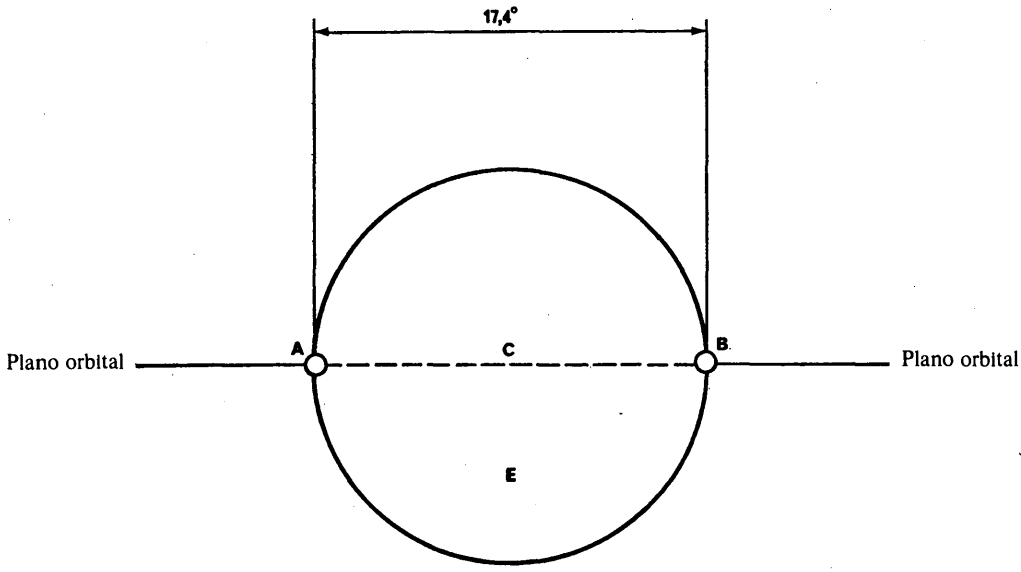


FIGURA 3 — *La Tierra y la órbita de los satélites geoestacionarios vistas desde un satélite geoestacionario*

C: Ecuador
E: Tierra

El Informe 1005 trata el caso particular del funcionamiento restringido con asignación invertida de la banda, utilizando haces puntuales dirigidos desde el borde de la Tierra hacia estaciones terrenas con un ángulo de elevación elevado. Tal disposición ofrecería protección a las estaciones espaciales cuasi-antipoidales.

4. Efectos del uso bidireccional de bandas de frecuencias en otras técnicas para mejorar la utilización de la órbita

Podría recurrirse a la discriminación de polarización o al empleo de antenas de satélite de haz de cobertura restringida para asegurar el aislamiento entre satélites de telecomunicación próximos entre sí que tengan asignadas las mismas bandas de frecuencias. La separación angular mínima entre satélites pudiera reducirse a la mitad con el uso de la discriminación de polarización, y a su tercio o menos, si se emplean antenas de satélite de haz de cobertura restringida o una combinación de ambas técnicas. Sin embargo, las técnicas de reutilización de frecuencias, como la discriminación de polarización, destruyen la homogeneidad del sistema de satélites, lo que puede reducir, e incluso anular, cualquier aumento de la capacidad orbital que pudiera lograrse mediante la explotación de bandas de frecuencias invertidas. Este efecto, es decir, el hecho de que la aplicación de una técnica de economía orbital tienda a anular las ventajas de otra, no se produciría si se empleara la discriminación de polarización o antenas de haz de cobertura restringida para la reutilización de frecuencias en un satélite.

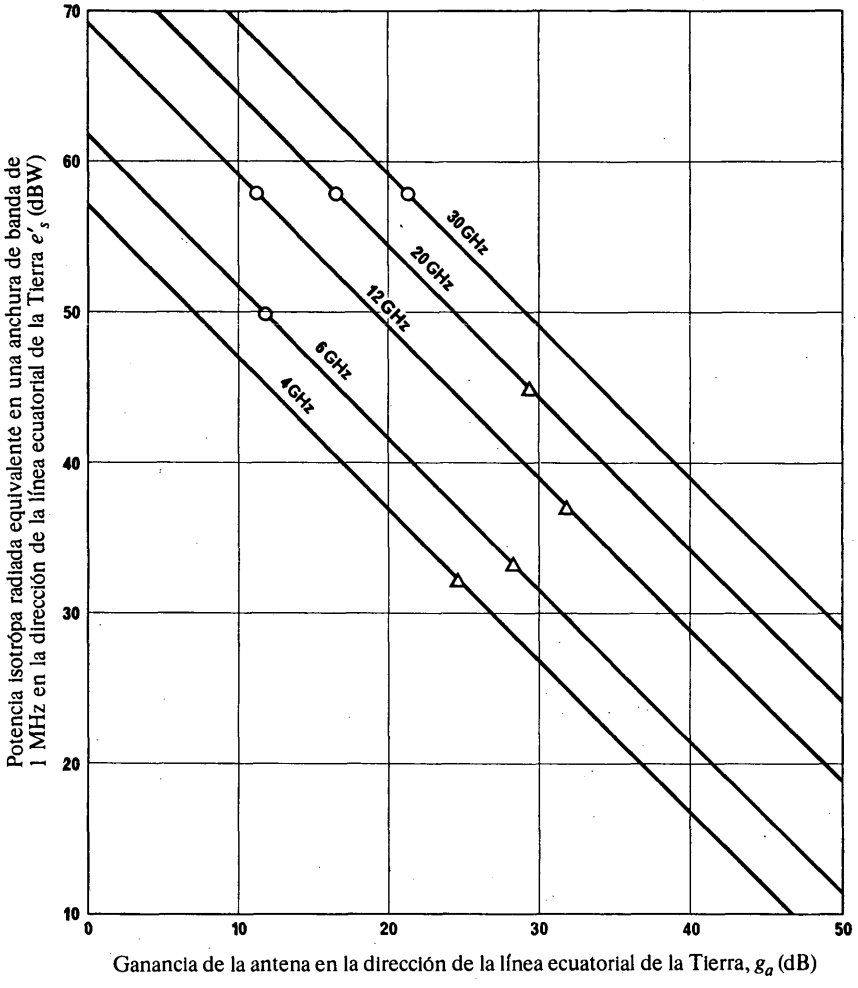


FIGURA 4 — *Relación entre los valores máximos aceptables de e'_s en la dirección de la línea ecuatorial de la Tierra*

○ Transmisiones de estaciones terrenas

△ Límites de la densidad de flujo de potencia

5. Interferencia entre estaciones terrenas con asignaciones invertidas de bandas de frecuencias

La separación física necesaria para limitar la interferencia entre estaciones terrenas que emplean bandas de frecuencias invertidas es uno de los principales problemas del segmento terreno. Cuando no existe factor de pantalla del terreno, se calcula que en un clima templado se necesitaría una separación de unos 100 a 140 km entre estaciones terrenas que utilicen en sentidos opuestos las mismas bandas de frecuencias, para limitar a 1000 pW el ruido provocado por la interferencia en cada circuito telefónico durante la mayor parte del tiempo. Quizá pudiera emplearse una separación inferior si las estaciones terrenas trabajasen con ángulos de elevación grandes, o si el factor de pantalla del terreno fuese elevado. Deberá cuidarse de que no se produzca acoplamiento entre estaciones terrenas a través de volúmenes comunes en el haz principal en la troposfera.

Si se introduce la asignación invertida de bandas de frecuencias, convendrá que las administraciones determinen un sentido de transmisión preferido (es decir, espacio-Tierra, o Tierra-espacio) para cada banda de frecuencias así utilizada. Será entonces particularmente conveniente que las estaciones terrenas a las que se hayan asignado bandas de frecuencias en un sentido que no sea el preferido estén situadas en puntos en los que el factor de pantalla del terreno sea adecuado, a fin de reducir al mínimo las interferencias con estaciones terrenas a las que se hayan asignado bandas de frecuencias en el sentido preferido.

6. Utilización bidireccional de bandas de frecuencias compartidas con servicios terrenales

El funcionamiento de sistemas espaciales con asignaciones invertidas de bandas compartidas con sistemas terrenales entrañará toda una serie de consecuencias que habrá que examinar. En este punto se exponen algunos de los nuevos problemas que se puedan plantear, al emplear los sistemas de satélites de haces globales o puntuales dirigidos cerca del borde de la Tierra. El Informe 1005 sugiere que las dificultades pueden reducirse en cierta medida si los sistemas de satélites que funcionan formando parte de una red doméstica o subregional y sirviendo a estaciones terrenas con elevado ángulo de elevación utilizan haces puntuales dirigidos a cierta distancia del borde de la Tierra.

6.1 *Nuevos problemas para los servicios terrenales*

En las bandas de frecuencias compartidas, los transmisores de las estaciones espaciales causan interferencia en extensas zonas a los receptores de los servicios terrenales a través de las bandas empleadas en el enlace descendente. Esto impone limitaciones a los sistemas terrenales que convendría estuviesen orientados hacia el acimut en que el plano de la órbita de los satélites geoestacionarios corta al plano del horizonte. Además, en las bandas de frecuencias del enlace ascendente, el Reglamento de Radiocomunicaciones fija límites a la p.i.r.e., y a la potencia del transmisor terrenal. De adoptarse la explotación con bandas de frecuencias invertidas en el servicio espacial, los servicios terrenales se verían doblemente perjudicados en todas la bandas compartidas, si bien se reduciría el efecto, si la antena del satélite proporcionase una discriminación adicional.

También sufren interferencia en las bandas del enlace ascendente los receptores terrenales situados cerca de las estaciones terrenas. A fin de limitar esta interferencia, se coordina la explotación de ambos servicios, imponiéndose límites a los servicios terrenales instalados en las cercanías de las estaciones terrenas. Para reducir a un mínimo esta limitación en el aspecto geográfico se recurrirá a menudo a la concentración de varias estaciones terrenas en una misma ubicación. De utilizarse bandas de frecuencias invertidas en el servicio espacial, sería necesario instalar los terminales terrenos en emplazamientos perfectamente separados para limitar la interferencia mutua. Por lo general, esta medida tendría por efecto extender la zona de limitación de los servicios terrenales. Además, en estas zonas las posibilidades de expansión de los sistemas terrenales existentes (mediante, por ejemplo, el empleo de bandas de frecuencias adicionales no utilizadas por el servicio espacial para los trayectos ascendentes) podrían reducirse considerablemente.

Finalmente, parece que la atribución de ruido debido a la interferencia causada por los sistemas espaciales a un sistema terrenal tendría que dividirse entre la interferencia debida a los transmisores de satélite y la provocada por los de estaciones terrenas, expresándolo en niveles de interferencia y en porcentajes de tiempo en que pueden admitirse estos niveles. Esto llevaría a una mayor limitación de los sistemas terrenales en las cercanías de las estaciones terrenas, o a criterios de compartición más restrictivos. No obstante, el Informe 1005 estudia este aspecto más detalladamente.

6.2 *Nuevos problemas para los servicios espaciales*

El § 5 se refiere a los problemas de interferencia entre estaciones terrenas que utilizan bandas de frecuencias en sentidos opuestos. En el caso de las bandas compartidas, el problema es más difícil, pues se trata de encontrar ubicaciones para las estaciones terrenas en que no sea excesiva la interferencia debida a los servicios terrenales existentes junto con la proveniente de los transmisores de las estaciones terrenas y de las estaciones espaciales, aspecto mencionado en el § 6.1, y es posible que se precisara reducir la densidad máxima admisible de flujo de potencia de las estaciones espaciales. Esto puede tener un impacto económico sobre los futuros sistemas. Sin embargo, el Informe 1005 proporciona unos factores de compensación que pueden reducir en cierta medida estas dificultades en sistemas de satélites nacionales y subregionales que utilizan haces puntuales dirigidos a alguna distancia del borde de la Tierra y dando servicio, de esta forma, a estaciones terrenas con elevado ángulo de elevación.

6.3 *Repercusiones totales en la utilización del espectro*

Es posible que la mejora que se prevé en la utilización del espectro mediante esta técnica para el servicio espacial, quede anulada al disminuir el valor del espectro para el servicio terrenal. Deberá estudiarse minuciosamente este punto.

7. Conclusiones

La utilización bidireccional de las frecuencias para los enlaces ascendente y descendente en el servicio fijo por satélite, puede contribuir a mejorar la utilización del espectro radioeléctrico y de la órbita de los satélites geoestacionarios. Sin embargo, para mantener dentro de límites tolerables la interferencia producida por estaciones espaciales casi antípodas, es posible que haya que imponer restricciones a la densidad de la potencia isótropa radiada equivalente o a la ganancia de las antenas, e incluso a ambas, en las direcciones hacia la órbita de satélites geoestacionarios en las que la Tierra no forme pantalla.

En las bandas de frecuencias en las que se hayan impuesto a las transmisiones de las estaciones espaciales límites de densidad de flujo de potencia, las estaciones espaciales con asignaciones de frecuencias invertidas podrán utilizar altos valores de ganancia de las antenas receptoras en direcciones antípodas, sin experimentar interferencia inadmisible. En las bandas de frecuencias en que los receptores de las estaciones espaciales están expuestos a interferencia de transmisiones de estaciones terrenales que comparten las frecuencias, no se podrán tener elevadas ganancias de la antena del receptor espacial en la dirección de las antípodas, pero las transmisiones de estaciones espaciales con asignaciones de frecuencias invertidas en direcciones antípodas, podrán tener valores importantes de p.i.r.e.

Sin embargo, existen otras técnicas valiosas para una utilización más provechosa del espectro y de la órbita, como la reducción de la respuesta de los lóbulos laterales en las antenas de estaciones terrenas, la discriminación por polarización y la utilización de la discriminación direccional en antenas de satélite. Su aplicación puede disminuir la ventaja adicional que podría obtenerse empleando las mismas bandas de frecuencias para los enlaces ascendente y descendente.

Además, en bandas de frecuencias compartidas con servicios terrenales, el empleo de las mismas bandas de frecuencias para los enlaces ascendente y descendente sería desventajoso para los dos servicios, en particular:

- los servicios terrenales tendrían limitadas sus p.i.r.e. y potencia de transmisión en bandas que de otro modo no se utilizarían para enlaces ascendentes de satélites de telecomunicación;
- los servicios terrenales podrían sufrir interferencias causadas por las emisiones de los satélites en bandas que, de lo contrario, no se utilizarían para enlaces ascendentes de satélites de telecomunicación;
- es probable que se limite gravemente el desarrollo y la expansión de los servicios terrenales cerca de las estaciones terrenas;
- pudiera ser necesaria una mayor severidad en los criterios de compartición, en vista de los modos adicionales de interferencia, a menos que puedan tenerse en cuenta los diversos criterios en cuanto a calidad y disponibilidad según los diferentes porcentajes de tiempo y los efectos de propagación correspondientes a esos porcentajes de tiempo.

Sin embargo, el Informe 1005 señala que todas estas dificultades pueden solventarse en algunas circunstancias si se adoptase un funcionamiento con asignaciones invertidas de las bandas fundamentalmente en los sistemas de satélites que forman parte de redes domésticas o subregionales y sirven a estaciones terrenas con elevado ángulo de elevación y, por tanto, aptas para el uso de haces puntuales dirigidos a cierta distancia, aproximadamente el valor de una anchura del haz, del borde de la Tierra.

También puede ser necesario modificar los márgenes de interferencia existentes entre las redes del SFS para tener en cuenta las nuevas fuentes de interferencia debidas al funcionamiento con asignación invertida de la banda: la interferencia entre satélites en ubicaciones orbitales cercanas, entre estaciones terrenas cercanas y entre satélites antipodales.

En conclusión, la utilización de las mismas bandas de frecuencias para los enlaces ascendente y descendente puede conducir a una utilización más eficaz de la órbita y pudiera ser de particular interés en bandas atribuidas exclusivamente a servicios de radiocomunicación por satélite. Sin embargo, se requieren mayores estudios de todos estos problemas.

INFORME 999*

DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE COORDINACIÓN BIDIRECCIONAL

(Programa de Estudios 28B/4)

(1986)

1. Introducción

En las bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite (SFS) en los sentidos Tierra-espacio y espacio-Tierra, las emisiones procedentes de las estaciones terrenas transmisoras pueden causar interferencia a las estaciones terrenas receptoras que funcionan en las mismas frecuencias. Por lo tanto, es necesario coordinar las estaciones transmisoras y receptoras entre sí, del mismo modo que la coordinción se efectúa entre las estaciones terrenas y terrenales en las bandas de frecuencia compartidas por el servicio fijo y el SFS.

A fin de reducir al mínimo las medidas administrativas necesarias para la coordinación de las estaciones terrenas, conviene ofrecer un método sencillo para establecer, en un caso determinado, si la probabilidad de interferencia potencial es lo suficientemente baja como para hacer innecesarias ulteriores consultas detalladas y engorrosas entre las administraciones.

---

* Este Informe debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 2, 5, 8, 9, 10 y 11.

El nivel de interferencia producido en una estación terrena receptora por emisiones de una estación terrena transmisora depende, entre otras cosas, de la distancia física entre ambas estaciones y disminuye al aumentar ésta. Esto indica que el concepto de zona de coordinación expuesto en el Informe 382 puede ser adecuado con vistas a establecer, para un tipo de estación terrena, una zona geográfica tal que una estación terrena de otro tipo, situada real o potencialmente fuera de esta zona, no producirá previsiblemente una interferencia inadmisible en la estación terrena receptora.

A continuación se describe un método para determinar la zona de coordinación de una estación terrena transmisora del SFS frente a estaciones terrenas receptoras del mismo servicio en las bandas de frecuencia atribuidas con carácter bidireccional. Esta zona de coordinación se denomina «zona de coordinación bidireccional», para distinguirla de la aplicable a los servicios terrenales que se describe en el Informe 382. Como gran parte de la información recogida en el Informe 382 será también válida para la determinación de la zona de coordinación bidireccional, el método que aquí se describe contiene solamente los elementos que lo diferencian del Informe 382.

2. Consideraciones generales

En los siguientes puntos se describe un método para determinar la zona de coordinación bidireccional de una estación terrena que transmita en una banda de frecuencias atribuida en ambos sentidos Tierra-espacio y espacio-Tierra; dicho método determinará si es necesaria o no la coordinación con una estación terrena receptora.

El procedimiento es aplicable a las estaciones terrenas que funcionan con satélites geoestacionarios del SFS, y se emplean los mismos conceptos básicos para la determinación de la zona de coordinación que en el Informe 382. Sin embargo, el método difiere en ciertos aspectos que se examinan a continuación.

El presente Informe debe utilizarse en conexión con el Informe 382, al que modifica en determinados aspectos.

Concretamente, cuando se determina la zona de coordinación bidireccional, el Informe 382 es el texto básico al que ha de hacerse referencia, pero deben sustituirse en él los siguientes puntos por los correspondientes del presente Informe:

Punto del Informe 999	que sustituye al	Punto del Informe 382
Punto 3		Punto 2.3
Punto 4		Definición de G_r en el punto 2.2
Punto 5		Punto 4.2.4

3. Determinación de la potencia interferente máxima admisible $P_r(p)$

El objetivo de la zona de coordinación es identificar las condiciones en que puede producirse interferencia inadmisible en una estación terrena receptora. En una estación terrena es probable que exista una interferencia inadmisible cuando el incremento de la temperatura de ruido ΔT, debido a las emisiones procedentes de una estación terrena transmisora, excede de los valores:

$$\Delta T_1 = 0{,}05\ T_e\ (\text{ó}\ 0{,}02\ T_e)^*\quad \text{K}\quad \text{durante más del } p = 20\% \text{ del tiempo.} \qquad (1a)$$

$$\Delta T_2 = T_e\,(10^{M/10} - 1)\quad \text{K}\quad \text{durante más del } p = 0{,}005\% \text{ del tiempo.} \qquad (1b)$$

en la anchura de banda de referencia B;

siendo:

T_e: la temperatura de ruido de la estación terrena (cielo despejado) (K)

M: el margen del enlace descendente (dB).

El cuadro I muestra los valores adecuados de T_e, M y B para diversas gamas de frecuencia, así como los valores resultantes de ΔT_1 y ΔT_2.

* El valor entre paréntesis corresponde a transmisiones SCPC.

CUADRO I – *Características del sistema receptor* *

	Gama de frecuencias (GHz)		
	0,6-7,25	7,25-14,8	14,8-40,0
T_e (K)	100 (150)	130 (185)	160 (240)
M (dB)	2,0	5,0	10,0
B (MHz)	1,0 (0,04)	1,0 (0,04)	1,0 (0,04)
ΔT_1 (K)	5,0 (3,0)	6,5 (3,7)	8 (4,8)
ΔT_2 (K)	58 (87)	280 (420)	1400 (2100)

* Los valores dados entre paréntesis son representativos de las transmisiones SCPC. Sería normalmente apropiado utilizar los valores que no figuran en aquéllos para determinar la zona de coordinación. No obstante, puede determinarse una zona de coordinación independiente para las transmisiones de banda estrecha (SCPC), utilizando los valores que figuran entre paréntesis. Una estación terrena receptora situada en el interior de la zona SCPC, pero fuera de la zona normal (más reducida), sólo requerirá coordinación en caso de que tenga que recibir transmisiones SCPC, y sólo así para las frecuencias afectadas.

Los valores un tanto elevados de ΔT_2 que indica el cuadro I para las frecuencias superiores, se consideran razonables en el supuesto de que, cuando las estaciones terrenas receptoras no tengan, como mínimo, estos márgenes del enlace descendente tendrán que utilizar recepción por diversidad para combatir la interferencia de la misma manera que la atenuación atmosférica.

Por lo tanto, la interferencia máxima admisible se calcula a partir de los datos del cuadro I mediante la siguiente ecuación:

$$P_r(p) = 10 \log [k\Delta T(p)B] \qquad \text{dB(W/MHz)} \qquad (2)$$

que da lugar a valores para el caso de una sola fuente que figuran en el cuadro II.

CUADRO II – *Valores máximos admisibles de $P_r(p)$* *

	Gama de frecuencias (GHz)		
	0,6-7,25	7,25-14,8	14,8-40,0
p = 20% p = 0,005%	−161,6 (−177,8) −151,0 (−163,2)	−160,5 (−176,9) −144,1 (−156,3)	−159,6 (−175,8) −137,1 (−149,3)
B (MHz)	1,0 (0,04)	1,0 (0,04)	1,0 (0,04)

* Los valores entre paréntesis corresponden a transmisiones SCPC.

Adviértase que si estos valores se utilizan junto con las ecuaciones (1), (2), (11) y (18) del Informe 382, los valores utilizados de P_t, deben ser los correspondientes a la misma anchura de banda de referencia B.

El término $M(p)$ se obtiene con los valores para $P_r(p)$ del cuadro II:

$$M(p) = P_r(0{,}005\%) - P_r(20\%) \qquad \text{dB} \qquad (3)$$

4. Determinación de G_r para el modo de propagación (1)

La determinación de la ganancia de antena, G_r, de la estación terrena receptora, que en este Informe sustituye a la estación receptora terrenal del Informe 382*, parte del reconocimiento de dos hechos:

a) el haz principal no está dirigido hacia el horizonte físico, sino hacia un satélite con cierto ángulo de elevación, quizás grande,

b) su dirección está limitada por la posible ubicación de los satélites geoestacionarios.

Por ejemplo, a la vista del apartado b), las ganancias de las antenas en la dirección del horizonte de sendas estaciones terrenas transmisora y receptora no se supondrán, generalmente, con sus valores máximos en la dirección mutua en un trayecto de círculo máximo. En realidad, en el azimut al que corresponde la ganancia máxima de una antena en la dirección del horizonte, la otra, normalmente, la «mirará hacia atrás» desde sus lóbulos laterales extremos (−10 dB). Las estaciones terrenas situadas cerca del ecuador pueden constituir una excepción.

Gracias a esta diferencia en la aparición de las ganancias máximas de las antenas de dos estaciones terrenas en la dirección del horizonte, los contornos de coordinación pueden ser mucho más reducidos que si se adoptase para una antena de estación terrena receptora una ganancia máxima en todas las direcciones del horizonte.

Por lo tanto, para determinar G_r sin conocer la ubicación de la estación terrena receptora, se utiliza el procedimiento descrito en el anexo I al Informe 382 que, en cualquier caso, se emplea también para determinar la ganancia de la antena de la estación terrena transmisora en la dirección del horizonte, $G_{t'}$, para la que se determina la zona de coordinación bidireccional. Obsérvese que conviene utilizar los diagramas de referencia de antena pertinentes adoptados para estaciones terrenas.

Como de antemano no se sabe hacia qué punto de la órbita se orientará el haz de la antena de una estación terrena receptora, la ganancia de la antena en la dirección del horizonte debe determinarse para todo el arco de la órbita de los satélites geoestacionarios. A tal efecto se utiliza el procedimiento del anexo I al Informe 382 en los siguientes casos:

- para un arco orbital que refleje la latitud de la estación terrena transmisora,
- para un ángulo de elevación sobre el horizonte de 0°,
- para ángulos de elevación de mínimo a mínimo; que será razonablemente:

$\varepsilon_{mín}$ = 3° para $0{,}6 \leqslant f < 7{,}25$ GHz
= 5° para $7{,}25 \leqslant f < 14{,}8$ GHz
= 10° para $14{,}8 \leqslant f \leqslant 40{,}0$ GHz

Se obtiene así el perfil de la ganancia de antena en la dirección de un horizonte de cero grados, para todos los azimuts y para una ubicación que tengan la misma latitud que la estación terrena transmisora. El procedimiento implica la fase intermedia que consiste en determinar la mínima separación angular entre todas las direcciones hacia la órbita de los satélites geoestacionarios visible y el horizonte, para un ángulo de elevación de 0°. En las figs. 1, 2 y 3 se representan las curvas resultantes del ángulo de discriminación horizontal, θ, en función del azimut, α, y del azimut «inverso», α, tomando como parámetro la latitud, λ, de la estación. Puede trazarse entonces una curva de la ganancia de la antena en dirección del horizonte, en función de α y α', utilizando el diagrama de referencia en vigor de la antena de la estación terrena**. En la fig. 4 se da un ejemplo de la ganancia de la antena en la dirección del horizonte G_r, en función de α y α', para $\lambda = 40°$, y un diagrama de referencia de la antena de la estación terrena que se ajusta a $G(\theta) = 32 - 25 \log \theta$ (dB).

La hipótesis de un ángulo de elevación del horizonte de 0° es conservadora, pues el aumento de la ganancia de antena debido a una elevación del horizonte quedaría, en la práctica, compensado con creces por un apantallamiento del emplazamiento real que, para el de la antena receptora, debe suponerse igual a cero. La inclusión de la latitud del emplazamiento de la antena transmisora para determinar el perfil de la antena receptora en la dirección del horizonte da lugar a un pequeño error azimutal que se hace máximo para latitudes elevadas y sobre trayectos de interferencia largos sobre el agua; en la práctica, este error nunca será superior a una pérdida de transmisión de 2 dB y puede despreciarse.

---

* Como G_r en la ecuación (2) y como la suma $42 + \Delta G$(dB) en la ecuación (11) del Informe 382.

** Para los diagramas de referencia de la antena de la estación terrena en función de D/λ, tal vez sea necesario elegir un valor de D/λ que ofrezca una protección suficiente de las estaciones terrenas que probablemente se instalen.

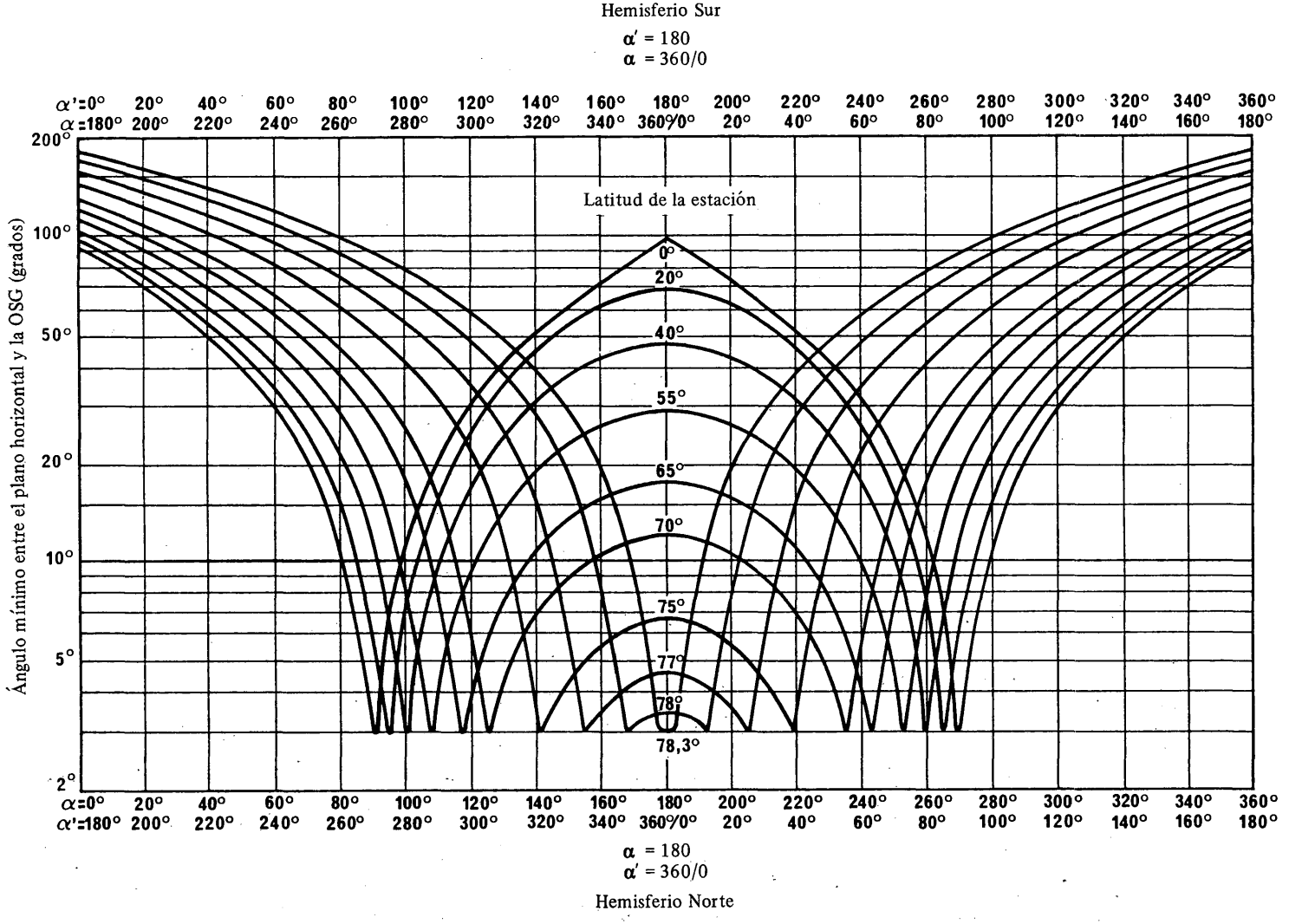


FIGURA 1 – *Distancia angular mínima entre puntos de la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG) y el plano horizontal*

(Ángulo mínimo de elevación, $\epsilon_{mín}$ = 3°)

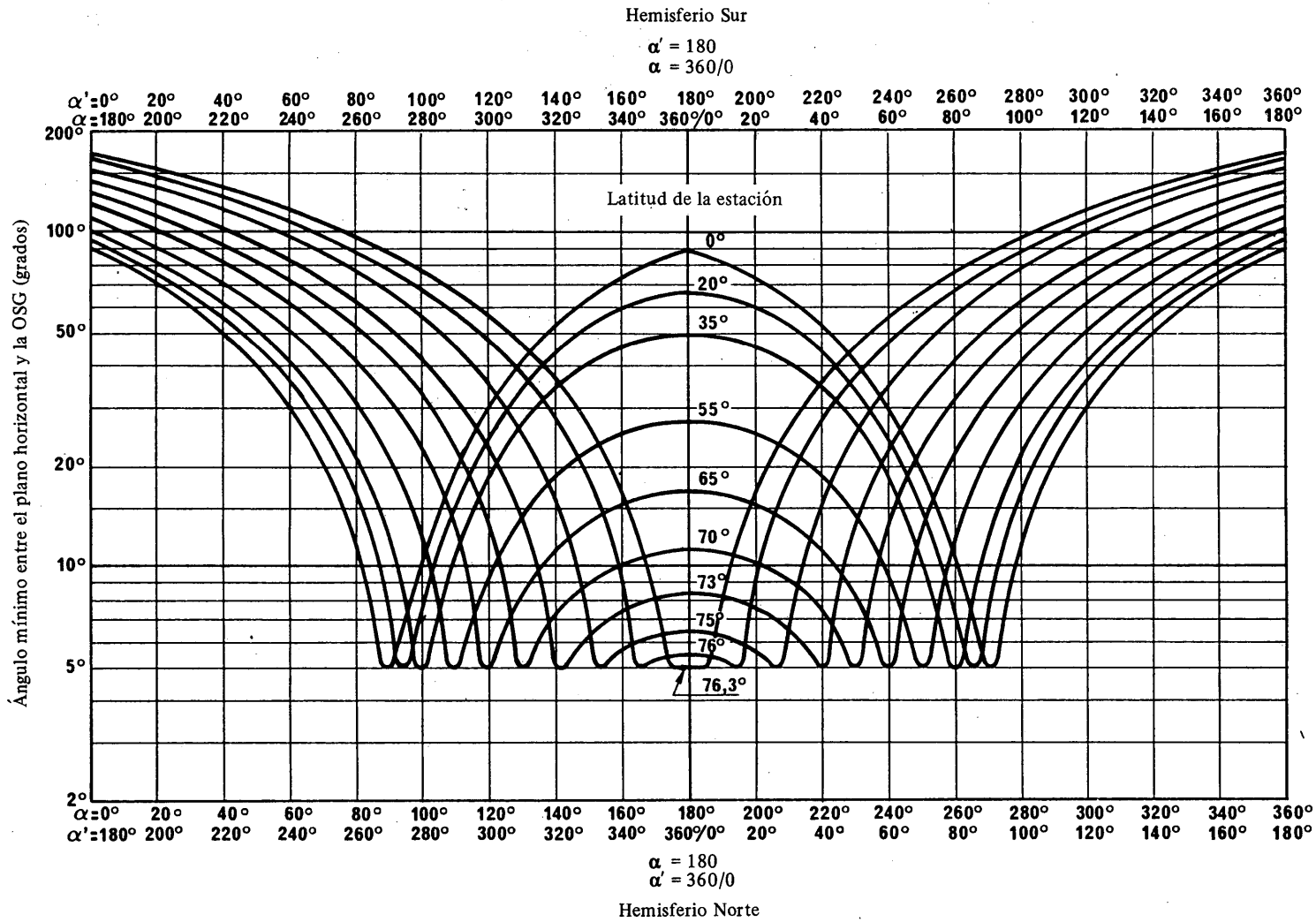


FIGURA 2 – *Distancia angular mínima entre puntos de la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG) y el plano horizontal*

(Ángulo mínimo de elevación, $\epsilon_{mín} = 5°$)

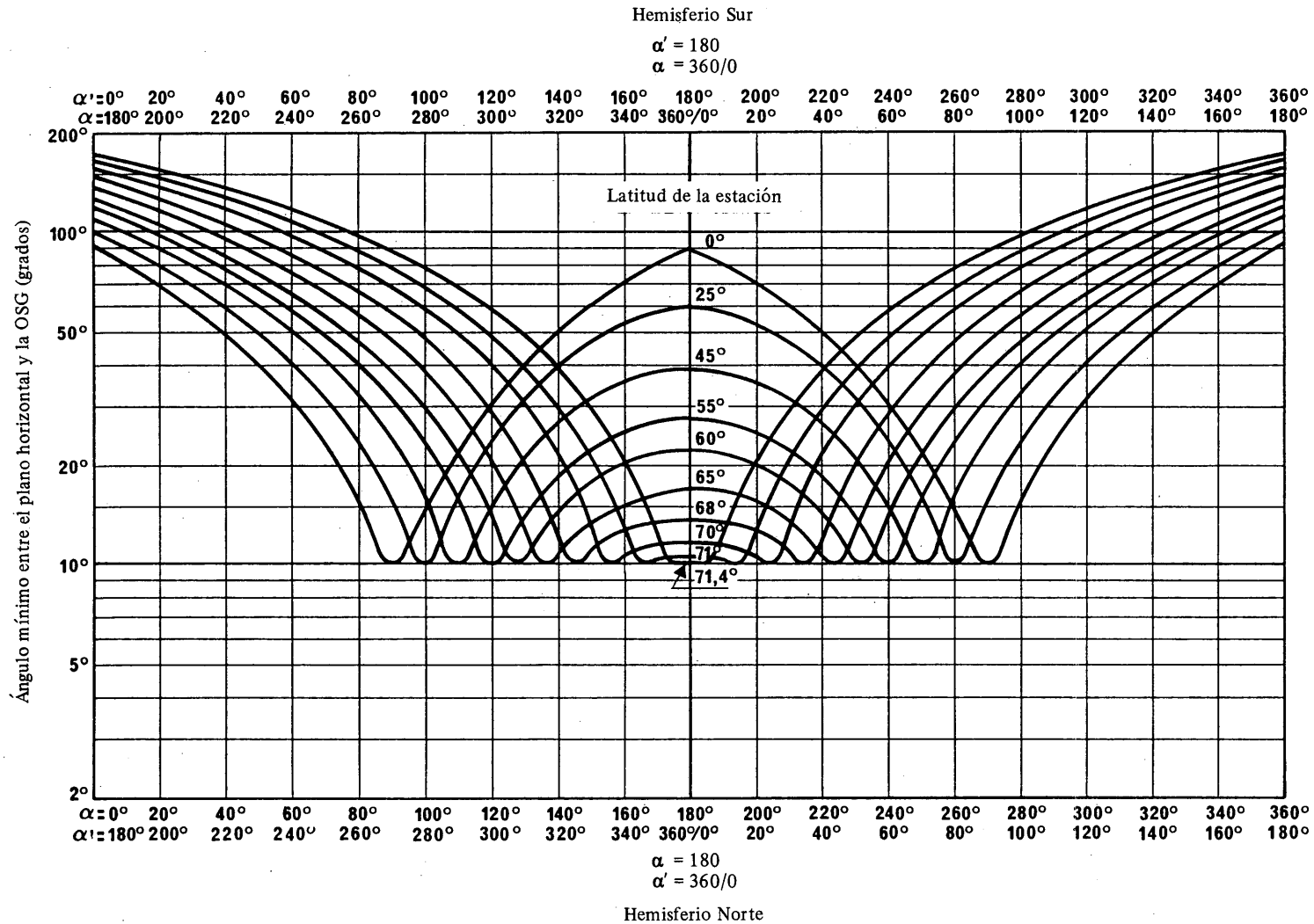


FIGURA 3 – *Distancia angular mínima entre puntos de la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG) y el plano horizontal*

(Ángulo mínimo de elevación, $\epsilon_{mín}$ = 10°)

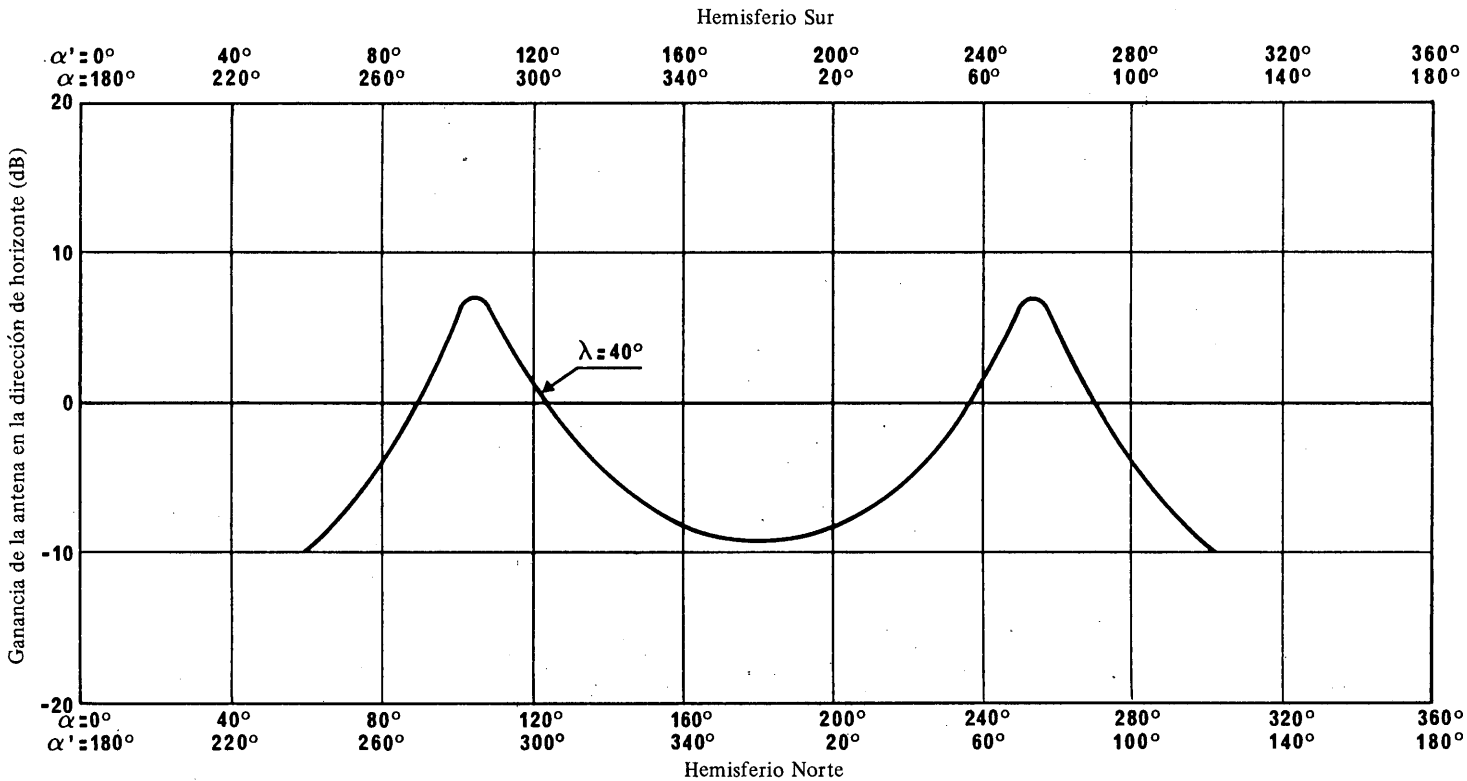


FIGURA 4 – *Ganancia de la antena en la dirección del horizonte para todo el arco y un ángulo de elevación del horizonte de 0°*

(Ángulo mínimo de elevación del haz principal: 10°)

Se supone que los diagramas de referencia de la antena de la estación terrena satisfacen la relación siguiente: $G(\theta) = 32 - 25 \log \theta$ (dB).

$\alpha' = (\alpha + 180°)$ módulo $(360°)$

Tras determinar en la forma descrita los perfiles de ganancia de las antenas transmisora y receptora en la dirección del horizonte, han de sumarse tal como se indica en las ecuaciones (2) y (11) del Informe 382, para cada azimut de la estación terrena transmisora. No obstante, un azimut dado de una estación terrena transmisora corresponde al azimut «inverso» u opuesto de la estación terrena receptora. Por tanto, el valor de $G_{t'}$ determinado para el azimut α de la estación terrena transmisora, debe sumarse al valor G_r obtenido para el azimut $\alpha' = (\alpha + 180°)$ módulo 360°, en el perfil de la ganancia de antena de la estación terrena receptora en la dirección del horizonte. La función, A, módulo B, se define como:

$$\text{A módulo B} = \text{A} - \text{B (parte entera de A/B)} \tag{4}$$

por ejemplo:

α = 192°

A = α + 180° = 372°

B = 360°

parte entera de A/B = 1,0

A módulo B = 12° = α'

Así pues, la suma de $G_{t'} + G_r$ necesaria para calcular $L_b(p)$ en las ecuaciones (2) y (11) del Informe 382 para todos los ángulos azimutales de una estación terrena transmisora en esta aplicación, viene dada por:

$$G_{t'} + G_r = G_{t'}(\alpha) + G_r(\alpha') \quad \text{dB} \tag{5}$$

para cada azimut α de una estación terrena transmisora.

Obsérvese que, si bien no puede suponerse ningún apantallamiento de la ubicación de la estación terrena receptora, el apantallamiento que pueda existir en la ubicación de la estación terrena transmisora se considera de la forma normal, con arreglo al § 3.2 del Informe 382, usando el ángulo de elevación del horizonte θ.

Por último, para determinar el contorno de coordinación en el modo de propagación (1), se utilizarán los valores de $P_r(p)$ para el 0,005% del tiempo tomados del cuadro II de este Informe.

La fig. 5 ofrece un ejemplo de zona de coordinación determinada por este método. La fig. 6 muestra la suma de las ganancias de antena $G_{t'} + G_r$ de este ejemplo, en el que las dos antenas tienen el diagrama de referencia 32 − 25 log θ (dB).

5. Determinación de la zona bidireccional en el caso de dispersión por la lluvia

Para determinar la zona bidireccional de una estación terrena transmisora en el caso de dispersión por la lluvia, se procede de la siguiente manera:

Paso 1: Se determinan a partir de la fig. 24 del Informe 382, y para la latitud λ de la estación terrena, los ángulos de elevación, ε_s, y de azimut α_s, del satélite con el que trabajará la estación terrena.

Paso 2: Se determina la «distancia de intersección del haz», d_s, desde la estación terrena al punto en el que el eje del haz alcanza la máxima altitud, h_R, de marcación de la lluvia, a partir de:

$$d_s = \frac{2h_R}{\sqrt{\text{tg}^2\,\varepsilon_s + h_R/4250} + \text{tg}\,\varepsilon_s} \quad \text{km} \tag{6}$$

donde

$$h_R = 5{,}1 \cos(1{,}06\,\lambda) \quad \text{km} \tag{7}$$

Paso 3: Se marca sobre un mapa a escala del orden de 1:3 000 000 la distancia d_s, en el azimut α_s, a partir de la ubicación de la estación terrena. Este punto indica la ubicación geográfica del punto de intersección del haz y constituye el punto de referencia en torno al cual hay que formar el contorno de dispersión por la lluvia.

Paso 4: Se determina la distancia máxima de visibilidad, $d_{máx}$, para el punto de intersección del haz, a partir de:

$$d_{máx} = 130{,}4\sqrt{h_R} \quad \text{km} \tag{8}$$

y el azimut de referencia, α_r, a partir de:

$$\alpha_r = \cos^{-1}(0{,}153031\,\text{tg}\,\lambda) \tag{9}$$

donde λ es la latitud del punto de intersección del haz (aproximadamente igual a la de la estación terrenal).

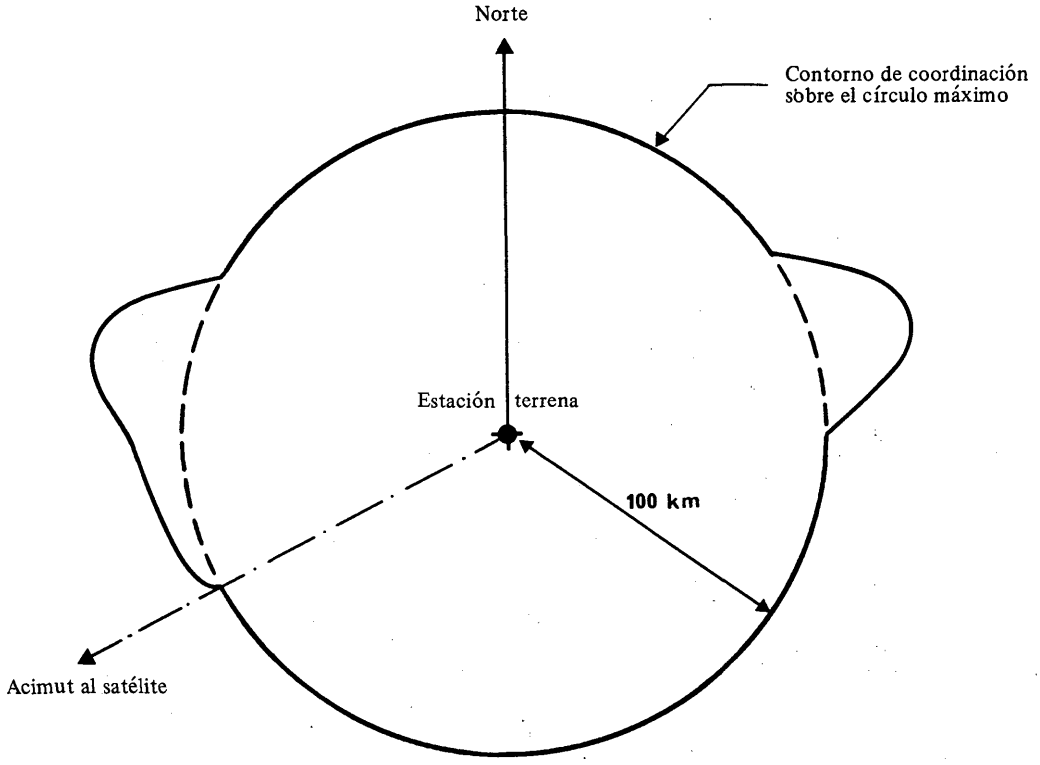


FIGURA 5 – *Ejemplo de zona de coordinación bidireccional sobre el círculo máximo*

Hipótesis:
f = 18 GHz
$P_{t'}$ = 40 dB(W/MHz)
λ = 40° N
Ángulo de elevación hacia el satélite: 20°
Acimut al satélite: 243,3°
Zona radioclimática: A_2 (Informe 382)
Ángulo de elevación del horizonte: θ = 0°

Resultado:
$L_b(p)$ = 177,1 + $G_{t'}$ + G_r dB (cuadro II de este Informe y ecuación (2) del Informe 382)
G_r (en lugar de 42 + ΔG dB) (fig. 4 de este Informe y ecuaciones (2) y (11) del Informe 382)
$G_{t'}$ + G_r (en lugar de $G_{t'}$ + 42 + ΔG dB) (fig. 6 de este Informe y ecuaciones (2) y (11) del Informe 382)
β_z = 0,1754 dB/km (ecuación (7b) del Informe 382)
β_o = 0,0081 dB/km (ecuación (8) del Informe 382)
β_v = 0,0298 (ecuación (9) del Informe 382)
A_h = 0 dB (θ = 0°) (ecuación (10) del Informe 382)
$M(p)$ = 22,5 dB (ecuación (3) de este Informe)
$p_x = p$ = 0,005% (por prueba *) (cuadro II de este Informe y ecuaciones (6) y (11) del Informe 382)
$L_1(p_x) = L_m(p_x) = L_b(p)$ (ecuaciones (12) y (13) del Informe 382)
d_1 = $(G_{t'} + G_r + 32)/0{,}223$ km (ecuaciones (6) y (11) del Informe 382)

* Aplicando el procedimiento que figura en la nota al final del § 3.2.2 del Informe 382.

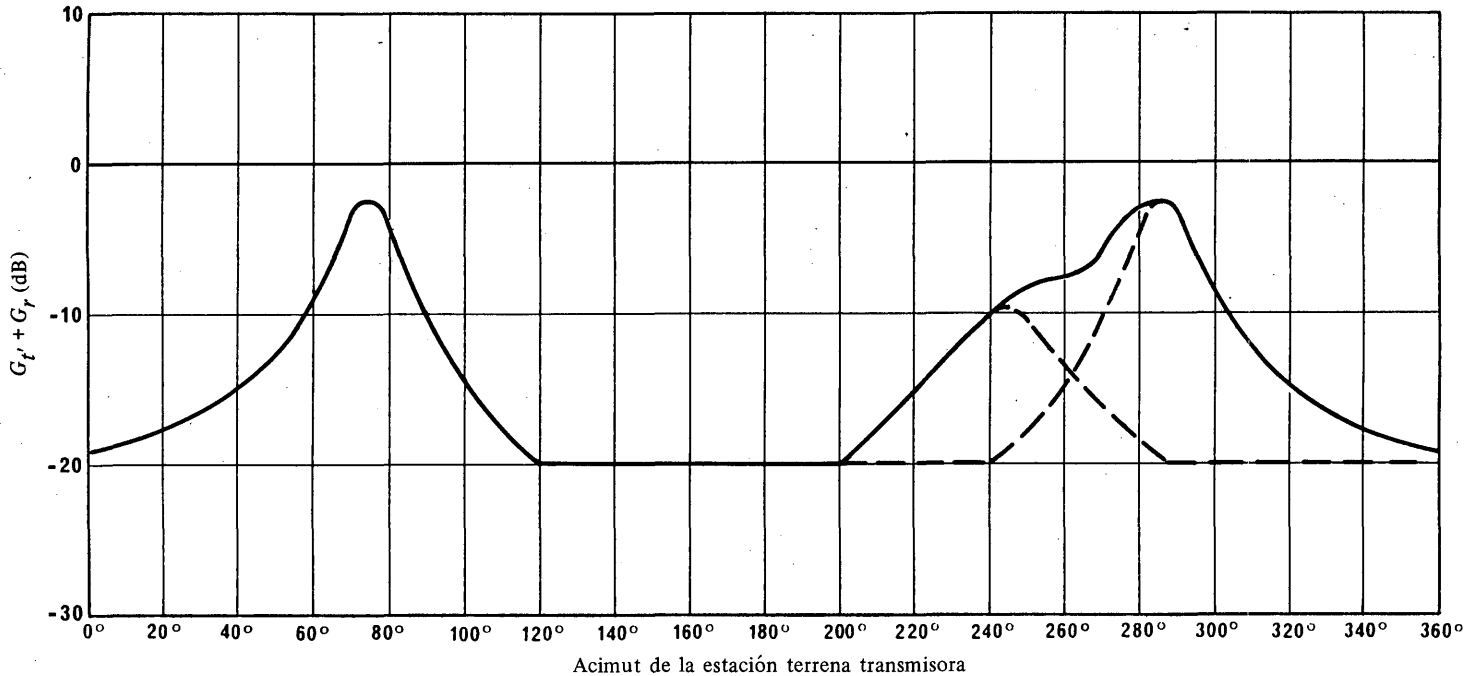


FIGURA 6 – *Ganancia compuesta de la antena en la dirección del horizonte ($G_{t'} + G_r$) para el ejemplo de la fig. 5*

Paso 5: A partir del punto de intersección del haz, se marca sobre el mapa la distancia $d_{máx}$ en:
- el hemisferio Norte, sobre los dos azimutes α_r y $360° - \alpha_r$;
- el hemisferio Sur, sobre los dos azimutes $180° - \alpha_r$ y $180° + \alpha_r$.

Para determinar el ángulo requerido de discriminación del haz, δ, de la antena de la estación terrena receptora se procede de la siguiente manera:

Paso 6: Trácese, de ser necesario, por interpolación lineal, en la figura apropiada de las figs. 12 a 21 del Informe 382, una curva de distribución de pérdida que corresponda lo más exactamente posible a la distancia $d_{máx}$; esta curva se denominará L_d. La curva L_d sólo hay que trazarla para los valores de p_x superiores a 0,005% en la escala de abscisas correspondiente a la zona hidrometeorológica aplicable.

Determínese la distribución de criterios $L_2(p_x)$ como indica el § 4.1 del Informe 382, utilizando $p = 0{,}005\%$, $\Delta G = -10$ dB y:

$$M(p) = M_0 = P_r(0{,}005\%) - P_r(20\%) \qquad \text{dB} \tag{10}$$

obtenido con los valores apropiados que se indican en el cuadro II, y trácese la curva $L_2(p_x)$, en el mismo gráfico en el que se ha trazado L_d, utilizando la escala de abscisas (p) para la zona hidrometeorológica de que se trate. La curva resultante para $L_2(p_x)$ se extiende desde el borde derecho del gráfico hasta el izquierdo y hacia arriba, y finaliza en un punto superior a $p = 0{,}005\%$ en la escala de abscisas apropiada.

Paso 7: Si toda la curva $L_2(p_x)$ está por encima de la curva L_d, el ángulo de discriminación δ (véase más adelante) para la antena de la estación terrena receptora es pequeño y puede suponerse que equivale a 1°; pásese directamente a la operación descrita en el paso 10. De no ser así, continúese el método como se indica a continuación.

Paso 8: Si la curva $L_2(p_x)$ cruza la curva L_d, o se halla íntegramente por debajo de ella, determínese la diferencia vertical máxima en dB, $Máx\,[L_2(p_x) - L_d]$, entre las dos curvas (un valor en dB positivo), por lectura de la escala de ordenadas. El valor $Máx\,[L_2(p_x) - L_2]$ es la diferencia en dB entre las dos curvas sea para $p = 0{,}005\%$, sea para el de p_x (en la escala de abscisas aplicable) para que las dos tengan la misma pendiente (véase el ejemplo de la fig. 8).

Paso 9: El valor de $Máx\,[L_2(p_x) - L_d]$ representa la deficiencia ΔL de aislamiento requerida, que tiene que compensar la discriminación de la antena de la estación terrena receptora con relación a la ganancia a 1° del eje de puntería:

$$\Delta L = Máx\,[L_2(p_x) - L_d] \qquad \text{dB} \tag{11}$$

Cuando ΔL sea cero o tenga valor negativo, el ángulo de discriminación (véase más adelante) equivaldrá a 1°; sígase directamente con el paso 10.

Cuando ΔL tenga valor positivo, calcúlese:

$$\delta = 10^{\Delta L/25} \qquad \text{grados} \tag{12}$$

que es el ángulo requerido de discriminación a la distancia máxima, que ha de utilizarse en el paso 10.

Las ecuaciones (11) y (12) mencionadas más arriba son apropiadas para el diagrama de radiación de referencia $G(\theta) = 32 - 25 \log \theta$ (dB) que se supone que tiene la estación terrena receptora.

Paso 10: Partiendo de las dos marcas de distancia máxima del paso 5, se trazan en el mapa arcos equidistantes de anchura δ en sentidos levógiro y dextrógiro, medidos desde el punto de penetración del haz. Estos dos arcos, cada uno de los cuales tiene una anchura total de 2δ, son los primeros límites de la zona bidireccional en el caso de dispersión debida a la lluvia.

Paso 11: Se marca un círculo de 100 km de radio alrededor del punto de penetración del haz y se trazan líneas rectas que partiendo de los extremos Norte de los dos arcos 2δ, sean tangentes al borde septentrional del círculo de 100 km de radio*, y que partiendo de los extremos Sur de los dos arcos 2δ, sean tangentes al borde meridional del círculo de 100 km de radio.

---

* Se pide a las administraciones que examinen si los 100 km constituirían en todas las situaciones prácticas probables un supuesto suficientemente prudente.

Toda la zona comprendida entre los arcos 2δ, las cuatro líneas rectas y las secciones* del círculo de 100 km de radio entre los dos puntos de tangencia septentrional y meridional con las líneas rectas, constituye la zona de coordinación bidireccional de dispersión por la lluvia.

Las figs. 7 y 8 ilustran la construcción de la zona bidireccional de dispersión por la lluvia**.

6. Relación con otros textos del CCIR

El método descrito en este Informe completa el del Informe 382 y las enmiendas a uno de ellos pueden requerir enmiendas correspondientes en el otro. Otros textos pertinentes del CCIR son los Informes 569 y 724 de la Comisión de Estudio 5.

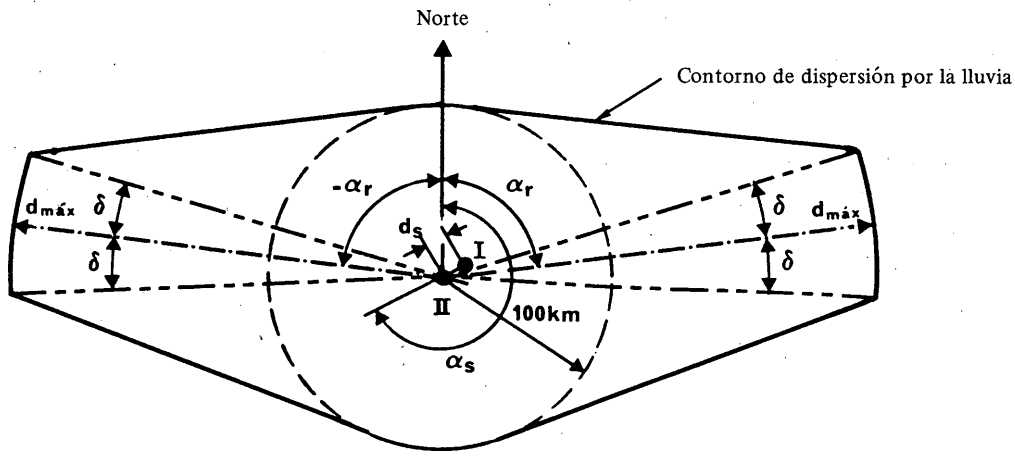


FIGURA 7 – *Ejemplo de zona de coordinación bidireccional en el caso de dispersión por la lluvia*

I: Ubicación de la estación terrena transmisora
II: Ubicación del punto de penetración del haz

Hipótesis:

f = 11 GHz
$P_{t'}$ = 30,0 dB(W/MHz)
λ = 40° N
ε_s = 20°
α_s = 243,3°
Zona hidrometeorológica: K (Informe 382)

Resultado:

d_s = 10,2 km (ecuación (6) de este Informe)
h_R = 3,74 km (ecuación (7) de este Informe)
$d_{máx}$ = 252 km (ecuación (8) y también está trazada en la fig. 8 de este Informe)
α_r = 82,6° (ecuación (9) de este Informe)
M_0 = −144,1 + 160,5 = 16,4 dB (ecuación (10) de este Informe)
$L_2(p_x)$ = 164,1 + 16,4 [1 − 0,339 (9 − 5 log p_x − 1,58)] dB (ecuación (18) del Informe 382 y también está trazada en la fig. 8 de este Informe)
ΔL = 26,0 dB (obtenida en la fig. 8 de este Informe)
δ = 11,0° (ecuación (12) de este Informe)

* De las que siempre hay al menos una.

** La zona resultante de la dispersión debida a la lluvia contiene los lugares geométricos de todas las ubicaciones de las estaciones terrenas receptoras para los cuales las direcciones hacia la órbita de los satélites geoestacionarios interceptan el eje del haz de la antena de la estación terrena transmisora. Se determinan los límites de la zona teniendo en cuenta la discriminación de la antena.

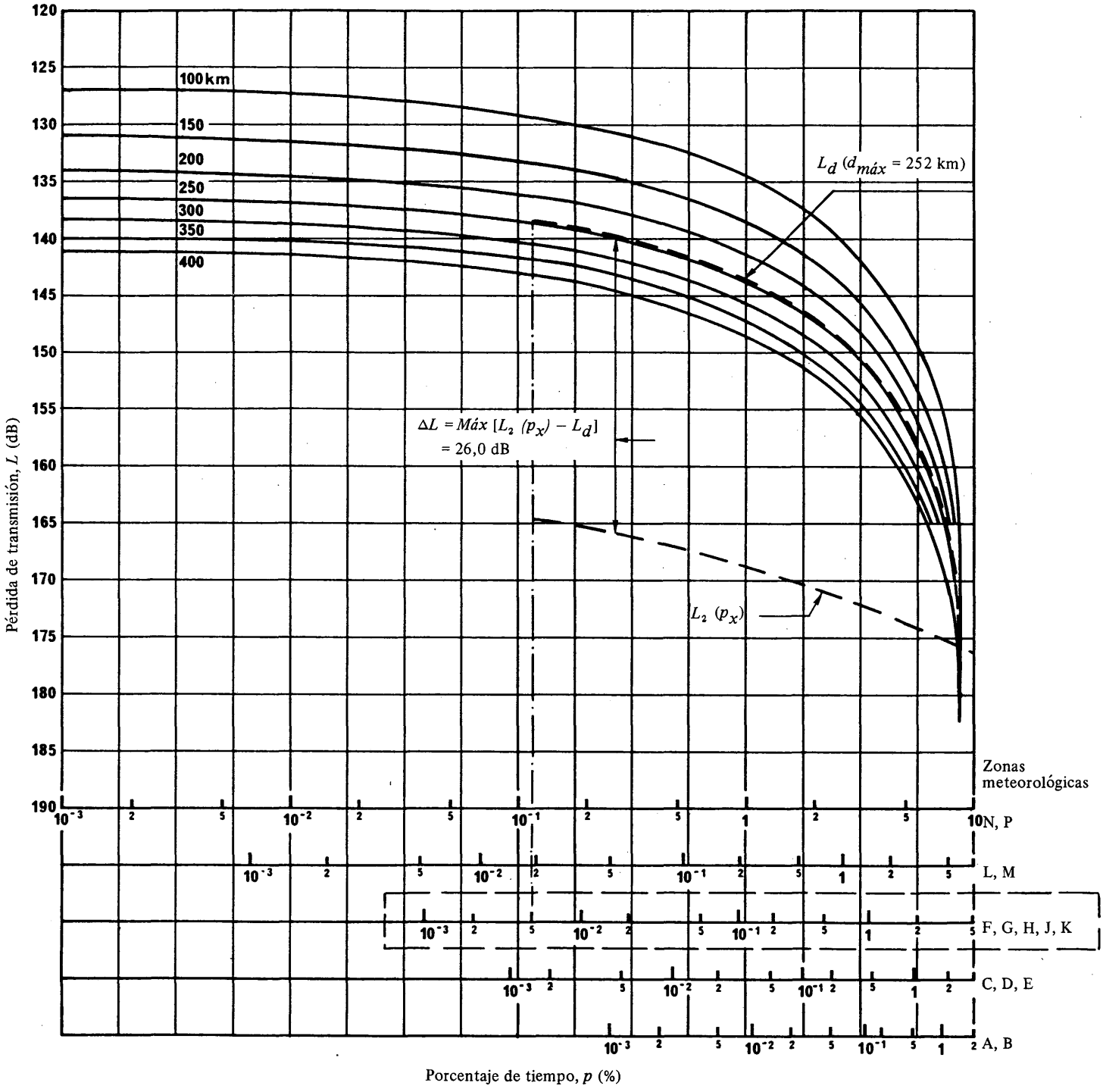


FIGURA 8 – *Pérdida de transmisión en función del porcentaje de tiempo para las diferentes zonas hidrometeorológicas, con la distancia de dispersión por hidrometeoros como parámetro, f = 12 GHz*

Este gráfico, con la excepción de las entradas que se han añadido, es idéntico a la fig. 16 del Informe 382 y se ha utilizado para representar las condiciones de propagación en la banda de 11 GHz en relación con el ejemplo de la fig. 7 de este Informe.

INFORME 558-3

DIAGRAMAS DE RADIACIÓN DE ANTENAS DE SATÉLITES DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Programa de Estudios 1B/4)

(1974-1978-1982-1986)

1. Introducción

Los diagramas de radiación de antenas de satélites influyen considerablemente en la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios, particularmente cuando se emplean haces de cobertura restringida. Un mejor control de los diagramas de radiación de antenas de satélites, especialmente el de los niveles de los lóbulos laterales, puede ser un medio adecuado para una utilización más eficaz de la órbita, como se dice en el Informe 453. Para proporcionar una mejor utilización de la órbita de forma continua, es posible que se necesite un diagrama de radiación de referencia. El presente Informe constituye un examen de los problemas que plantea la definición de esa clase de diagramas de radiación de referencia y contiene ejemplos que deberán estudiarse más a fondo ulteriormente.

2. Consideraciones relativas al diseño de antenas de satélites

La antena de un satélite forma parte de una plataforma dinámica en un medio espacial. Su masa y sus dimensiones son de suma importancia y están limitadas por la cubierta que encierra la carga útil del vehículo de lanzamiento. Las variaciones longitudinales, la inclinación de la órbita del vehículo de lanzamiento y la estabilidad de actitud de la plataforma implican tolerancias que hay que considerar en el diseño de las antenas de satélite.

Algunas antenas de satélite tienen que radiar haces de gran pureza de polarización. Este aspecto del diseño de la antena se examina en el Informe 555.

2.1 *Tipos de antenas de satélites*

El tipo particular de antena utilizado dependerá de la frecuencia, de la anchura del haz y de la cubierta que encierra la carga útil del vehículo de lanzamiento (dimensiones físicas y masa). Las anchuras mínimas del haz dependen de la precisión con que pueda estabilizarse la actitud del satélite y de las necesidades de servicio como, por ejemplo, la zona de cobertura y la reutilización de las frecuencias.

La estabilidad corriente de orientación de las plataformas de las antenas de vehículos espaciales que no emplean seguimiento de radiofrecuencias es del orden de $\pm$ 0,2°. A menos que el satélite sea capaz de realizar operaciones de seguimiento, la ganancia de antena está limitada, por la estabilidad de orientación, a 50 dB de ganancia en la dirección del eje. Las ganancias superiores a este valor requieren un aumento considerable de la complejidad del satélite.

En frecuencias superiores a 1 GHz, se han utilizado bocinas para las anchuras de haz más grandes, y reflectores parabólicos iluminados a partir del foco para las anchuras de haz menores. Estos dos tipos se han utilizado mucho en el pasado, pero muchos vehículos espaciales utilizan actualmente un reflector con alimentación excéntrica, y en algunos prototipos de vehículo espacial se emplean también antenas de lente de haces múltiples. A largo plazo, sistemas con AMDT pueden emplear la conmutación de haces, que implicaría una multiplicidad de haces muy estrechos en el satélite y puede traducirse en la necesidad de una flexibilidad en la orientación de haz para que se adapte a las nuevas condiciones de ubicación de las estaciones terrenas.

2.2 *Diagrama de ganancia del lóbulo principal*

Teóricamente, el diagrama de radiación de la antena debiera ser tal que la energía se concentrase en la dirección de las estaciones terrenas de la red.

Desde un punto de vista práctico, el diagrama de radiación de un haz de satélite debería proporcionar una iluminación uniforme de la zona de cobertura y ninguna en el exterior de la misma (fig. 1). Es posible acercarse a este objetivo, pero para ello se necesita una antena más grande y pesada que una antena simple, cuya ganancia dentro de la zona de cobertura sería casi igual. Como una antena simple tiene una radiación apreciable fuera de la zona de cobertura, proporciona también tolerancia a los errores de control de actitud y de posición orbital. La fig. 2 muestra cómo varía la ganancia mínima en la zona de cobertura en función de la superficie de la abertura, suponiendo que el diagrama de radiación del lóbulo principal tenga la forma $(\text{sen}^2 x)/x^2$. Se hace observar que hay un tamaño de abertura óptimo para una zona de servicio determinada en una frecuencia dada, pero es posible variar esa abertura en una gama de 2,4 a 1 en torno a la óptima con una variación de ganancia mínima de sólo 0,5 dB. Otro factor que tiende también a la utilización de un haz más ancho es la pendiente de la ganancia en el límite de la zona de cobertura, que es tanto mayor cuanto más estrecho sea el haz. Este factor es significativo porque la inestabilidad de la plataforma, conjuntamente con la pendiente de la ganancia, influye en la estabilidad de los niveles de potencia a través de la red. Por consiguiente, habrá una tendencia a reducir al mínimo el tamaño y la masa de la antena y a proporcionar tolerancia a los errores de control de actitud y de posición orbital recurriendo a una abertura aún menor que la óptima, que corresponde a una zona de abertura relativa menor que 1, como se indica en la fig. 2.

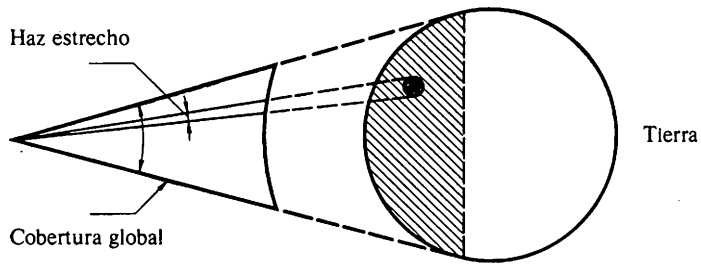


FIGURA 1 — *Diagramas ideales de radiación de antenas de satélite*

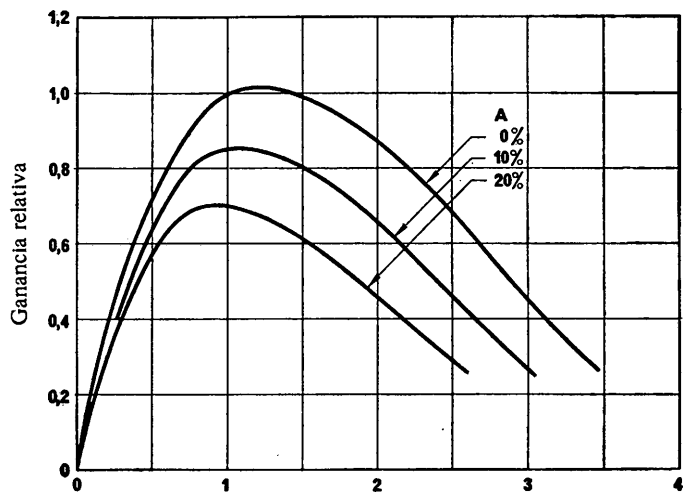


FIGURA 2 — *Ganancia mínima en la zona de cobertura en función del área de la abertura*

A: Tolerancia de orientación de la antena en porcentaje de la anchura del haz a 3 dB

Aunque conviene utilizar la apertura más pequeña para proporcionar la cobertura requerida, esto sólo es posible si puede satisfacerse también la ganancia requerida. Muchas veces, en la práctica, la apertura mínima que satisface los requisitos de ganancia no se ajustarán a los requisitos de cobertura, por lo que hay que utilizar un diseño conformado.

La noción de antenas de haz conformado se consideró primero como un medio de igualar la energía en la zona de cobertura, como se ilustra en la fig. 3. Los diagramas ideales de una función $(\text{sen}^2 x)/x^2$ y la suma de dos funciones $(\text{sen}^2 x)/x^2$ desplazadas producen una ondulación de ganancia de 3 dB. La ganancia mínima entre los puntos a 3 dB es aproximadamente la misma en ambos diagramas, pero la abertura requerida para producir el haz conformado es unas diez veces mayor y la pendiente de la ganancia en los puntos a 3 dB es mucho mayor. Puede también aplicarse conformación del haz en el plano ortogonal al eje del haz con el fin de obtener una mejor concordancia entre zona de cobertura y zona de servicio.

El uso de antenas de haz conformado tiene tres ventajas prácticas para el proyectista del sistema y supone una mejor utilización de la órbita. Estas son:

- distribución más uniforme de la energía en la zona de cobertura, lo que entraña una mejor utilización de la relación masa/energía del vehículo espacial;

- logro de una mayor ganancia, cubriendo al mismo tiempo grandes zonas de superficie que permiten reducir la potencia de transmisión y las consideraciones correspondientes de masa/energía;

- disminución de la radiación fuera de la zona de cobertura por utilizar aperturas más grandes.

Se han realizado recientemente importantes trabajos de investigación y desarrollo en el campo de las antenas de haz conformado para vehículos espaciales, incluidas configuraciones que utilizan una antena de reflector parabólico con alimentadores múltiples y antenas de lente de haces múltiples. En el anexo I figuran ejemplos de algunos de estos diagramas de antenas de haz conformado.

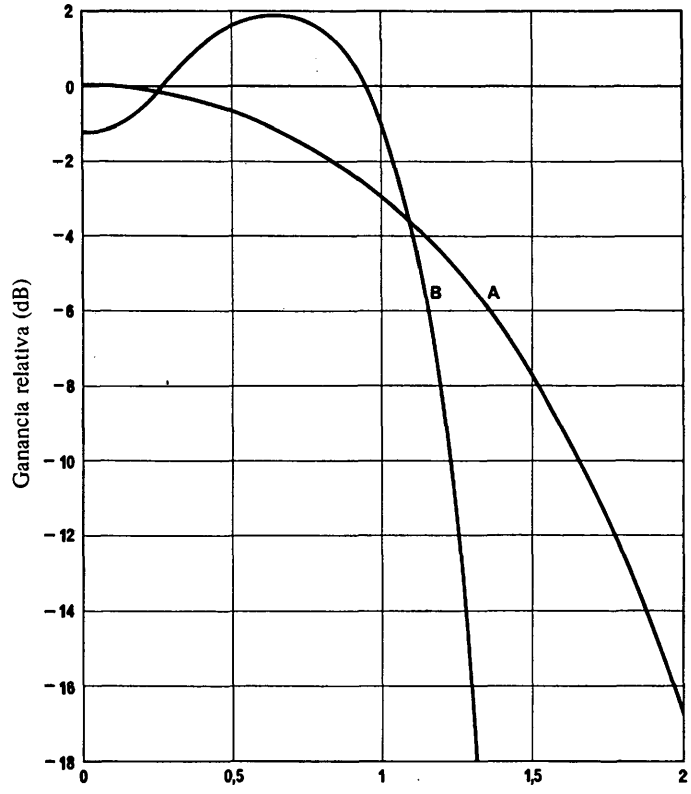


FIGURA 3 — *Haz convencional y haz conformado*

A: Haz convencional: $\frac{\text{sen}^2 x}{x^2}$

B: Ejemplo de haz conformado

Nota. — En la fórmula que da la ganancia relativa del haz convencional $\frac{\text{sen}^2 x}{x^2}$, la variable x puede expresarse como $1{,}39\frac{\theta}{\theta_0}$ radianes. En el caso en que $\theta = \theta_0$, la ganancia del haz convencional es: $\frac{\text{sen}^2\, 1{,}39}{1{,}39^2} = 0{,}707^2 = 0{,}5$, lo que corresponde a -3 dB.

2.3 *Diagramas de ganancia de los lóbulos laterales*

En lo que respecta a la utilización de la órbita y a la reducción de la interferencia, los diagramas de radiación de los lóbulos laterales son de suma importancia. Los lóbulos laterales se producen como resultado de distintos factores que intervienen en el diseño de las antenas y que incluyen la difracción y el desbordamiento alrededor de los bordes de un reflector o subreflector, la obstrucción de la antena, la distribución de amplitud y fase de la onda en la abertura, y las iluminaciones fuera de foco. La obstrucción de la abertura puede ser un factor limitativo en sistemas de reflectores si D/λ es bajo. La distribución de amplitud y de fase en la abertura es un factor importante en todos los tipos de antena. A medida que la iluminación de la abertura varía desde distribuciones uniformes a distribuciones donde la iluminación disminuye más en los bordes de la abertura, la ganancia de cresta disminuye ligeramente y los lóbulos laterales disminuyen significativamente cuando la obstrucción de la abertura no es importante. Este efecto se muestra en la fig. 4.

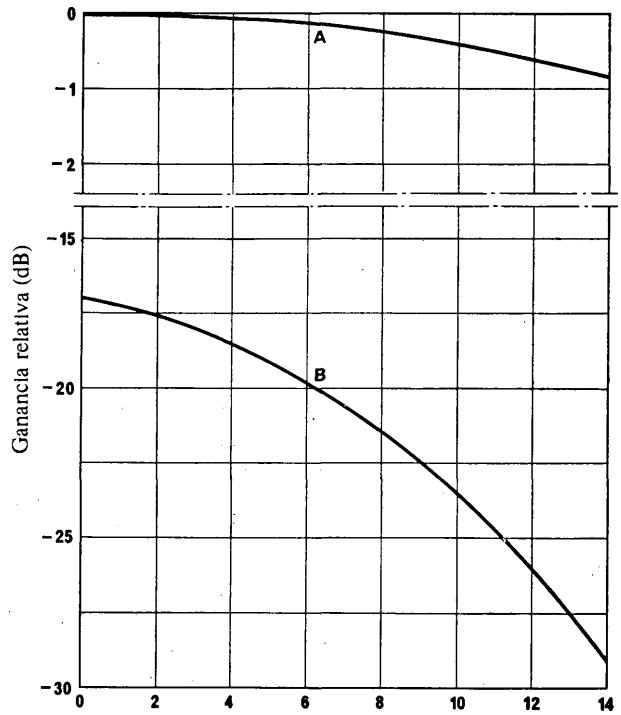


FIGURA 4 – *Efectos de la iluminación de la abertura*

A: Lóbulo principal
B: Primer lóbulo lateral

Para reflectores parabólicos sencillos iluminados a partir del foco por una fuente única, en el que el nivel de iluminación hacia el borde del reflector es 10 dB inferior a aquél hacia el centro, y una relación D/λ de aproximadamente 10, el nivel del primer lóbulo lateral es generalmente de unos -20 dB con relación al nivel del lóbulo principal. A medida que aumenta D/λ, el nivel relativo del primer lóbulo lateral disminuirá hasta unos -25 dB con relación al lóbulo principal. Los mayores niveles de lóbulos laterales para valores bajos de D/λ se deben al efecto de la obstrucción de la abertura. Para reflectores parabólicos alimentados en el foco principal, para cobertura de la Tierra ($D/\lambda \approx 4$), el primer lóbulo lateral sería de unos -15 dB con relación a la ganancia en el eje principal. Cambiando el nivel de iluminación hacia el borde del reflector no se mejoran materialmente los niveles de los lóbulos laterales cercanos cuando la obstrucción de la abertura es el factor de limitación. Es probable que para obtener bajos niveles de los lóbulos laterales haya que utilizar antenas en que la obstrucción de la abertura no sea importante. Esto implica disposiciones asimétricas que pueden presentar inconvenientes potenciales en otros aspectos.

También hay que considerar la pendiente de la envolvente de los lóbulos laterales. Para esos tipos de antena, exceptuadas las de bocinas, y cuando la reducción de los lóbulos laterales no sea de especial interés, la pendiente es generalmente del orden de $-7{,}5$ dB/octava del ángulo en relación al eje principal. En bocinas sin reflectores, la pendiente es más típicamente del orden de -9 dB/octava.

Si se insiste en que el nivel de los lóbulos laterales sea bajo, parece que pueden obtenerse niveles de primer lóbulo lateral a -30 dB relativos a la ganancia en el eje y envolventes de lóbulos laterales con pendientes de -12 dB/octava. Estos valores se obtienen generalmente con tipos de antena en que la obstrucción de abertura es prácticamente nula.

Para sistemas con reflector parabólico con múltiples alimentadores, los niveles de los lóbulos laterales aumentan conforme se desplaza el lóbulo principal. A medida que aumenta el desplazamiento respecto del lóbulo principal, aumentan los niveles de los lóbulos laterales a ambos lados del eje (lóbulos laterales en coma), mientras que los opuestos tienden a fusionarse con el lóbulo principal. Los lóbulos laterales coma tienden a aumentar menos rápidamente cuando se emplean grandes disminuciones de iluminación hacia el borde del reflector o grandes relaciones f/D. La fig. 5 representa el nivel del primer lóbulo lateral en coma, en función del ángulo con el eje principal normalizado para $f/D = 1$ y una disminución de iluminación hacia el borde del reflector de 20 dB. La posición angular relativa del primer lóbulo en coma coincide aproximadamente con la posición del primer lóbulo lateral normal. Así pues, si se utilizan múltiples alimentadores para obtener conformaciones de los lóbulos laterales complejas (desplazar el ángulo en una proporción comparable a la abertura del haz), algunos lóbulos coma pueden estar situados dentro de la zona de cobertura. Cuando se generan haces especialmente separados con múltiples alimentadores, el lóbulo lateral coma puede estar situado dentro de las zonas de cobertura de otros sistemas de satélite.

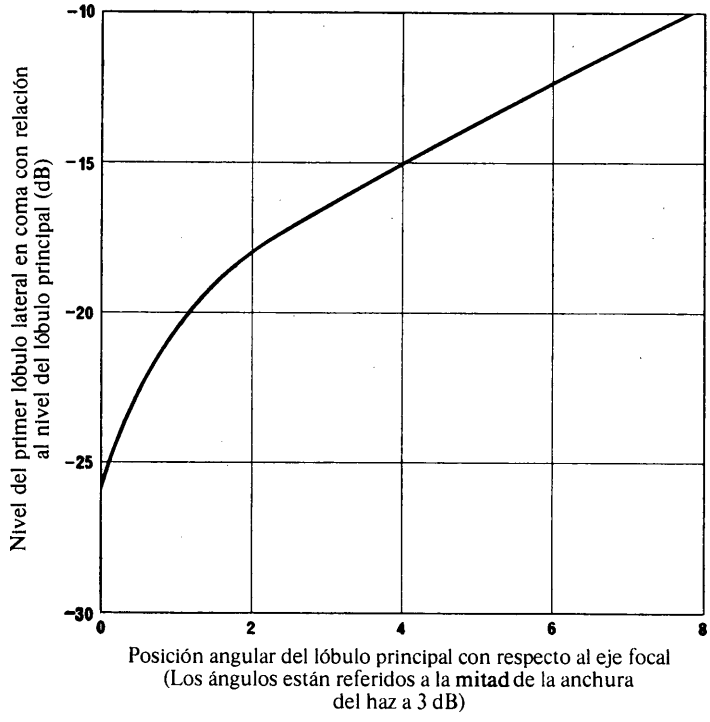


FIGURA 5 – *Nivel del primer lóbulo lateral en coma, en función de la posición angular del lóbulo principal respecto del eje focal*

Iluminación relativa en los bordes de la abertura: 20 dB, $f/D = 1$

Los lóbulos laterales en coma son una propiedad fundamental de las antenas de reflector parabólico con alimentación desplazada del foco y puede dar por resultado niveles elevados de los lóbulos laterales. Las iluminaciones múltiples dentro de la abertura de un reflector común aumentan también la obstrucción de la abertura, lo que hace aumentar el nivel de los lóbulos laterales cercanos.

La conformación del haz puede lograrse también con redes directivas de antenas. Como se requiere una cobertura angular relativamente pequeña, pueden utilizarse unos pocos elementos de alta ganancia. La presencia de lóbulos de difracción debidos a la reja de elementos pueden constituir, sin embargo, un inconveniente importante.

Según se ha señalado anteriormente, el grado en que se mantiene la polarización en las regiones de los lóbulos laterales es todavía incierto y es necesario proseguir los estudios.

El anexo II contiene mediciones seleccionadas de niveles de lóbulos laterales de varias antenas de haz conformado diferentes.

3. Utilización de la órbita

3.1 *Efectos de las envolventes de los lóbulos laterales*

Para mejorar la utilización de la órbita es preciso, en último término, o bien reducir la ganancia del lóbulo principal o aumentar el tamaño de la abertura, o ambas cosas. La fig. 4 muestra el efecto de la primera medida. Haciendo que disminuya más rápidamente la iluminación, el nivel del primer lóbulo lateral se reduce y la pendiente de la envolvente de los lóbulos laterales aumenta. Sin embargo, la posición relativa de los lóbulos laterales próximos no se altera significativamente. La fig. 6 muestra la mejora relativa de utilización de la órbita (se supone un sistema homogéneo con antena de satélite de haz de cobertura restringida, de sección circular, y una pendiente de la envolvente de los lóbulos laterales de $-7{,}5$ dB por octava). Se da por supuesto que un cierto número de haces de cobertura restringida se forman en un punto de la órbita geoestacionaria (sin discriminación de la estación terrena), y entonces el número relativo de haces que pueden formarse para una interferencia dada se calcula como función del nivel de envolvente de los lóbulos laterales. Mejoras de pequeña magnitud en la envolvente de los lóbulos laterales influyen apreciablemente en la utilización de la órbita.

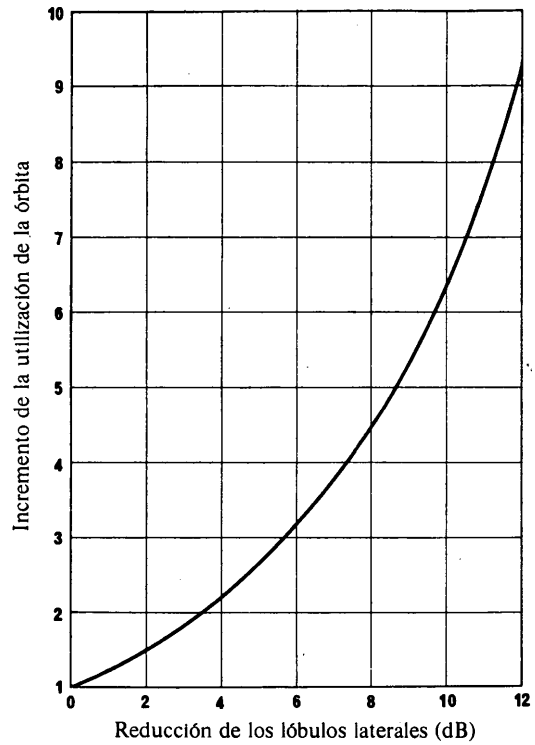


FIGURA 6 – *Utilización de la órbita en función de la reducción de los lóbulos laterales*

Un aumento del tamaño de la abertura tiene por efecto una reducción del ángulo con respecto al eje principal, en el que se producen crestas de los lóbulos laterales, aunque no mejoren los niveles de éstos. Se ha mostrado en la fig. 2 que hay una gama relativamente grande de aberturas en que la ganancia mínima de antena en una zona dada no varía significativamente cuando se emplean haces no conformados. Cuando se utilizan haces conformados aumenta el tamaño de la abertura. La mejora relativa de utilización de la órbita en función del tamaño de la abertura, está en relación directa con el área de la abertura.

Las anchuras de haz de las antenas de satélite generalmente están comprendidas en una de las tres categorías siguientes:

- anchuras de haz de unos 17° (cobertura global);
- anchuras de haz comprendidas entre unos 17° y unos 5° a 10°;
- anchuras de haz restringido considerablemente menores que la correspondiente a la cobertura global.

En el caso de la cobertura global, el lóbulo principal comprende la Tierra y algo más, y no existen lóbulos laterales dirigidos a ésta. Más allá de los bordes de la Tierra vista desde el satélite, el único riesgo es la posible interferencia que pueda causarse a satélites explotados en bandas de frecuencias inversas; por ejemplo, satélites que transmitan en la banda de 6 GHz y que reciban en la de 4 GHz. La fig. 7 reproduce diagramas típicos medidos de las antenas de cobertura global de satélites Intelsat-IV y IV-A para ángulos que rebasan con creces los correspondientes a los bordes de Tierra.

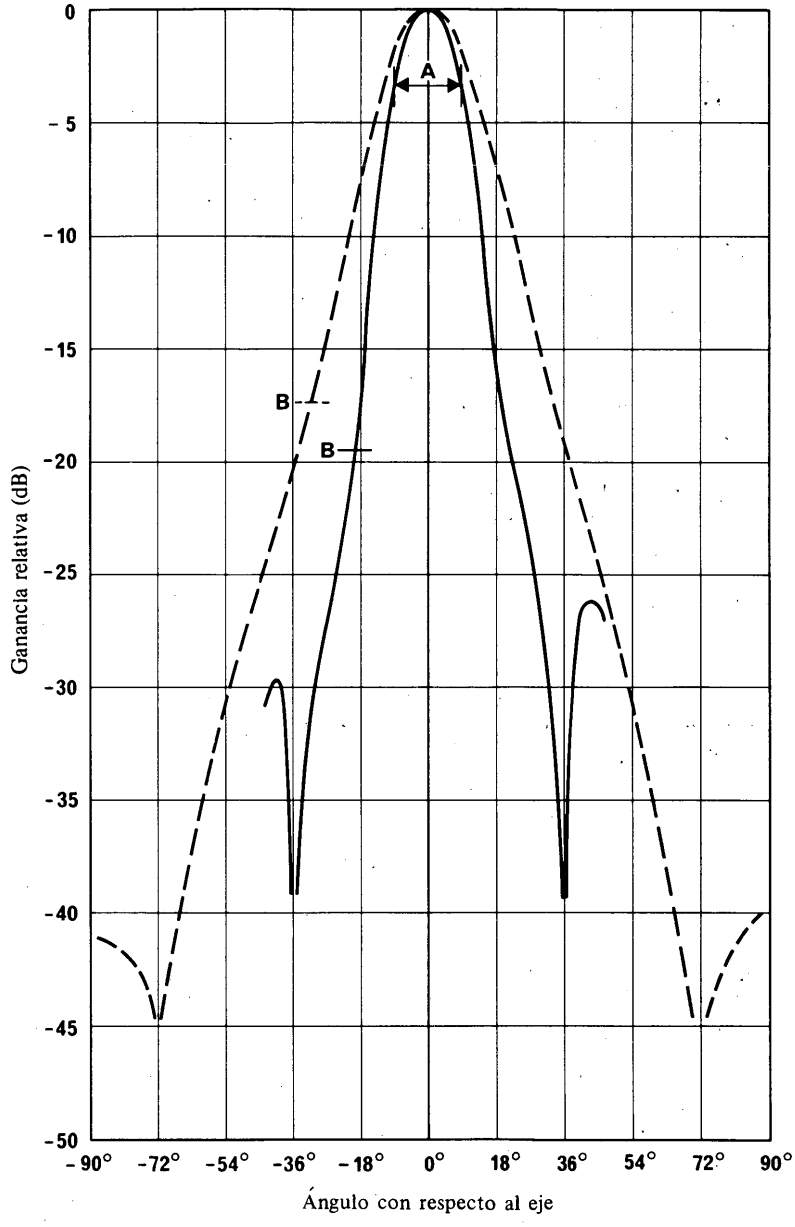


FIGURA 7 – *Antenas de satélite de cobertura global y polarización circular. Diagramas típicos medidos en f = 3950 MHz*

——— Intelsat-IV, bocina cónica con reflector plano de 45°

– – – – Bocina cónica multimodal, destinada al Intelsat-IV A

A: Ángulo que forma el borde de la Tierra visto desde un satélite
B: Niveles isotrópicos

En el segundo caso, el lóbulo principal y la zona del primer lóbulo lateral son la fuente principal de interferencia a estaciones terrenas, y para el tercer caso, los lóbulos laterales de orden mayor también constituyen una fuente de interferencia para las estaciones terrenas.

Cuando las antenas de satélite tienen una cobertura inferior a la global, la evaluación de la utilización de la órbita requiere el estudio de los diagramas de radiación de las antenas de las estaciones terrenas. Si se formula la hipótesis restrictiva de que satélites adyacentes proporcionan la cobertura de zonas adyacentes de la Tierra, pueden darse dos casos: 1) la relación D/λ en la antena de la estación terrena es considerablemente mayor que en la antena de satélite y 2) la relación D/λ en la antena de la estación terrena es comparable o inferior al valor correspondiente en la antena de satélite. En el primer caso, la mayor parte de la discriminación se obtiene fundamentalmente mediante las antenas de la estación terrena. El sistema puede funcionar con superposición del primer lóbulo lateral del satélite. En el segundo caso mencionado, en que las antenas de las estaciones terrenas proporcionan bajos valores de discriminación, la región del primer lóbulo lateral de la antena de satélite puede ser importante. Los niveles de lóbulos laterales cercanos, menores o iguales a -30 dB podrían mejorar materialmente la utilización de la órbita cuando la relación D/λ en la antena del satélite fuera comparable o inferior a la misma relación en la antena de la estación terrena. Este nivel puede lograrse con ciertos tipos de antenas en zonas de cobertura no adyacentes.

3.2 *Capacidad de orientación de las antenas de haz estrecho*

Otro aspecto que deberá considerarse en el diseño de satélites en que se utilicen antenas de haz estrecho es el de la capacidad de orientación de estas antenas. Hay que adelantar que, a medida que aumenta la densidad de ocupación de la órbita del satélite, puede ser necesario el cambio de posición de los satélites existentes para acomodar nuevos satélites. La capacidad de cambiar la posición de un satélite puede ser muy restringida cuando sea fijo el ángulo del haz de la antena del satélite con respecto a la plataforma del satélite. Aun cuando el arco utilizable de la órbita de los satélites geoestacionarios para un sistema dado está limitado por imperativos de la visibilidad directa, no deberá estar restringido indebidamente por los límites de orientación de las antenas de satélite de haz estrecho. Este tema se trata en el Informe 1002.

3.3 *Consideraciones generales de diseño*

El tipo más sencillo de haz de antena es el de sección transversal circular o elíptica. La intersección con la Tierra de un haz de dicho tipo será una elipse distorsionada, siendo la distorsión progresivamente más pronunciada a medida que la zona de servicio se aparte más del punto subsatelital. Para una sección transversal determinada del haz de antena, la posición del satélite con respecto a la zona de cobertura determina el tamaño y la forma de dicha zona. En algunos casos, se puede obtener cierta conformación variando la forma del reflector o de las bocinas del alimentador, pero esto puede tener efectos indeseables sobre el rendimiento de la antena y los niveles de los lóbulos laterales. No obstante, como demuestra claramente el ejemplo de la fig. 8, la cobertura con haz conformado es más eficaz que la cobertura elíptica. La radiación sobre la zona sombreada es energía perdida.

Un factor importante al planificar el haz conformado es la curvatura mínima de un círculo que recubre una parte del contorno real de cobertura, como se muestra en la fig. 8. El círculo mínimo (o elipse) determina el tamaño del reflector de antena de satélite y también factores importantes como la ganancia, los requisitos de potencia RF y de corriente continua, y a veces las dimensiones mínimas del vehículo espacial. Estos factores, además pueden afectar al coste del vehículo espacial y de su cohete lanzador.

En algunas aplicaciones, es importante garantizar una mínima densidad de flujo de potencia en toda la zona de cobertura. Si ésta se fija por los requisitos en el borde, un haz simple (tal como resultaría de un receptor parabólico y un solo alimentador) crearía una densidad de flujo de potencia innecesariamente alta en el centro de la zona. Una solución mejor requeriría un haz conformado que proporcionase una iluminación más uniforme dentro de toda la zona. La densidad de flujo de potencia decrecerá más rápidamente fuera de la zona de cobertura, reduciendo por tanto la interferencia potencial. Puede ser necesario coordinar las tolerancias de puntería de la antena y de la rotación axial con la pendiente de la ganancia a lo largo de los bordes del haz.

La fig. 9 presenta, en forma simplificada, algunas de las ventajas de los haces conformados. Si la sección transversal de la zona de cobertura corresponde a la anchura del haz entre puntos a 3 dB, para un haz simple circular (o elíptico), en los bordes se obtendrá la densidad de flujo de potencia requerida. El mismo valor podría obtenerse, por ejemplo, por medio de una disposición compuesta por cuatro haces más estrechos. Las ventajas obvias son el nivel de potencia más uniforme dentro de la zona de cobertura y menor radiación indeseada fuera de dicha zona. La parte A sombreada en la fig. 9, representa la potencia innecesaria en la zona de cobertura y las partes B sombreadas representan la radiación no deseada en las zonas próximas a los bordes.

Para los fines del diseño preliminar, en general, es suficiente especificar la densidad de flujo de potencia requerida así como los emplazamientos de las estaciones terrenas deseadas o los bordes de la zona de servicio. Con la ayuda de computadores es posible, entonces, determinar el número de bocinas de antena y sus tamaños, disposición, y fases relativas para obtener la mejor forma del haz. Este proceso de optimización da lugar normalmente a una distribución de potencia casi uniforme en la zona de servicio.

En el diseño de coberturas multihaz, es también posible y conveniente optimizar las características del subsistema de antena de haces múltiples de a bordo, tales como el número y dimensión de los haces, puntería óptima, etc., para asegurar la cobertura de un número dado de estaciones terrenas, teniendo en cuenta los diversos requerimientos y limitaciones del sistema.

Mediante estrategias adecuadas de diseño con ayuda de computador, como las indicadas en [CCIR, 1982-86], es ya posible tener en cuenta las limitaciones de los presupuestos del enlace (estadísticas meteorológicas, efectos de propagación, emplazamiento geográfico de las estaciones, asignaciones de frecuencia y niveles de interferencia) a fin de asignar más recursos del satélite (G/T y p.i.r.e.) a las estaciones terrenas en situación desfavorable en términos de presupuesto del enlace.

Este tipo de diseño, basado en la distribución no uniforme de la densidad de flujo de potencia, resulta particularmente conveniente en las bandas de frecuencias más altas (por ejemplo, 20/30 GHz), en las que limitaciones del sistema tales como la atenuación por lluvia pueden variar de un lugar a otro, dentro de la misma zona de servicio.

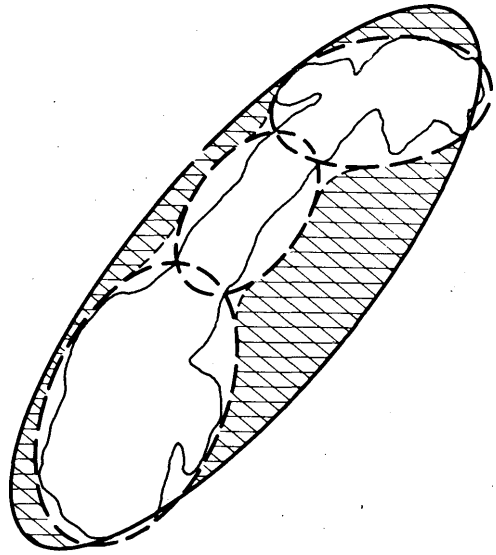


FIGURA 8 – *Ejemplo de cobertura eficaz con haz conformado*

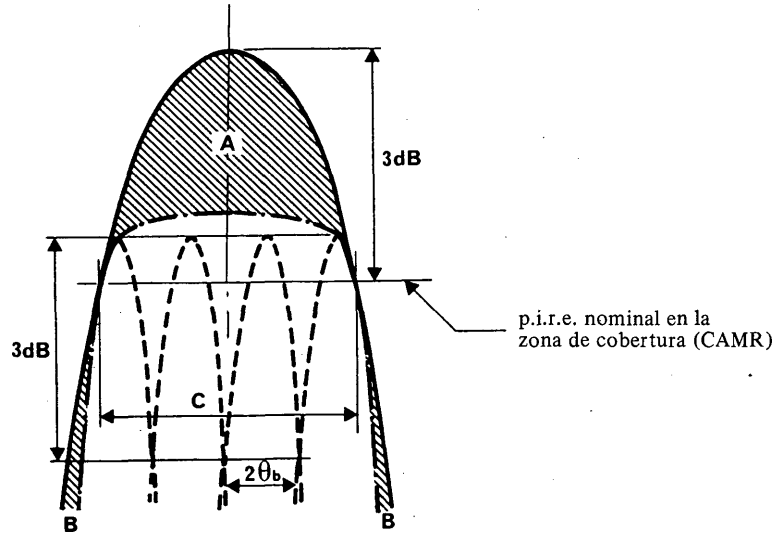


FIGURA 9 – *Sección transversal de un haz conformado*

— — — Haces elementales de la antena conformada

A : Potencia innecesaria en la zona de cobertura

B : Radiación no deseada en las zonas próximas a los bordes

C : Anchura de la zona de cobertura, es decir, anchura del haz no conformado de la antena entre puntos a 3 dB

θ_b : Anchura del haz elemental entre puntos a 3 dB

4. Diagramas de radiación de referencia de las antenas de satélite

4.1 *Haces circulares con un solo alimentador*

Parece conveniente establecer límites sobre los niveles de radiación fuera de las zonas de cobertura como medio de maximizar la capacidad de la órbita.

Como se ha dicho anteriormente, el diagrama de radiación de la antena del satélite es importante tanto en la región del lóbulo principal como en la de los lóbulos laterales más lejanos. De ahí que los diagramas posibles comiencen en el contorno a −3 dB del lóbulo principal y se dividan en las cuatro regiones que se ilustran en la fig. 10.

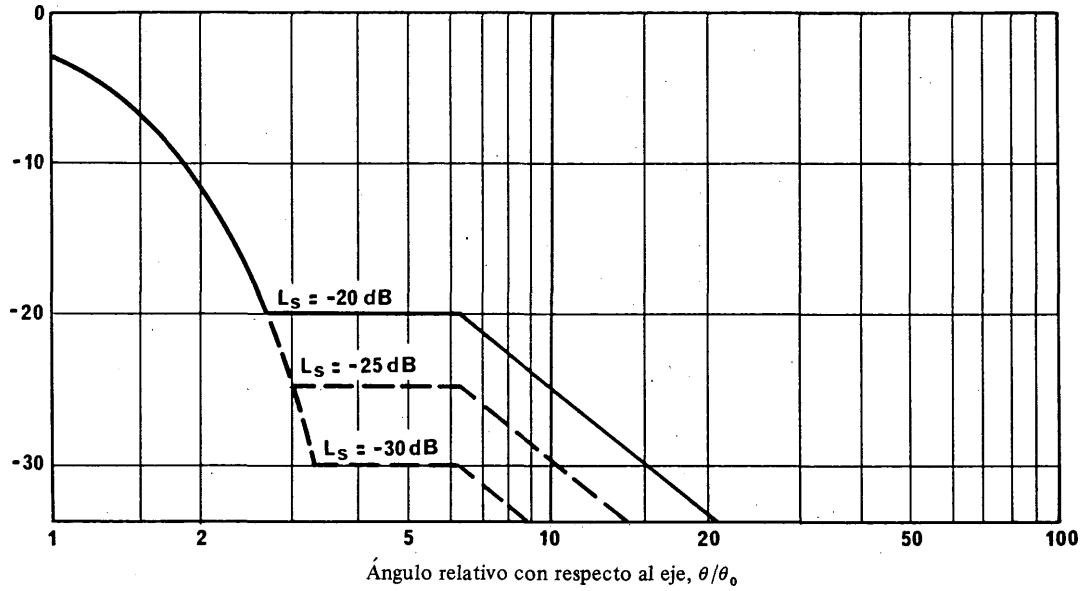


FIGURA 10 – *Función de la envolvente del diagrama de radiación*

$$G(\theta) = G_m - 3\left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)^2 \text{ dBi} \qquad \text{para } \theta_0 \leqslant \theta \leqslant a\theta_0 \qquad (1)$$

$$G(\theta) = G_m + L_S \text{ dBi} \qquad \text{para } a\theta_0 < \theta \leqslant b\theta_0 \qquad (2)$$

$$G(\theta) = G_m + L_S + 20 - 25 \log\left(\frac{\theta}{\theta_0}\right) \text{dBi} \qquad \text{para } b\theta_0 < \theta \leqslant \theta_1 \qquad (3)$$

$$G(\theta) = 0 \text{ dBi} \qquad \text{para } \theta_1 < \theta \qquad (4)$$

siendo:

$G(\theta)$: ganancia para un ángulo θ respecto del eje del haz (dBi),

G_m : ganancia máxima en la dirección del lóbulo principal (dBi),

θ_0 : mitad de la anchura del haz a 3 dB en el plano considerado (3 dB por debajo de G_m) (grados),

θ_1 : valor de θ cuando $G(\theta)$ en la ecuación (3) es igual a 0 dBi,

L_S : nivel requerido de los lóbulos laterales próximos (dB) con respecto a la ganancia máxima,

a, b : los valores numéricos que se indican a continuación:

L_S	a	b
−20	2,58	6,32
−25	2,88	6,32
−30	3,16	6,32

Sin embargo, se tropieza con dificultades para aplicar a un haz no circular el diagrama postulado. Se invita por lo tanto a las administraciones a que presenten mediciones de diagramas de radiación de antenas con haces que no sean circulares simples.

4.2 *Haces elípticos con un solo alimentador*

Las anteriores funciones definen una envolvente máxima para los primeros lóbulos laterales a un nivel de −20 dB respecto a la ganancia máxima, y este diagrama se aplica a antenas de diseño sencillo. Sin embargo, en interés de una mejor utilización de la capacidad de la órbita, puede ser deseable reducir este nivel a −30 dB y utilizar antenas de diseño más artificioso. El diagrama adoptado por la CARR-83, contenido en el Informe 810, era algo menos estricto que el anterior, de acuerdo con la apreciación de lo que en aquel tiempo era factible. El diagrama adoptado por la CAMR-RS-77 para las antenas de satélites de radiodifusión satisface esta exigencia, y se está consiguiendo ya, por lo que debe aplicarse en ese caso. Pueden ser convenientes estudios adicionales para determinar la viabilidad de obtener niveles de lóbulos laterales reducidos en la práctica, particularmente con relación a las bandas de 6/4 GHz. En el anexo III se presenta una ilustración de este nivel de funcionamiento, mostrando el diagrama de radiación medido de un haz elíptico generado por una antena de reflector doble con alimentación descentrada que funciona a 12 GHz.

4.3 *Haces conformados con alimentación múltiple*

Un diagrama similar aplicable a los haces conformados debe basarse en un análisis de varios dichos haces y también en consideraciones teóricas. Deben especificarse parámetros adicionales, tales como el diámetro del haz elemental y el nivel de los dos primeros lóbulos laterales. Además, la sección transversal y los medios de medición de ángulos forman parte de la definición del diagrama.

La consideración importante en la producción de tal referencia es la discriminación a conseguir a partir del borde de cobertura de todos los tipos de antena, incluyendo la de haz conformado más compleja, en función de la separación angular de las zonas de cobertura, vistas desde la órbita. El diagrama de radiación de una antena de haz conformado es exclusivo de la misma, y viene determinado principalmente por los siguientes factores operacionales y técnicos.

- configuración de la zona de cobertura,
- longitud del satélite,
- apertura máxima de la antena,
- diseño de alimentador y decrecimiento gradual de la iluminación,
- diámetro de la apertura del reflector normalizado (D/λ),
- relación de distancia focal a diámetro de apertura (F/D),
- número de reutilizaciones de frecuencia y de haces independientes,
- número de elementos alimentadores utilizados,
- anchuras de banda,
- requisitos de ortogonalidad en la polarización,
- región de cobertura angular total ofrecida,
- estabilidad de fase del elemento alimentador y excitaciones de amplitud,
- requisitos sobre posibilidad de reconfiguración,
- número de posiciones orbitales desde las que hay que ofrecer coberturas del haz,
- tolerancias conseguidas en la superficie del reflector,
- puntería del haz (obtenida de la ubicación del satélite o por emplazamiento independiente del haz mediante radiobalizas de seguimiento terrenas),
- degradaciones de los haces componentes debidas a aberraciones en la exploración relacionadas con la configuración específica del reflector o de la antena (reflector sencillo, reflector doble, sistemas de reflector conformado sin eje focal, sistemas de radiación directa, etc.)

Por todo lo anterior, pueden presentarse algunas dificultades en el desarrollo de un diagrama de radiación de referencia único para las antenas de haz conformado.

El diagrama de referencia de la fig. 10 no es satisfactorio para las antenas de haz conformado, puesto que un parámetro esencial del diagrama de referencia es θ_0, mitad de la anchura de haz a −3 dB, en tanto que el centro del haz de un haz conformado está mal definido y no corresponde en gran medida a la respuesta fuera del haz. Un diagrama de referencia sencillo compuesto de cuatro segmentos solamente, como se ilustra en la fig. 11, puede ser más satisfactorio como base de un diagrama de referencia. La inclinación de la falda de este diagrama estaría en función de la distancia angular fuera del contorno de cobertura.

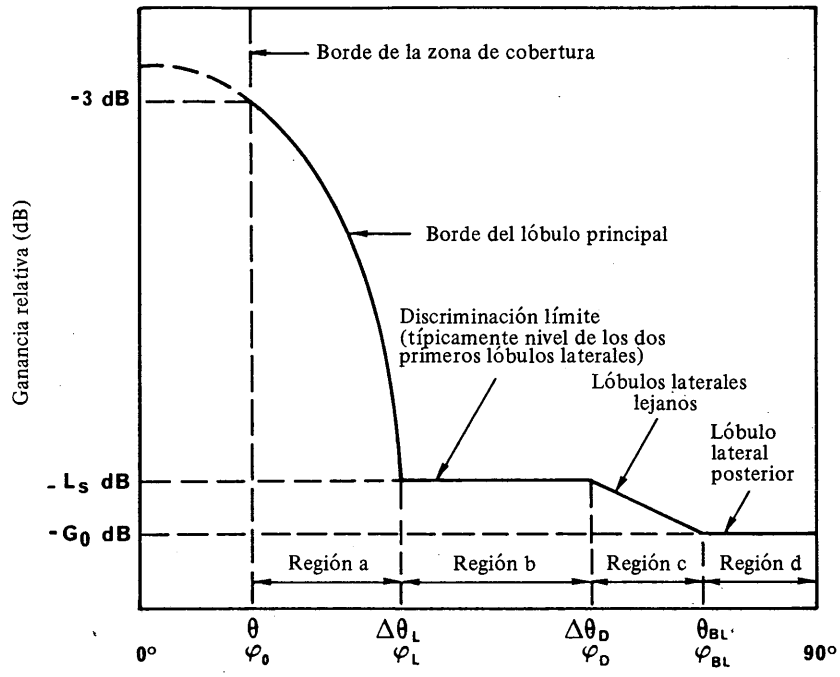


FIGURA 11 – *Posible forma del diagrama de radiación de referencia*

$\Delta\theta$: Ángulo fuera del eje con relación al borde de la zona de cobertura (que se supone equivalente al contorno a –3 dB)

φ : Ángulo fuera del eje con relación al punto de referencia

Otro parámetro que es preciso definir es la dirección particular en que medir esta distancia angular. Un método consiste en medir este ángulo ortogonal desde el contorno de ganancia constante que corresponda más a la zona de cobertura. Este método plantea dificultades cuando algunas partes del contorno de la ganancia son cóncavas, como ocurre con los diagramas conformados crecientes. Para este tipo de diagramas, la dirección ortogonal alejada de un contorno puede cortarse con la ganancia de la zona de cobertura. Desde el punto de vista del diseño de la antena, la dificultad para lograr una buena discriminación en la porción cóncava de un diagrama aumenta con el grado de concavidad. Otro método que permite obviar estos problemas consiste en circunscribir la zona de cobertura mediante un contorno sin concavidad, y medir luego los ángulos ortogonalmente desde este contorno, que se considera como borde de cobertura. Pueden aplicarse otros métodos para definir la dirección de medición; por ejemplo, puede utilizarse como punto de referencia el centro de una elipse circunscrita, pero para todo diagrama de referencia se necesita una definición inequívoca (véanse los § 5.1 y 5.2).

Una vez definida la dirección, los diagramas de radiación pueden dividirse en las siguientes cuatro regiones de interés:

Región a: *Borde del lóbulo principal* (borde de cobertura con respecto al ángulo de discriminación límite)

Se supone que esta región abarca lo que se considera las regiones de cobertura adyacentes. El aislamiento requerido entre redes de satélites se obtendría mediante una combinación de discriminación de antena de satélite y separación orbital.

Una función sencilla para representar esta región podría revestir una forma análoga a la indicada en la ecuación (1) de la fig. 10.

Región b: *Región de cobertura no adyacente*

Esta región comienza donde el diagrama de radiación produce suficiente discriminación para permitir a satélites que ocupan casi la misma posición dar servicio a zonas no adyacentes ($\Delta\theta_L$ en la fig. 11). La discriminación límite (L_s) puede hallarse entre -20 y -30 dB.

Región c: *Región de lóbulos laterales alejados*

Región d: *Región del lóbulo posterior*

Cada una de estas regiones cubre los lóbulos laterales de orden más elevado y se aplica a zonas de servicio muy espaciadas y, en aquellas bandas de frecuencia utilizadas de forma bidireccional, a partes de la órbita. En este último caso hay que tener cuidado cuando se consideren ángulos muy alejados del eje, puesto que las reflexiones imprevistas procedentes del «bus» del satélite y los desbordamientos provocados por el reflector principal pueden producir efectos significativos. Hasta obtener más información al respecto se sugiere utilizar una envolvente de la ganancia mínima de 0 dBi (Región d de la fig. 11).

5. Modelo de diagrama de radiación de haz conformado

A efectos de establecer un modelo de haz conformado previo al diseño práctico de la antena, se presenta a continuación un diagrama de referencia simplificado y los parámetros relacionados tales como zonas de cobertura, punto de referencia, ganancia máxima equivalente y tamaño del haz elemental. Este modelo es adecuado para su aplicación en estudios sobre interferencias mediante computador y, utilizando a la vez mapas satelicentrados, para aplicaciones manuales. La zona copolar de este diagrama se ha obtenido a partir de la curva que se ajusta a las medidas efectuadas sobre varias antenas reales y ha quedado confirmada por predicciones teóricas basadas en suposiciones realistas. El diagrama representa una respuesta que puede obtenerse cuando es necesario controlar el desbordamiento en otras zonas. El diagrama podría ser la base de una Recomendación (véase el anexo IV) que deberá aplicarse solamente para cortes de diagramas de antenas en dirección de sistemas sensibles a las interferencias. Por el contrario, no se deberán aplicar a direcciones donde no hay posibilidad de interferir con otras redes (por ejemplo, fuera de los bordes de la Tierra, regiones despobladas del océano, etc.).

5.1 *Zona de cobertura*

El contorno de la zona de cobertura está relacionado con el polígono que forman los puntos geográficos que definen los límites de la zona de servicio requerida. Como se ha indicado en el § 4, puede que sea difícil obtener una buena discriminación en una parte cóncava del diagrama y puede también que lo sea para todo el modelo en el caso general. Por tanto, a los efectos de este modelo, se supone un polígono convexo. El contorno de la zona de cobertura debe aumentarse a fin de tener en cuenta la pérdida de la puntería de la antena del satélite. Además, puesto que el contorno real de la zona de cobertura es la interacción de varios haces elementales constituyentes, no puede haber picos salientes ni puede ajustarse con exactitud a un polígono de líneas rectas. En consecuencia, el contorno del modelo debe modificarse para tener en cuenta estos aspectos. El radio del haz equivalente en la dirección de interés, expresado como el ángulo subtendido por el satélite, viene dado por la expresión:

$$\begin{aligned} \varphi_0 - \theta_b &\quad \text{para} \quad \psi \leqslant \theta_b - \delta \\ = 2\theta_b &\quad \text{para} \quad \theta_b - \delta < \psi \leqslant 2\theta_b - \delta \\ = \psi + \delta + \mu \cdot \theta_b &\quad \text{para} \quad 2\theta_b - \delta < \psi \end{aligned} \qquad (1)$$

donde:

ψ : distancia angular desde el punto de referencia (§ 5.2) al borde del polígono convexo de la zona de servicio en la dirección de interés,

δ : tolerancia en el error de puntería de la antena,

θ_b : semiabertura del haz elemental (entre puntos a 3 dB), y

μ : factor de escala arbitrario ($\leqslant 1$) que tiene en cuenta las inexactitudes en la forma del haz; una posible definición es:

$$\mu = (\theta_b/\psi)^m \qquad m > 0$$

Hay que indicar que en esta representación no se tiene en cuenta la rotación del haz pero la zona de cobertura, tal cual está definida, ya es de por sí bastante pesimista.

Otro factor a considerar en aplicaciones específicas es el posible requerimiento de haces comunes entre dos o más satélites en diferentes posiciones orbitales sirviendo la misma zona de servicio y, como punto relacionado, la posible necesidad de introducir flexibilidad en la posición orbital. Estos factores influirán también en el aumento y la distorsión de la zona de cobertura con respecto a la zona de servicio.

5.2 *Punto de referencia*

Para la elaboración del modelo examinado en el § 5.1 fue necesario especificar un punto de referencia a través del cual se definan los cortes del diagrama. Un punto adecuado puede ser el centro de la elipse circunscrita mínima vista desde el satélite pero tiene el inconveniente de ser difícil de calcular. Un punto de cálculo mucho más sencillo es el centro de gravedad de los vértices del polígono convexo cuando vienen expresados en coordinadas cuyo centro es el satélite (azimut y elevación). Este punto también es adecuado como punto de referencia cuando los vértices del polígono, visto desde el satélite, están bien distribuidos.

Hay que señalar que, en general, un haz conformado no posee un único centro. Sin embargo, hay comúnmente una alineación óptica definida que se utiliza para el control de puntería del haz. El punto de referencia que se adopte para el diagrama sugerido no tiene por qué coincidir necesariamente con esta alineación.

5.3 *Ganancia máxima equivalente*

En las situaciones en que no es preciso ajustar el haz para compensar la variación de las condiciones de propagación a lo largo de toda la zona de servicio, la mínima ganancia en la zona de cobertura obtenida en el contorno de dicha zona se considera de un valor 3 dB inferior que la ganancia máxima equivalente (G_0). En la práctica, la ganancia máxima real puede ser superior o inferior a la ganancia máxima equivalente y no tiene por qué producirse necesariamente en el eje.

En algunas situaciones puede existir una gran variación de las condiciones de propagación sobre la zona de servicio o puede que las características del servicio exijan un ajuste especial del haz a la forma de la zona de servicio. En estos casos, se calcula la mínima ganancia relativa que se precisa (con respecto a la ganancia media sobre el contorno de la zona de cobertura) en cada vértice del polígono y se utiliza una interpolación lineal para determinar la ganancia relativa en los azimutes intermedios partiendo del azimut del eje del haz. En estas condiciones, la ganancia en el contorno de la zona de cobertura depende de la dirección.

Obsérvese que si se trata de un haz conformado, la variación de la ganancia dentro de la zona de cobertura no se relaciona con la reducción de la ganancia en zonas más allá del borde de cobertura. El rendimiento de la antena dentro de la zona de cobertura, incluida la ganancia, no se relaciona con la interferencia introducida en sistemas adyacentes. La variación de la ganancia dentro de la zona de cobertura, por lo tanto no necesita caracterizarse en diagramas de referencia de haces conformados.

5.4 *Tamaño del haz elemental*

Los niveles de los lóbulos laterales se determinan a partir de la función iluminación de la apertura. Si se considera esta función de la forma:

$$f(x) = \cos^N \left(\frac{\pi}{2} \cdot x \right) \quad |x| \leqslant 1 \tag{2}$$

esta función toma el valor de cero en el borde de la apertura. Para $N > 0$, el radio del haz elemental, en función del nivel de los lóbulos laterales (en dB) y de la relación D/λ, viene dado, en el margen que interesa, aproximadamente por la fórmula:

$$\theta_b \approx (16{,}56 - 0{,}775\ L_s)\ \lambda/D \qquad \text{grados} \tag{3}$$

donde L_s es el nivel relativo (en dB) de los dos primeros lóbulos laterales.

Esta expresión pone de manifiesto el compromiso existente entre el diámetro de la antena, el nivel de los lóbulos laterales y la inclinación de las regiones de la falda del lóbulo principal. Se ha obtenido ajustando los resultados obtenidos utilizando el cálculo utilizado en [Silver, 1984] para diferentes niveles de lóbulos laterales. Se utilizó un proceso similar en unión de los resultados medidos para obtener expresiones aproximadas sencillas de otros parámetros utilizados en el diagrama.

5.5 *Diagrama copolar de referencia*

A continuación se presenta un diagrama copolar generalizado, para futuras antenas de haz conformado, basado en medidas realizadas sobre varias antenas de haz conformado (satélites Brasilsat, Anik-C, TDRSS, Intelsat-V y G-Star) y en consideraciones teóricas. Se da el modelo en forma general tomando como variable el nivel de los lóbulos laterales a fin de facilitar los posibles estudios paramétricos. En las bandas de 6/4 GHz puede obtenerse un nivel de lóbulos laterales de -25 dB sin grandes dificultades utilizando una antena de bocina múltiple y reflector sólido, de aproximadamente 2 m de diámetro cuya puesta en órbita sea posible mediante un lanzador del tipo PAM-D. Para lograr una discriminación de 30 dB se precisa una antena de mayor diámetro si hay que controlar o proteger un margen angular apreciable. En las bandas de 14/11 GHz del servicio fijo por satélite, la discriminación de 30 dB puede lograrse generalmente con la antena de 2 m de diámetro y el empleo de un alimentador de diseño más sofisticado.

Para el interior de la región de cobertura se presenta un diagrama arbitrario a fin de lograr continuidad y una indicación de la ganancia en aquellas partes de la zona de cobertura que caigan fuera de la zona de servicio. No es posible establecer un modelo adecuado de las características de la ganancia en esta región de una forma general y para la mayoría de los estudios preliminares de la interferencia no se precisa dicho modelo.

En las regiones de los lóbulos laterales alejados hay muy poca información sobre medidas, para ángulos fuera del eje de elevado valor, en las cuales basar un modelo. Las reflexiones producidas en la estructura del satélite, los desbordamientos producidos por los elementos del sistema de alimentación y la radiación directa procedente del agrupamiento de la alimentación provocan incertidumbres, en los valores de los parámetros en direcciones angulares que se apartan bastante del eje, que invalidan las estimaciones teóricas realizadas. La medida en esta región es muy difícil y en consecuencia se precisan más estudios si se desea emplear el modelo en aplicaciones de bandas invertidas. Mientras tanto se recomienda una ganancia mínima de meseta de 0 dBi.

Hay que señalar que el diagrama que se sugiere sólo debe aplicarse en las direcciones en las que deba considerarse el nivel de los lóbulos laterales. En direcciones no críticas, por ejemplo regiones oceánicas o más allá del limbo de la Tierra o en cualquier otra dirección en la que no interesa conocer el valor de la interferencia, no es preciso que este diagrama sea un modelo representativo.

5.5.1 *Modelo copolar general para antenas de haz conformado*

Se propone la utilización del siguiente modelo de 4 segmentos (véase la fig. 11) que representa la envolvente de un diagrama de radiación de una antena de satélite de haz conformado:

–	Región de la zona de cobertura:	$0 \leqslant \varphi/\varphi_0 \leqslant 1$ $G \geqslant G_0 - 3$
–	Región del borde del lóbulo principal:	$1 < \varphi/\varphi_0 \leqslant 1 + C \cdot \theta_b/\varphi_0 \; (= \varphi_L/\varphi_0)$ $G = G_0 - [A + B\,(\varphi_0/\theta_b)^2\,(\varphi/\varphi_0 + \theta_b/\varphi_0 - 1)^2]$
–	Región de los lóbulos laterales adyacentes al principal:	$1 + C \cdot \theta_b/\varphi_0 < \varphi/\varphi_0 \leqslant 1 + E \cdot \theta_b/\varphi_0 \; (= \varphi_D/\varphi_0)$ $G = G_0 + L_s$
–	Región de los lóbulos laterales lejanos:	$1 + E \cdot \theta_b/\varphi_0 < \varphi/\varphi_0 \leqslant \varphi_{BL}/\varphi_0$ $G = G_0 + L_s - 20 \log \varphi/\varphi_0 + 20 \log (1 + E \cdot \theta_b/\varphi_0)$
–	Región del lóbulo posterior:	$\varphi_{BL}/\varphi_0 < \varphi/\varphi_0 \leqslant 90/\varphi_0$ $G = 0$ (4)

donde:

G_0 : ganancia máxima equivalente función del ángulo sólido que subtiende en el satélite la zona de cobertura (dBi),

θ_b : radio del haz elemental, en grados (ecuación (3)),

φ : ángulo fuera del eje medido desde el punto de referencia y teniendo en cuenta la tolerancia en el error de puntería de la antena del satélite,

φ_0 : distancia radial al borde de la zona de cobertura en la dirección de interés medida desde el punto de referencia,

φ_{BL} : ángulo fuera del eje en el que la envolvente de la ganancia cae a un valor de 0 dBi,

L_s : nivel necesario de los lóbulos laterales adyacentes al lóbulo principal (en dB) con respecto a la ganancia máxima equivalente.

A, B, C y E son constantes dadas en el cuadro I a continuación:

CUADRO I – *Parámetros del modelo de antena de haz conformado en función del nivel de los lóbulos laterales*

L_s (dB)	θ_b (grados)	A (dB)	B (dB)	C	E
–20	32,06 λ/D	0,33	2,68	1,71	3,93
–25	35,94 λ/D	–0,02	3,02	1,88	3,85
–30	39,81 λ/D	–0,33	3,33	2,02	3,78
–35	43,68 λ/D	–0,64	3,64	2,13	3,73

5.5.2 *Modelo de polarización cruzada*

Muchas redes de comunicaciones por satélite emplean un sistema de reutilización de frecuencias mediante transmisiones con polarización cruzada. Si bien sólo hay información limitada acerca de las características de la polarización cruzada fuera del haz principal, se admite de forma general que la discriminación por polarización cruzada en la región de los lóbulos laterales es de magnitud similar a la discriminación copolar. Por lo tanto en los estudios sobre interferencias son igualmente significativas las contribuciones copolares y de polarización cruzada. Es preciso realizar más estudios sobre las características de la polarización cruzada de la antena del satélite, en particular fuera del haz principal. En el caso de polarización lineal, al considerar la interferencia entre dos satélites entran en juego varios factores geométricos que son discutidos en el Informe 453.

Los diagramas de radiación de polarización cruzada son muy sensibles al tipo y al sentido de la polarización, a los parámetros de diseño de la antena y a las características de radiación de los elementos de alimentación. Además, los niveles de radiación en polarización cruzada dependen del plano azimutal y en consecuencia no es posible describir la radiación mediante un modelo simétrico circular. Por lo tanto, la radiación en polarización cruzada es más difícil de simular mediante un modelo. Sin embargo, ya se han propuesto varios modelos para describir la radiación de polarización cruzada (véanse los Informes 555 y 810). Uno de ellos, dentro del haz principal, para futuros satélites, es el siguiente:

$$G_x = G_0 - 30 \text{ para } 0 \leqslant \varphi/\varphi_0 \leqslant \varphi_x/\varphi_0 \quad (5)$$

donde φ_x es el ángulo fuera del eje correspondiente a la intersección de la meseta de -30 dB con el diagrama copolar.

5.6 *Ejemplos del rendimiento de antenas de haz conformado*

Se comparó el modelo con la discriminación prevista o medida de varias antenas de satélites incluidos el G-Star, el Anik-C, el TDRSS, el Brasilsat y el Intelsat-V. En las figs. 12 y 13 aparecen dos ejemplos.

La fig. 12 muestra un corte radial para una polarización en el caso del Brasilsat y para una relación D/λ de 23,8. A efectos de comparación, el parámetro referente al nivel del primer lóbulo lateral se fijó a un valor de -22 dB (con respecto a la ganancia de máxima). En este caso el modelo muestra un valor conservador en la zona del lóbulo principal.

La fig. 13 muestra un corte representativo del TDRSS, siendo en esta ocasión de 20,4 la relación entre el diámetro y la longitud de onda y de -26 dB el nivel fijado para el primer lóbulo lateral. Aquí, el modelo hace una ligera sobreestimación de la discriminación en la zona plana del lóbulo principal.

En el anexo II aparecen algunos datos medidos sobre antenas de haz conformado más allá del borde de cobertura. En la fig. 14 se dibujan los puntos obtenidos en estas medidas (en las que se procuró obtener valores bajos de los lóbulos laterales) con respecto a la función $D/\lambda = 67{,}5/\Delta\theta_L$ correspondiente a un nivel de lóbulos laterales de -25 dB (o una discriminación relativa desde el borde de cobertura de -22 dB) para la banda de frecuencias del enlace descendente en 4 GHz. También se muestran las funciones $D/\lambda = 80/\Delta\theta_L$ y $93/\Delta\theta_L$ que corresponden a niveles de lóbulos laterales de -30 dB y -35 dB, respectivamente. $\Delta\theta_L$ es el ángulo entre el borde de la zona de cobertura y la parte plana de los lóbulos laterales.

La fig. 15 emplea el modelo para ilustrar el efecto de ensanchamiento del haz cuando los niveles de los lóbulos laterales mejoran de 17 dB a 37 dB por debajo del borde de la ganancia de la zona de cobertura. Sólo se muestran las regiones de caída del lóbulo principal y la meseta de los lóbulos laterales adyacentes al principal para poner de relieve el efecto de ensanchamiento del haz con niveles mejorados de los lóbulos laterales. Estas dos regiones del diagrama conjunto son normalmente las más críticas con respecto a las consideraciones acerca de la utilización del recurso órbita-espectro.

5.7 *Aplicación a una antena sencilla*

El modelo descrito con anterioridad pasa a ser un diagrama simple de haz cuando $\theta_b = \varphi_0$. Sin embargo, en la región de los lóbulos laterales lejanos, el modelo de haz conformado tiene en cuenta la interacción de un conjunto de haces elementales suponiendo una pendiente de 20 dB por década, en vez de la convencional de 25 dB por década que es típica de una antena sencilla. Por tanto, en esta región, el modelo es pesimista cuando se aplica a haces puntuales. Afortunadamente, como se ha indicado antes, esta región no es demasiado crítica en los estudios sobre la utilización del espectro y de la órbita y no habría grandes inconvenientes en utilizar el modelo de haz conformado a todas las regiones.

5.8 *Limitaciones del modelo de haz conformado propuesto*

El modelo sugerido para haces conformados se relaciona con la anchura de haz a 3 dB del haz elemental. Este parámetro es función de la forma y del tamaño del reflector, así como de la iluminación de la abertura. En sistemas de antena de haz conformado con bajo decrecimiento en el borde, puede utilizarse este haz elemental teórico para describir el comportamiento en cuanto a ganancia del haz componente orientado en la dirección de puntería. Sin embargo, este modelo no es válido para describir haces componentes explorados muy lejos del eje, y ello es debido a las degradaciones en la exploración. La fig. 16 ilustra el comportamiento de los haces componentes explorados, pudiendo apreciarse que la degradación es función de la posición. Esta observación es asimismo válida para los diagramas de haces conformados, en los que existen haces componentes muy separados con respecto a la dirección de puntería.

El otro punto de interés es la forma en que se define la abertura angular de la zona de caída que, a su vez, depende de la orientación del corte del diagrama de radiación. Este problema podría resolverse tomando la dirección del corte normal al contorno de la zona de cobertura y elimina las porciones cóncavas del diagrama como se indica en el § 4.3. Este problema ha de investigarse en el próximo periodo de estudios.

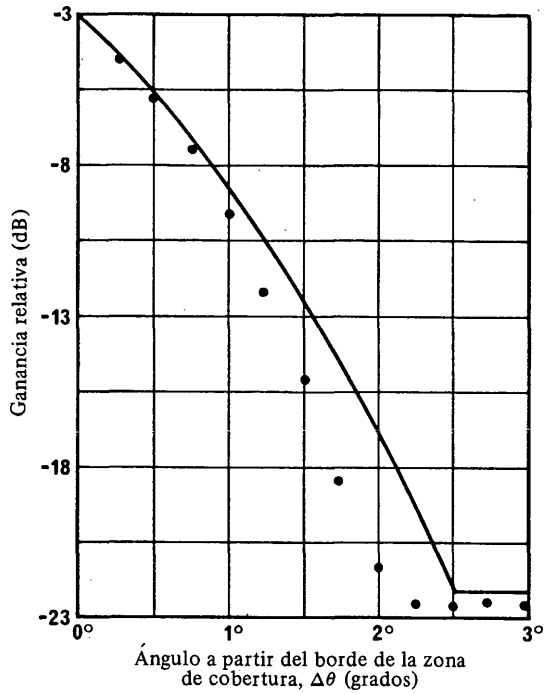


FIGURA 12 – *Comparación del modelo paramétrico de haz conformado con los datos medidos en el Brasilsat*

••• Datos medidos sobre la antena del Brasilsat ($D/\lambda = 23{,}8$; $L_S = -22$ dB)

——— Modelo paramétrico

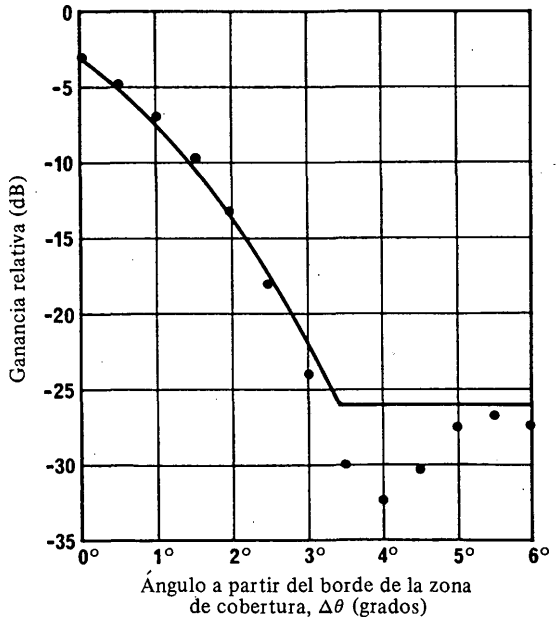


FIGURA 13 – *Comparación del modelo paramétrico de haz conformado con los datos medidos en el TDRSS*

••• Datos medidos sobre la antena del TDRSS ($D/\lambda = 20{,}43$; $L_S = -26$ dB)

——— Modelo paramétrico

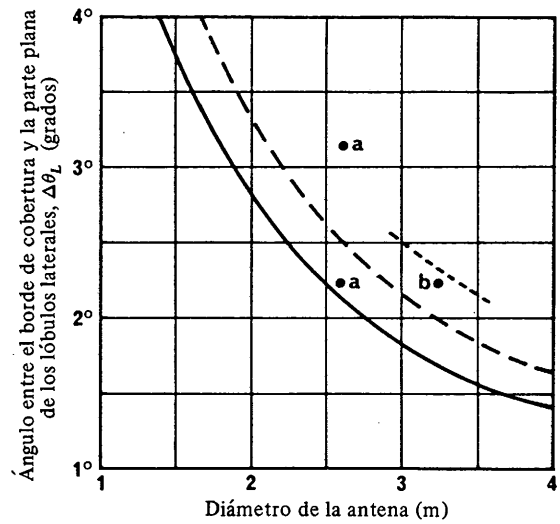


FIGURA 14 – *Comparación del modelo con medidas realizadas*

Frecuencia = 3,7 GHz

- **a** Datos medidos en el Intelsat-V (dos haces) (L_s = –30 dB)
- **b** Datos medidos sobre la antena de desarrollo experimental (L_s = –35 dB)

——— L_s = –25 dB

— — L_s = –30 dB

– – – – – L_s = –35 dB

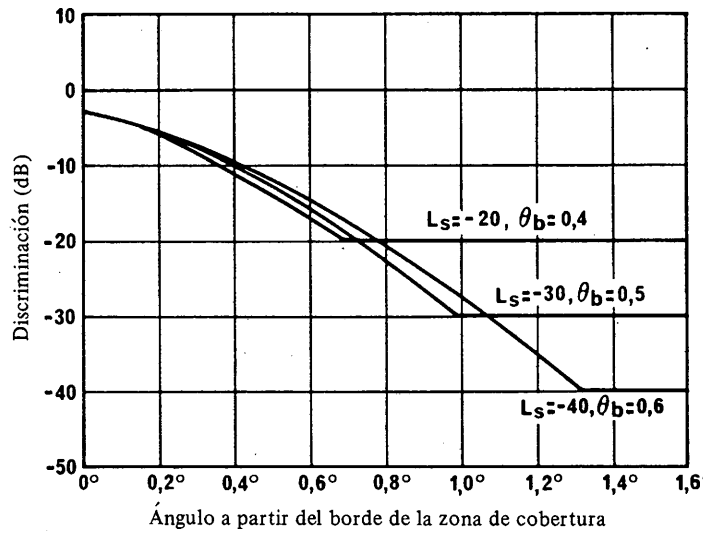


FIGURA 15 – *Efecto de ensanchamiento del haz*

f = 12 GHz, diámetro = 2 m

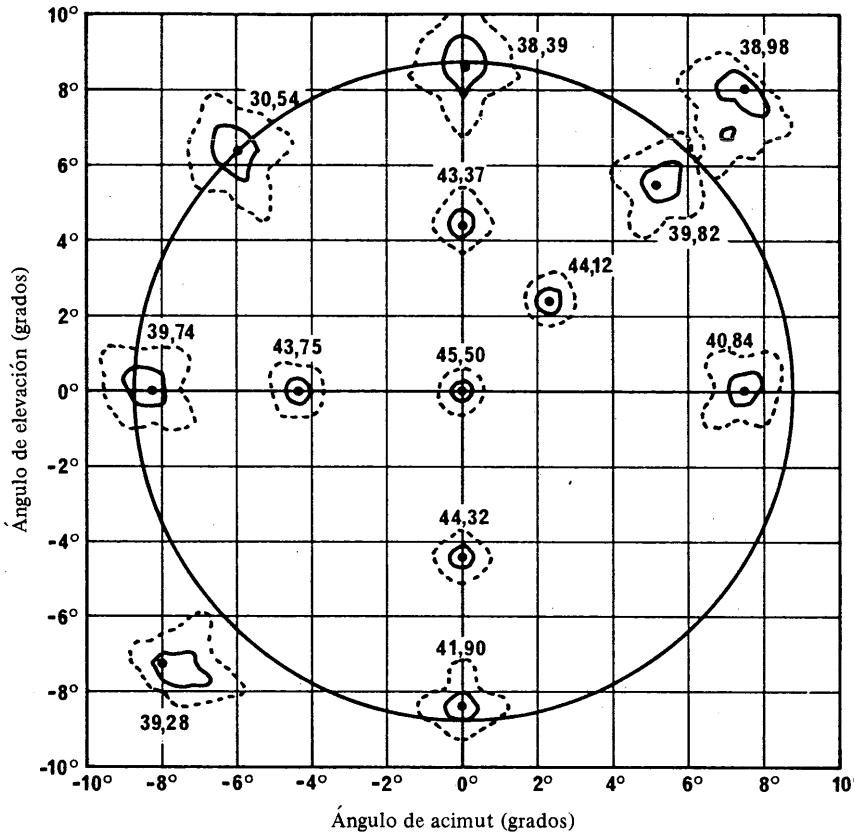


FIGURA 16 – *Haces componentes producidos por un sistema de antena de un solo reflector parabólico descentrado, con 6,375 m de diámetro del reflector* ($D/\lambda = 85$)

D = 6,375 m, F/D = 1,15, f = 4,0 GHz, Alimentador de bocina de satélites Intelsat-VI

——— Niveles en el contorno: 5 dB

- - - - - - 10 dB

6. Conclusiones

En conclusión, deben tomarse precauciones al relacionar los diagramas de una antena de satélite de haces conformados con un haz componente concreto. Pueden presentarse también dificultades en el diseño de antenas de haz conformado para funcionar en varias bandas de frecuencia. El margen de validez de los modelos propuestos tiene, por lo tanto, que ser examinado cuidadosamente, y estudiarse con mayor detalle la posibilidad de aplicación a haces conformados complejos generados por sofisticadas antenas multihaz.

Las antenas de haz conformado pueden proporcionar un haz principal adaptado a la zona de servicio y un control excelente de la radiación de los lóbulos laterales fuera de la zona de servicio. En cambio, la utilización de haces conformados puede limitar la posible reubicación de los satélites, salvo si el haz puede reconfigurarse por telemando (véase el Informe 1002).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SILVER, S. [1984] *Microwave Antenna Theory and Design*, Capítulo 6, Peter Peregrinus Ltd., Herts, Inglaterra.

Documentos del CCIR

[1982-86]: 4/233 (Italia).

BIBLIOGRAFÍA

DION, A. y RICARDI, L. [febrero de 1971] A variable coverage satellite antenna system. *Proc. IEEE*, Vol. 59, **2**, 252-262.

DUNCAN, J. W. [octubre de 1969] Maximum off-axis gain pencil beams. *Proc. IEEE (Lett.)*, Vol. 57, **10**, 1791-1792.

TAYLOR, T. T. [enero de 1960] Design of circular apertures for narrow beamwidth and low side-lobes. *IRE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-8, **1**, 17-22.

TILLOTSON, L. C. [diciembre de 1968] A model of a domestic satellite communication system. *BSTJ*, Vol. 47, **10**, 2111-2137.

Documentos del CCIR

[1982-86]: 4/21 (Estados Unidos de América); 4/96 (Estados Unidos de América); 4/94 (Estados Unidos de América).

ANEXO I

ANTENAS DE SATÉLITE DE HAZ CONFORMADO

1. Introducción

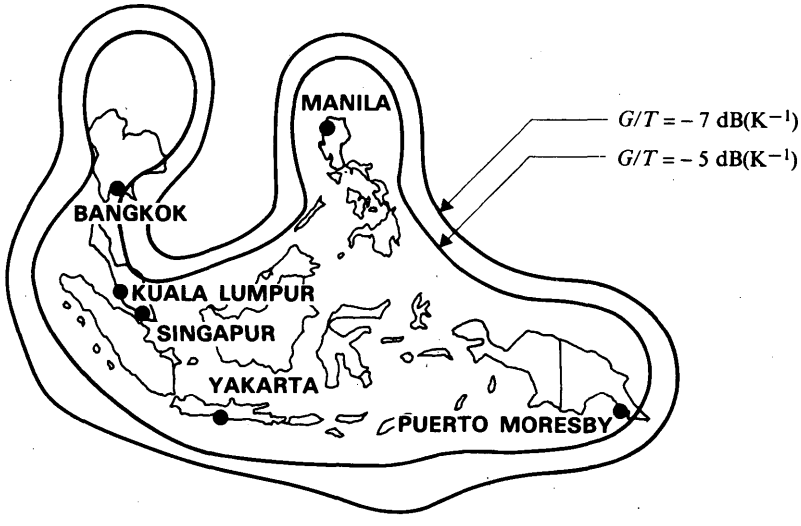
Debido a las diferencias de distancias y de atenuación atmosférica entre un satélite y diferentes puntos de la Tierra, un haz global convencional de máxima ganancia en dirección al centro de la Tierra no es óptimo, debido a que la ganancia más elevada se obtiene precisamente donde las pérdidas de propagación son mínimas. Dado que los trayectos tangentes a la Tierra son más largos y el recorrido a través de la atmósfera mayor, la ganancia de la antena debe ser máxima en esta región y algo menor en la dirección perpendicular a la superficie de la Tierra. Este tipo de haz global es muy conveniente desde el punto de vista de la utilización eficaz de la potencia del satélite. Se han estudiado y desarrollado antenas con haces de este tipo, utilizando técnicas de bocina con carga dieléctrica [Satoh, 1972] o de un sistema de bocinas múltiples [Ajioka y Harry, 1970].

2. Técnicas de conformación de haces

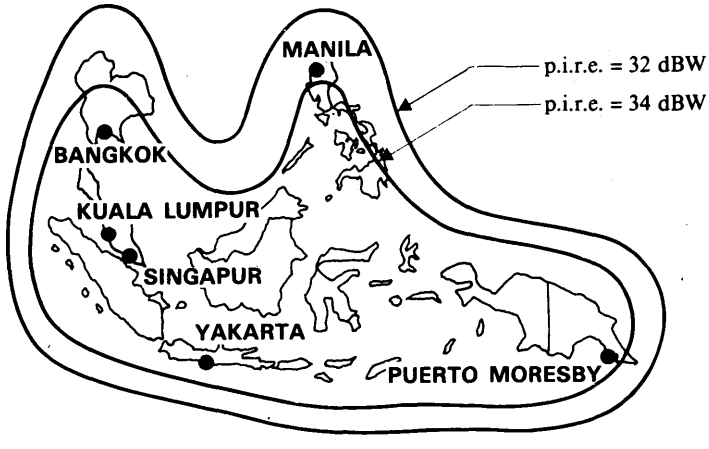
Para un determinado reflector parabólico, el núcleo del sistema de la antena para un haz conformado, consiste en las bocinas del alimentador y en los circuitos que encaminan la potencia a las bocinas para producir la iluminación óptima del reflector para una conformación del haz específica. La capacidad puede aumentarse – y utilizarse más eficazmente las frecuencias – empleando los dos sentidos de la polarización. Agrupamientos de 15 bocinas o más pueden disponerse en varias filas, formando los haces para cada polarización. Estos grupos de bocinas y los circuitos que los alimentan son usualmente comunes para las bandas de frecuencia de transmisión y recepción.

El análisis del acoplamiento mutuo entre alimentadores presenta dos aspectos. En primer lugar, en el caso de un haz individual, se traduce en una débil excitación parásita de todos los demás alimentadores próximos al formar un grupo, el efecto del acoplamiento mutuo es el de modificar la impedancia de entrada de cada alimentador, lo que impide obtener exactamente la repartición deseada de amplitd y desfasaje relativos entre los alimentadores. De esta manera la principal ventaja del cálculo de predicciones por computador para esta técnica es obtener estimaciones del número de alimentadores necesarios y de sus posiciones aproximadas en el plano focal de la antena; sin embargo, no cabe esperar de este cálculo predicciones muy exactas respecto de los contornos finales de aislamiento.

Son ejemplos de sistemas de antenas que hacen uso de esta técnica los utilizados en el satélite Palapa-B para Indonesia y en el satélite Anik-C para Canadá, como se muestra en las figs. 17 y 18, respectivamente.

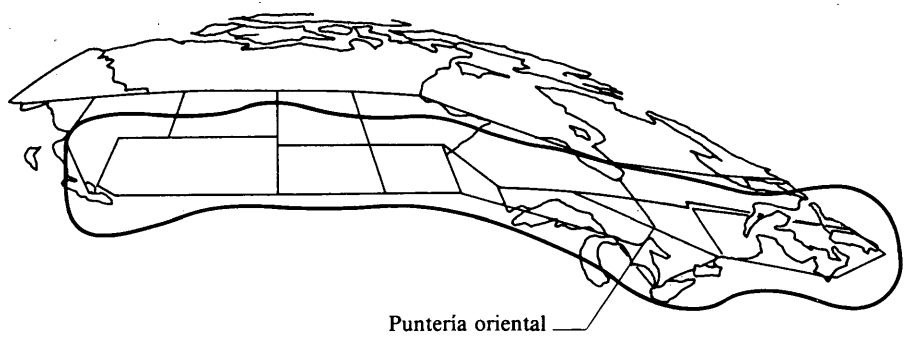


a) Recepción

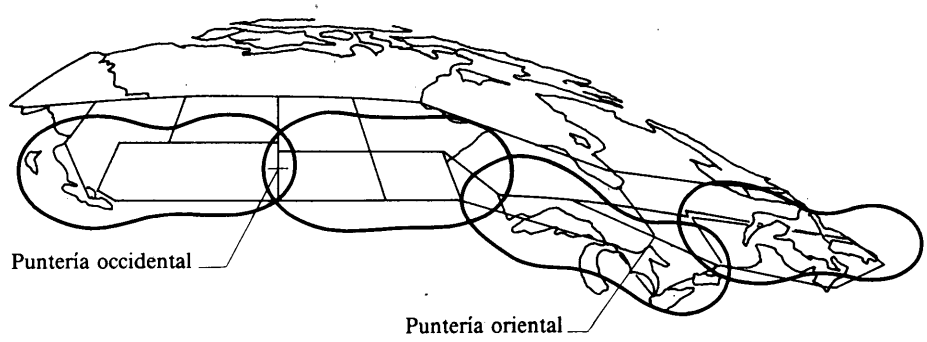


b) Transmisión

FIGURA 17 – *Cobertura del satélite Palapa-B*



a) Recepción



b) Transmisión

FIGURA 18 – *Cobertura del satélite Anik-C*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AJIOKA, J. S. y HARRY, H. E. [mayo de 1970] Shaped beam for earth coverage from a stabilized satellite. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-18, **3**, 323-327.

SATOH, T. [marzo de 1972] Dielectric-loaded horn antennae. *IEEE Trans. Ant. Prop.*, Vol. AP-20, **2**, 199-201.

ANEXO II

MEDICIONES DE LOS LÓBULOS LATERALES DE ANTENAS DE HAZ CONFORMADO

Se dan seguidamente algunos datos medidos de la discriminación más allá del borde de cobertura correspondientes a varias antenas diferentes de haz conformado. Tales datos corresponden en términos generales a las tres categorías siguientes:

Categoría 1 caso en que se procuró conseguir una gran discriminación;

Categoría 2 caso en que se dio menor importancia a la discriminación;

Categoría 3 caso en que no se dio importancia alguna a los niveles de los lóbulos laterales.

Categoría 1

La fig. 19 contiene datos correspondientes al haz de la zona del Índico y al haz hemisférico de un satélite Intelsat-V. En la fig. 20 se muestra la calidad medida de una antena en proyecto de 3,2 m de abertura concebida para funcionar en la banda de 4 GHz. Esta antena es del tipo de antenas provistas de reflector con múltiples alimentadores descentrados y se utilizará en un futuro satélite. Se emplearon en este caso técnicas reductoras de los lóbulos laterales para lograr un alto grado de discriminación fuera de la zona de cobertura, en las direcciones que interesaban.

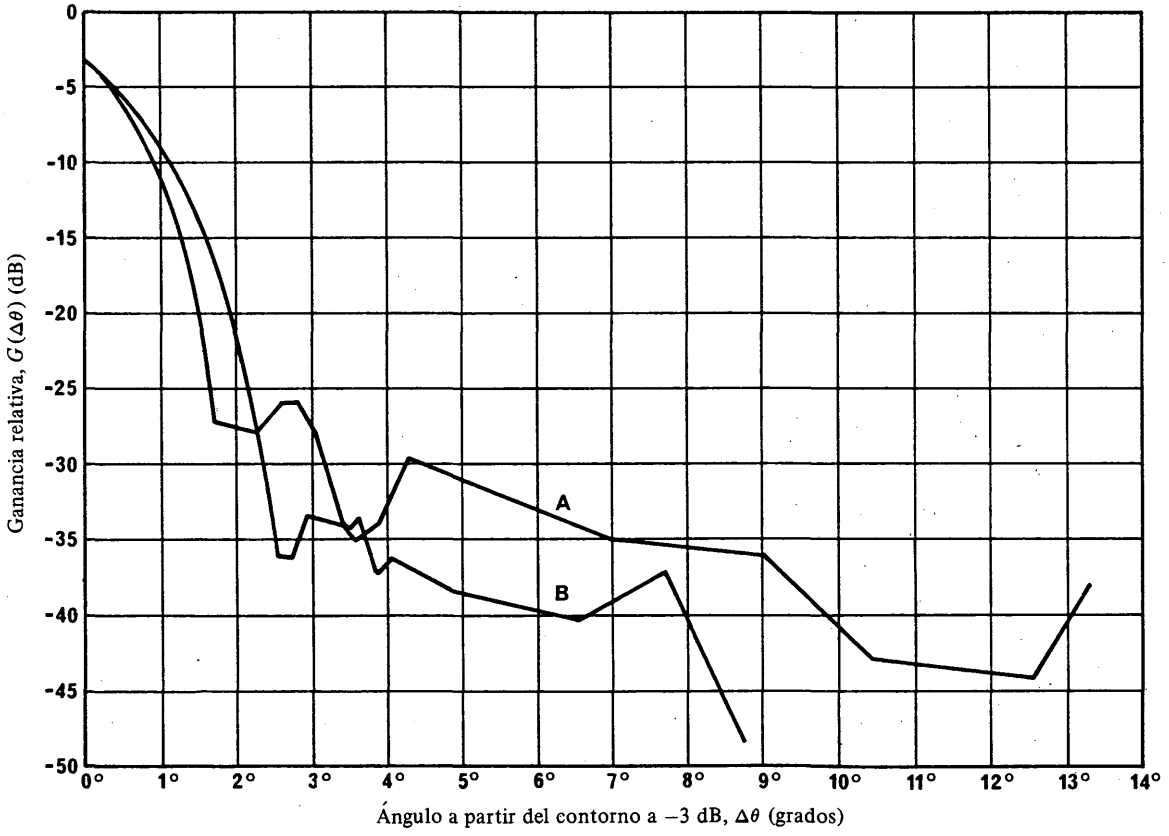


FIGURA 19 – *Niveles de los lóbulos laterales en la dirección de interés; datos medidos en un satélite Intelsat-V*

Frecuencia = 4 GHz

A: Haz de la zona del Índico (anchura del haz 4,6°)

B: Haz hemisférico (anchura del haz 8°)

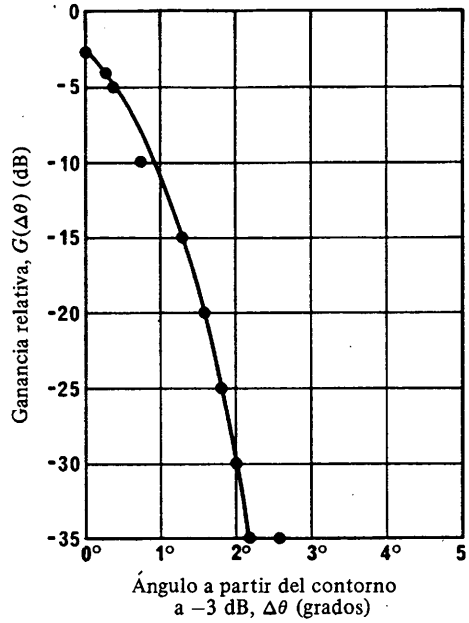


FIGURA 20 – *Datos medidos correspondientes a una antena en proyecto, provista de un reflector con múltiples alimentadores descentrados, después de reducir los lóbulos laterales*

Anchura del haz a −3 dB = 4,08°
Frecuencia = 4 GHz

Categoría 2

La fig. 21 contiene datos sobre el haz de la zona del Índico y el haz hemisférico de un satélite Intelsat-V en direcciones de menor importancia para el logro de una gran discriminación. Se trata también de antenas reflectoras con múltiples alimentadores descentrados.

Categoría 3

La fig. 22 contiene datos sobre la antena en proyecto mencionada en la categoría 1, tomados antes de que se adoptasen medidas para reducir los niveles de los lóbulos laterales.

Las figs. 23 y 24 representan perfiles de diagrama de haz conformado obtenidos por un satélite nacional RCA con un sistema de antena conformado en las bandas 6/4 GHz. Los diagramas han sido producidos por un reflector descentrado no desplegado de 28 longitudes de onda con una relación «distancia focal/diámetro de abertura» (F/D) de aproximadamente 0,65, en el plano focal transversal. La antena se diseñó sin limitaciones respecto a lóbulos laterales o forma del borde del haz.

Otro diseño de antena de haz conformado, que funciona en las bandas 14/11 GHz en un satélite nacional de la compañía americana «RCA», se examinó utilizando los cortes de diagrama de haz conformado de las figs. 25 y 26. Este sistema de antena conformada emplea un reflector descentrado fijo con una F/D de aproximadamente 0,65 y un diámetro nominal de 60 longitudes de onda. Como en el caso de los diseños anteriores, no se impusieron limitaciones sobre reducción de los lóbulos laterales o del diagrama de radiación.

Haces puntuales

Se hicieron mediciones de la antena lenticular con 61 elementos alimentadores, representadas en la fig. 27, ajustada para producir un haz puntual. La fig. 28 contiene datos medidos con un haz puntual de una antena reflectora con alimentación descentrada de un satélite Intelsat-V que funcionaba en la banda de 11 GHz.

Comentario general

La magnitud del ensanchamiento del borde del lóbulo principal varía y depende de muchos otros factores del diseño de la antena. Sin embargo, en el caso de una zona de cobertura determinada, el empleo de haces conformados asegurará en general una discriminación más allá del borde de cobertura muy superior a la de un solo haz. El costo adicional de proporcionar cobertura con una antena de haz conformado no representa sino un pequeño porcentaje del costo total del vehículo espacial.

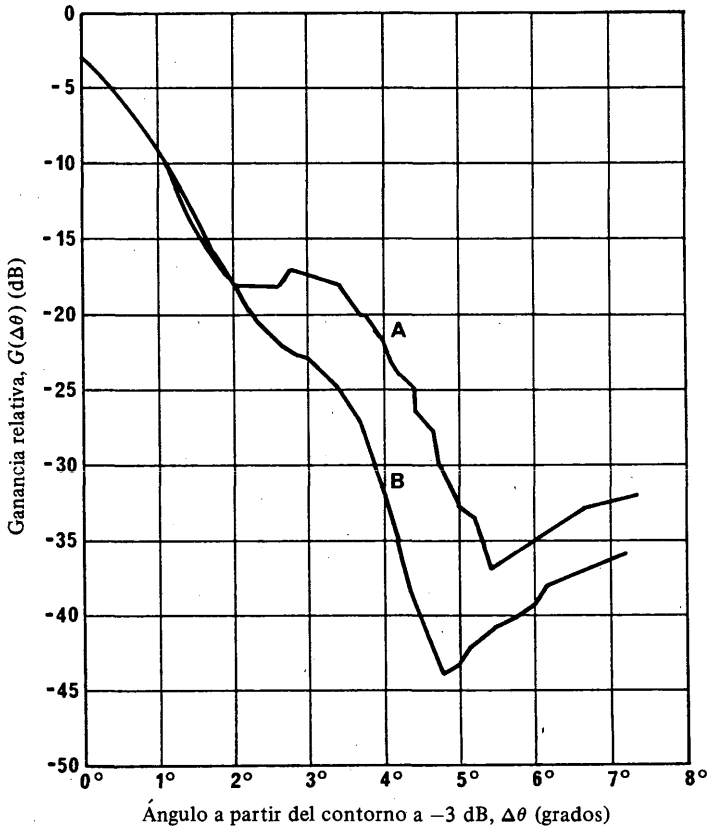


FIGURA 21 – *Niveles de lóbulos laterales en las direcciones de menor interés; datos medidos en un satélite Intelsat-V*

Frecuencia = 4 GHz

A: Haz hemisférico (anchura del haz 9,75°)

B: Haz de la zona del Índico (anchura del haz 6,6°)

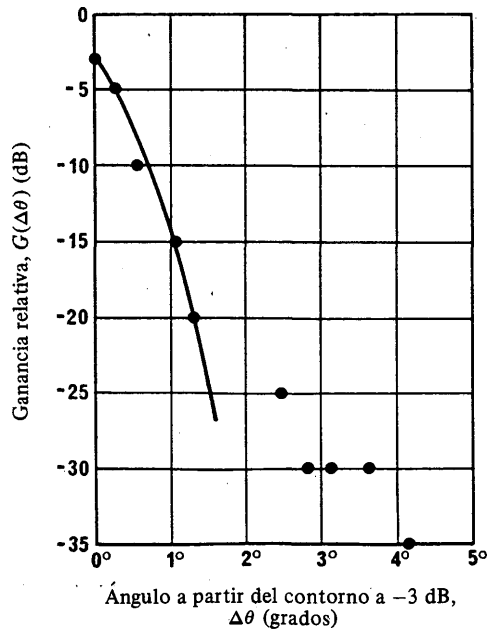


FIGURA 22 – *Datos medidos correspondientes a la antena en proyecto antes de reducir los lóbulos laterales*

Anchura del haz a −3 dB = 2,31°

Frecuencia = 4 GHz

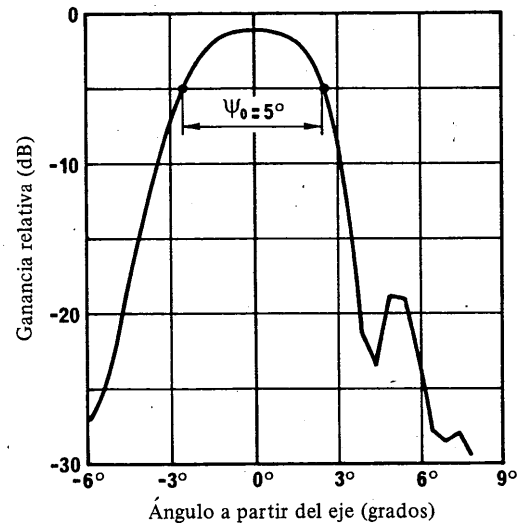


FIGURA 23 – *Haz conformado de modo dual para las bandas 6/4 GHz Abertura de 28 λ*

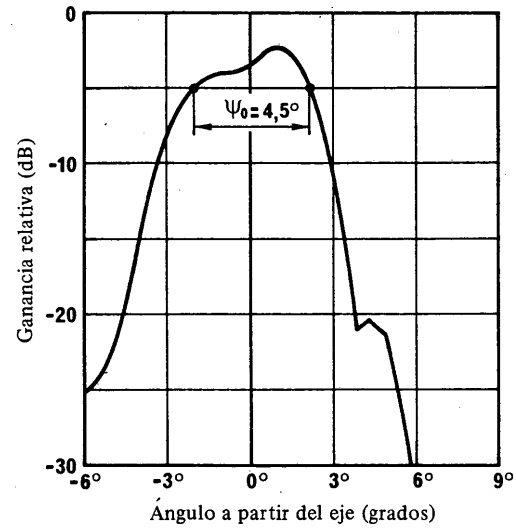


FIGURA 24 – *Haz conformado de modo dual para las bandas 6/4 GHz Abertura de 28 λ*

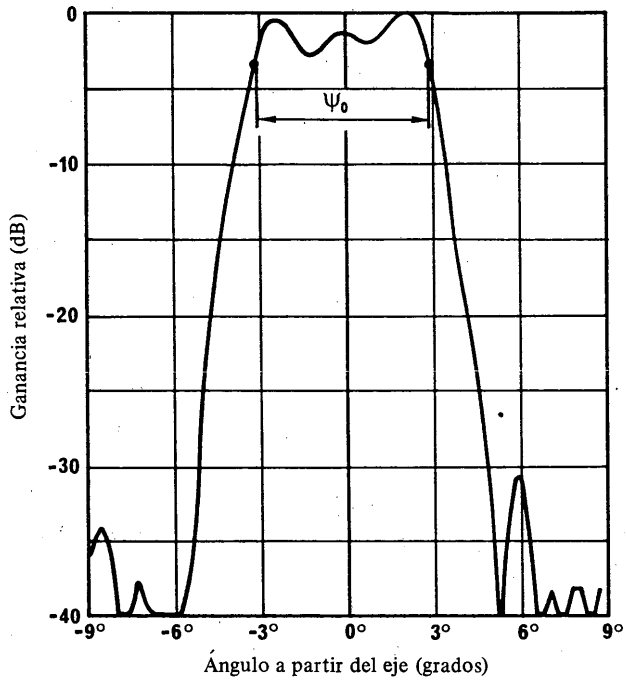


FIGURA 25 – *Haz conformado para las bandas 14/11 GHz*
Abertura 60 λ

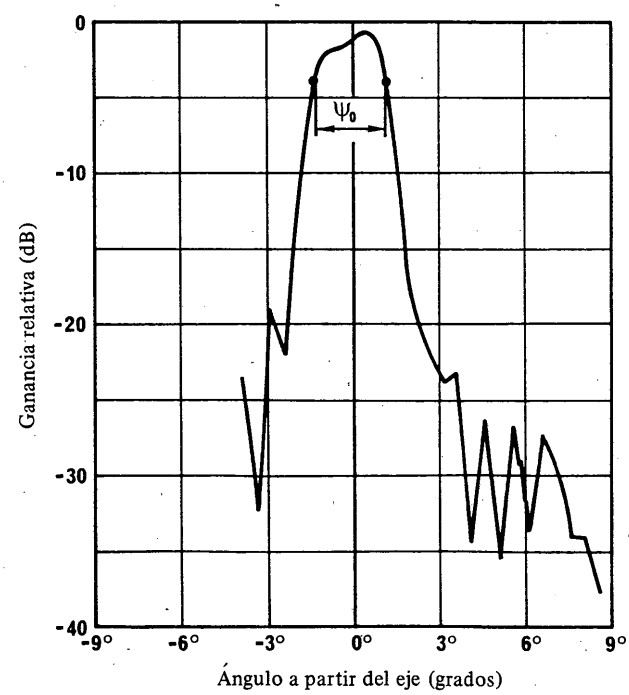


FIGURA 26 – *Haz conformado para las bandas 14/11 GHz*
Abertura 60 λ

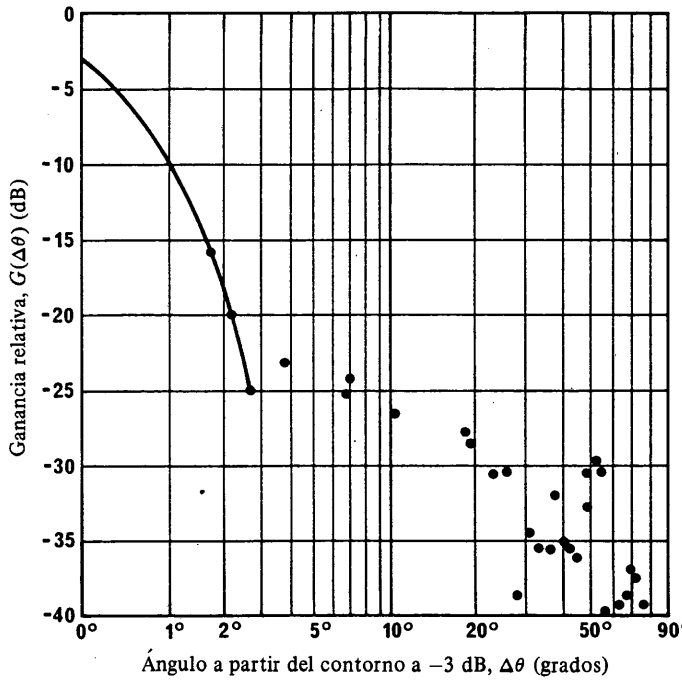


FIGURA 27 – *Datos fuera del haz para una antena lenticular de satélite con un sistema de alimentadores de 61 elementos*

Anchura del haz a −3 dB = 20°
Frecuencia = 8 GHz

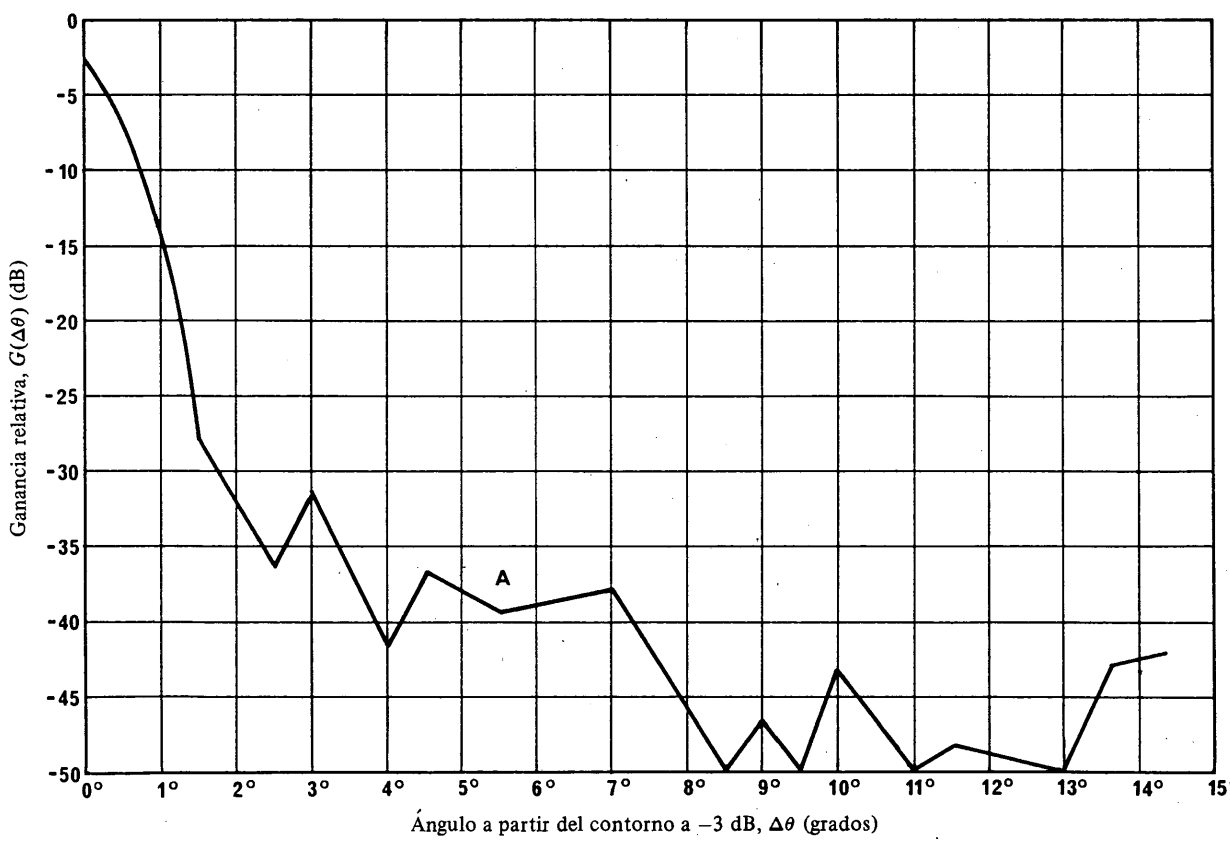


FIGURA 28 – *Datos medidos en un satélite Intelsat-V*

Frecuencia = 11 GHz

A: Haz puntual occidental (anchura del haz a −3 dB = 1,6°)

ANEXO III

DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE LA ANTENA DEL SATÉLITE OLYMPUS

El satélite Olympus de la ESA, en fase de construcción, transportará varias cargas útiles de comunicaciones, una de las cuales es un transpondedor de radiodifusión directa desde satélite que cubrirá Italia (TVB 1). La antena TVB 1 satisfará en su diseño los requisitos de la CAMR-RS-77 para los satélites italianos de radiodifusión.

Se está probando actualmente un modelo de ingeniería (EM) de la antena TVB 1, y en las figs. 29 y 30 se presentan diagramas de radiación típicos en el enlace descendente para los planos principales de antena.

Los requisitos de envolvente de diagrama de radiación a tener en cuenta en el diseño copolar de la antena son las curvas plantilla presentadas en el Reglamento de Radiocomunicaciones, apéndice 30, anexo 8, las cuales se presentan superpuestas a los diagramas registrados para facilitar la comparación.

El comportamiento de esta antena se ha medido en una instalación de prueba de campo lejano al aire libre, con un valor típico de -50 dB de reflectividad interferente. Existe, pues, cierta imprecisión inevitable en los diagramas registrados, la cual aumenta cuando los niveles disminuyen. Un nivel registrado de -40 dB con respecto a la cresta del haz podría ser en la realidad de $-37{,}5$ dB (en el caso más desfavorable).

La incorporación en la antena de un sistema sensor de RF en bucle cerrado implica tener que volver a dirigir el haz radiado. Ello se consigue girando solamente el reflector principal para modificar un máximo de 0,25° la puntería del haz en cualquier dirección con respecto al sistema de referencia de la antena, a fin de mantener una precisión total de puntería de 0,1°, como exige la CAMR-RS-77. El efecto de esta modificación de la puntería en el margen de captación previsto del sensor de RF se espera que no influya apreciablemente sobre las características de radiación, especialmente por ser el correspondiente giro del reflector aproximadamente la mitad de la exploración de haz requerida.

El diagrama de radiación para la componente copolar de antena en la dirección del eje del haz amplio se presenta, en la fig. 29 y puede constatarse que satisface las plantillas de la CAMR-RS-77.

El nivel de la componente contrapolar de la antena se ha elevado en 20 dB con respecto a los niveles del haz principal, pero respecta plenamente la plantilla de la CAMR-RS-77 con excepción de una pequeña zona en la dirección de puntería*.

En el diagrama de radiación para la componente copolar de una antena en la dirección del eje del haz estrecho de la fig. 30, vemos que se rebasa marginalmente la plantilla de la CAMR-RS-77 para valores del ángulo θ comprendidos entre 12° y 25°, a uno y otro lado de la dirección de puntería del haz.

Los diagramas copolares en ambos ejes presentan una simetría bastante elevada en las regiones de lóbulos laterales, incluso en la zona de no cumplimiento del plano del haz estrecho. Esto implica un buen margen de medición, con ausencia de reflexiones apreciables del emplazamiento local.

Se miden anchos de banda a potencia mitad de $2{,}32 \times 1{,}00°$, mientras que la CAMR-RS-77 recomienda $2{,}38 \times 0{,}98°$. A pesar de ello y de la pequeña desviación de la plantilla CAMR mencionada anteriormente, se consigue un pleno cumplimiento del Reglamento de Radiocomunicaciones, apéndice 30, respetando la envolvente admisible de la p.i.r.e. La cresta de p.i.r.e. radiada en la realidad se mantiene sensiblemente inferior al nivel recomendado en el Reglamento de Radiocomunicaciones.

---

* Tras consultar a las autoridades italianas, se ha suavizado el requisito de radiación contrapolar en torno a la dirección de puntería, ya que se considera innecesaria tal exigencia (como se indica en el Informe 810). Además, si ello tuviera algunas consecuencias, sólo serían de la incumbencia de la Administración italiana puesto que afectan únicamente a su territorio.

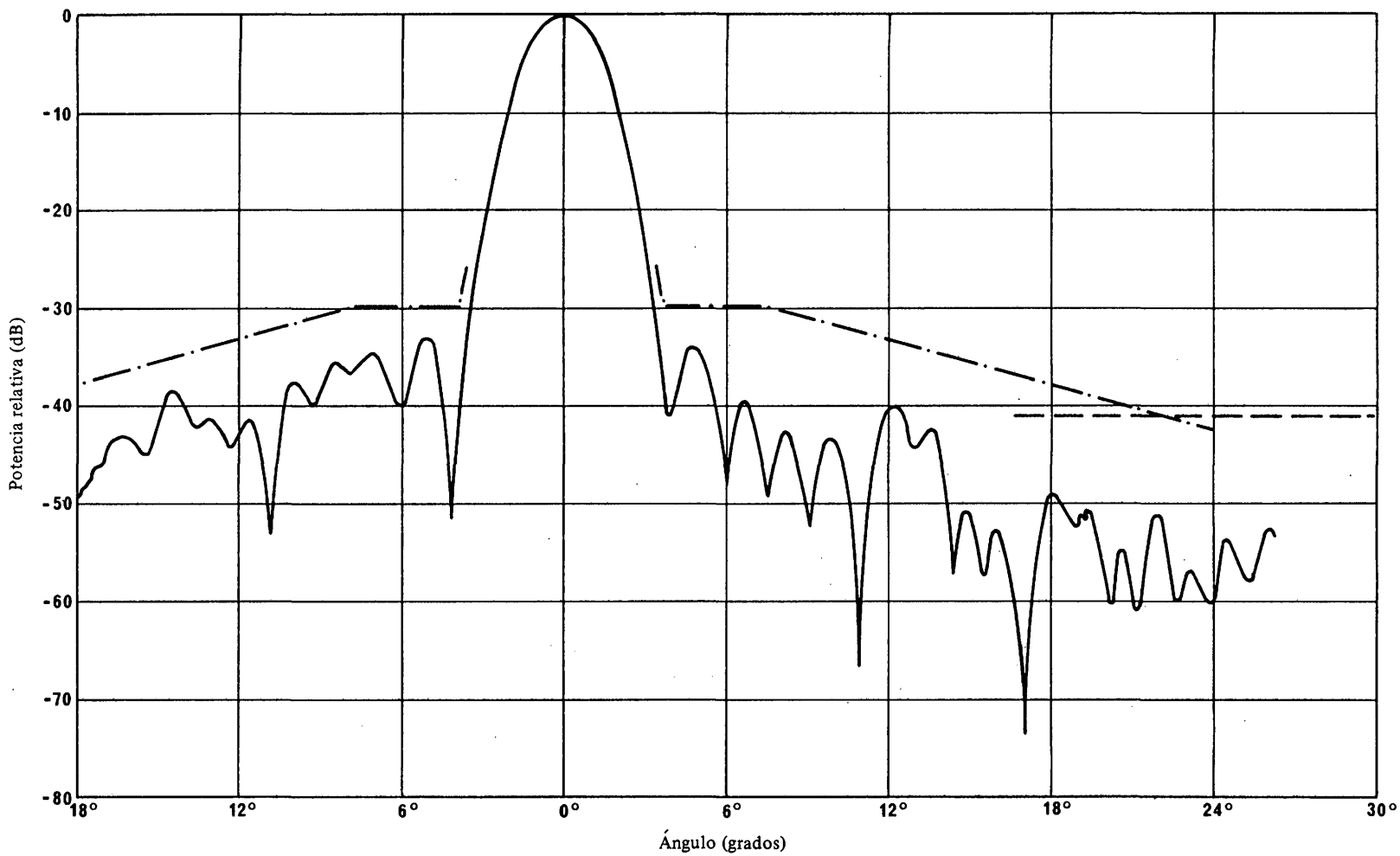


FIGURA 29 – *Diagrama de radiación copolar en la dirección del eje de haz amplio*

Frecuencia = 12 300 MHz

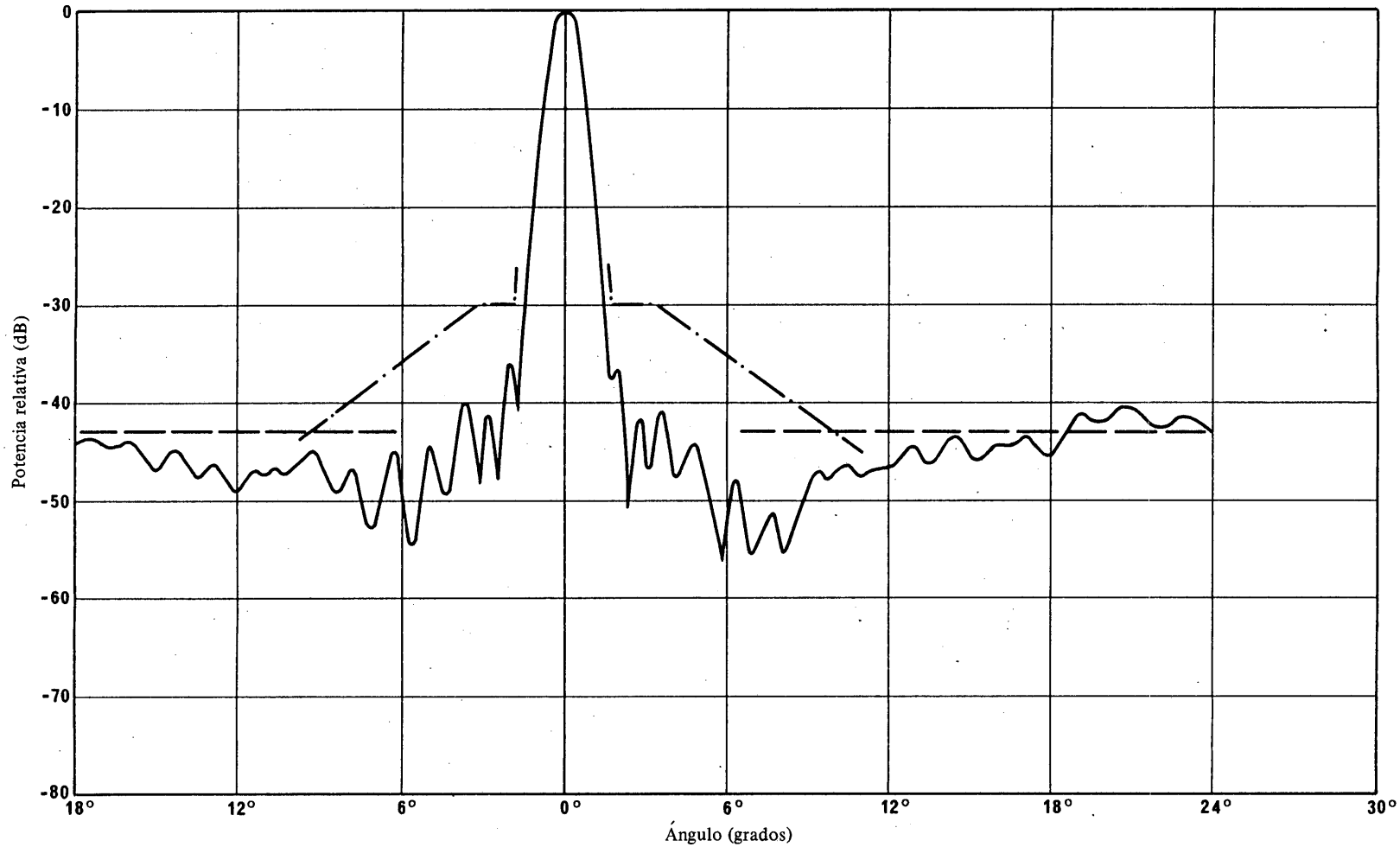


FIGURA 30 – *Diagrama de radiación copolar en la dirección del eje de haz estrecho*

Frecuencia = 12 300 MHz

ANEXO IV

Elementos para la preparación de una eventual nueva Recomendación que deberá examinarse durante el próximo periodo de estudios

DIAGRAMAS DE RADIACIÓN DE ANTENA DE SATÉLITE QUE SIRVAN COMO OBJETIVOS DE DISEÑO EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que en el empleo de antenas de estación espacial con los mejores diagramas de radiación actuales conducirá a una utilización más eficaz del espectro radioeléctrico y de la órbita de los satélites geoestacionarios;

b) que en las estaciones espaciales operacionales se utilizan tanto antenas elípticas (o circulares) con un solo alimentador, como antenas de haz conformado con múltiples alimentadores;

c) que actualmente se está perfeccionando la fabricación de antenas de estación espacial y no se dispone de suficiente información que permita adoptar un diagrama de radiación de referencia a fines de coordinación;

d) que la adopción de un diagrama de radiación que sirva de objetivo de diseño para las antenas de estación espacial estimulará la fabricación y utilización de antenas que contribuyan a una utilización eficaz de la órbita;

e) que sólo es necesario especificar las características de radiación de la antena de la estación espacial en las direcciones de la interferencia potencial a fines de coordinación;

f) que en los informes 558 y 810 se da un número considerable de características, tanto teóricas como medidas, de antenas de estación espacial;

g) que las dificultades de medición dan lugar a imprecisiones en el modelado de las antenas de vehículo espacial para ángulos grandes a partir del eje;

h) que las limitaciones debidas al tamaño de los lanzadores originan, a su vez, limitaciones en los valores de la relación D/λ de las antenas de satélite, sobre todo a frecuencias bajas, tales como las de las bandas de 6/4 GHz;

j) que los parámetros del diagrama de radiación de las antenas de estación espacial, tales como el punto de referencia, la zona de cobertura y la ganancia máxima equivalente, que pueden utilizarse para definir un diagrama de antena de estación espacial de referencia, figuran en el Informe 558;

k) que se necesitan ulteriores estudios sobre la caracterización de las antenas de satélite en las regiones de los lóbulos laterales alejados y del lóbulo posterior; y

l) que se ha pedido al CCIR que investigue las características técnicas del servicio fijo por satélite, incluidas las antenas de satélite, con miras a la CAMR-ORB (2),

RECOMIENDA:

1. Que, en el caso de las antenas de satélite con haces circulares o elípticos y un solo alimentador empleadas en el servicio fijo por satélite, se utilice el siguiente diagrama de radiación como objetivo de diseño fuera de la zona de cobertura:

$$G(\theta) = G_m - 3\left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)^{\alpha} \quad \text{dBi} \quad \text{para } \theta_0 \leqslant \theta \leqslant a\theta_0 \tag{1}$$

$$G(\theta) = G_m + L_s \quad \text{dBi} \quad \text{para } a\theta_0 < \theta \leqslant b\theta_0 \tag{2}$$

siendo:

$G(\theta)$: ganancia para un ángulo (θ) respecto del eje del haz principal (dBi),

G_m : ganancia máxima en la dirección del lóbulo principal (dBi),

θ_0 : mitad de la anchura del haz a 3 dB en el plano considerado (3 dB por debajo de G_m) (grados),

L_s : el nivel requerido de los lóbulos laterales próximos (dB) con relación a la ganancia máxima.

Los valores numéricos de a, b y α para valores de $L_s = -20$ dB y $L_s = -25$ dB se indican a continuación. La determinación de a y α para $L_s = -30$ dB requiere ulterior estudio.

L_s (dB)	a	b	α
−20	2,58	6,32	2
−25	2,88	6,32	2
−30	–	6,32	–

2. Que para las antenas de satélite de haz conformado con mútiples alimentadores empleadas en el servicio fijo por satélite se utilice el siguiente diagrama de radiación como objetivo de diseño fuera de la zona de cobertura:

Región del borde del lóbulo principal: $0 \leqslant \varphi_c \leqslant C$

$$G = G_0 - (A + B(\varphi_c + 1)^2) \tag{3}$$

Región de los lóbulos laterales próximos: $C \leqslant \varphi_c \leqslant E$

$$G = G_0 + L_s \tag{4}$$

siendo:

G_0 : ganancia máxima equivalente (dBi),

φ_c : distancia angular normalizada desde el borde de la zona de cobertura (véase la nota 2),

$$= \frac{\varphi - \varphi_0}{\theta_b}$$

φ : distancia angular desde el punto de referencia (véase la nota 2), habida cuenta de la tolerancia al error de puntería de la antena de satélite,

φ_0 : distancia radial desde el punto de referencia hasta el borde de la zona de cobertura en la dirección considerada,

θ_b : radio del haz elemental (grados),

L_s : nivel relativo de los dos primeros lóbulos laterales (dB),

A, B, C y E se dan a continuación:

L_s (dB)	θ_b (grados)	A (dB)	B (dB)	C	E
−20	32,06 λ/D	0,33	2,68	1,71	3,93
−25	35,94 λ/D	−0,02	3,02	1,88	3,85
−30	39,81 λ/D	−0,33	3,33	2,02	3,78

Nota 1.– La tasa de disminución en las regiones de los lóbulos laterales lejanos y del lóbulo posterior requiere ulterior estudio en sistemas de antenas reales. En el Informe 558 se propone un modelo para estas regiones; sin embargo, no se dispone aún de mediciones reales para confirmar estos parámetros del modelo.

Nota 2.– El centro de cobertura se determina como el centro de gravedad del polígono convexo en los puntos de prueba de la zona de servicio. El borde de cobertura se describe con más detalle en el Informe 558.

Nota 3.– El diagrama anterior puede no ser válido en el caso de zonas de servicio distantes del eje focal de una antena de satélite. Se requieren ulteriores estudios.

Nota 4.– La presente Recomendación se aplicará sólo en la dirección de un sistema sensible a la interferencia, es decir, no deberá aplicarse en aquellas direcciones en las que no exista ninguna posibilidad de causar interferencias a otras redes (por ejemplo, regiones oceánicas inhabitadas o regiones fuera del horizonte terrestre).

INFORME 559

INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MODULACIÓN SOBRE LA EFICACIA DE LA UTILIZACIÓN DE LA ÓRBITA DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Programa de Estudios 2J/4)

(1974)

1. Introducción

En la mayoría de los sistemas de telecomunicación por satélite se ha venido utilizando la modulación de la portadora en frecuencia o en fase, empleándose para las transmisiones digitales la manipulación por desplazamiento de frecuencia (MDF) o de fase (MDP). Un importante parámetro que influye en el uso eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios es la relación entre la anchura de banda radioeléctrica necesaria, B, y la anchura de banda de información, expresada como la frecuencia más elevada de la banda de base, f_m, para transmisiones analógicas, o como la velocidad binaria transmitida, r, en bit/s, para transmisiones digitales. Con una buena concepción del sistema, estas relaciones, B/f_m y B/r, están vinculados con la inmunidad contra interferencia de la señal modulada [Tillotson y otros, 1973]. Así pues, al aumentar estas relaciones en un grado dado de calidad de funcionamiento del circuito, puede reducirse la mínima relación portadora/interferencia aceptable.

En el presente Informe se analizan dos casos concretos, en que entran en juego series homogéneas de satélites en órbita. Uno consiste en redes que utilizan la MDF-MF; el otro consiste en redes que utilizan transmisiones numéricas MDP. Cada caso se ha examinado con arreglo a dos técnicas: una evaluación analítica general considerada en el punto 2, y un examen más específico, en que se conjuga solamente un limitado número de características, tratado en el punto 3.

2. Estudio analítico general

Las relaciones que se establecen en el anexo I (ecuaciones (1) y (2)) indican que para estas técnicas de modulación existe un compromiso entre la relación portadora/ruido y B/f_m o B/r. Para elevar al máximo la capacidad de un solo canal de transmisión, tal vez sea conveniente utilizar valores pequeños de B/f_m o B/r. Sin embargo, esto puede aumentar θ, mínima separación angular requerida entre satélites, de tal manera que la capacidad total de la órbita resulte inferior.

Las ecuaciones (5) y (6) del anexo I pueden utilizarse para mostrar esta conciliación, y se representan en las figs. 1 y 2, en los siguientes supuestos:

- una fracción de 0,1 para la relación interferencia/ruido total;
- una ganancia de la antena de la estación terrena de 59 dB;
- un diagrama de envolvente de lóbulos laterales de la estación terrena de $(32 - 25 \log \varphi)$ dB.

Las otras hipótesis utilizadas en este estudio se encuentran en [CCIR, 1970-74a].

La fig. 1 muestra que la eficacia total de utilización de la órbita aumenta al incrementar B/f_m, para la MF analógica. Sin embargo, se ha visto que la eficacia pasa a ser casi independiente de B/f_m en el supuesto de un diagrama de envolvente de lóbulos laterales mucho mejor.

La fig. 2 muestra valores óptimos muy definidos para las transmisiones digitales MDP. En cuanto a la detección de fase coherente, el valor óptimo de B/r está comprendido entre 0,4 y 1,0. Estos valores óptimos de B/r son esencialmente independientes del diagrama de radiación de lóbulos laterales de la antena de la estación terrena. Los valores óptimos de B/r para una codificación convolutiva y decodificación secuencial de proporción 1/2 son aproximadamente el doble. En ambos casos, las condiciones óptimas se producen típicamente con una MDP cuadri u octovalente, con una relación anchura de banda/ritmo de símbolos BT (donde T es el periodo de símbolos), en la gama de 1,2 a 2,0. Por tanto, la codificación con corrección de errores en recepción puede mejorar algo la eficacia de utilización de la órbita, pero también en este caso la ventaja sería menor si fuera mejor la supresión de los lóbulos laterales.

Los análisis del anexo I se basan en la hipótesis de que las características de las redes de satélites son las óptimas desde el punto de vista del aprovechamiento de la potencia y la anchura de banda disponibles. Ahora bien, una red puede estar limitada en potencia (exceso de anchura de banda) o limitada en anchura de banda (exceso de potencia). En tales casos, B/f_m o B/r pueden variarse para elevar al máximo la capacidad de la red o reducir al mínimo la separación entre satélites. En una red limitada en potencia, se estima que la eficacia de utilización de la órbita aumentará más con el primer procedimiento que con el último. En una red limitada en anchura de banda, la eficacia de utilización de la órbita aumentará más normalmente reduciendo la separación entre satélites.

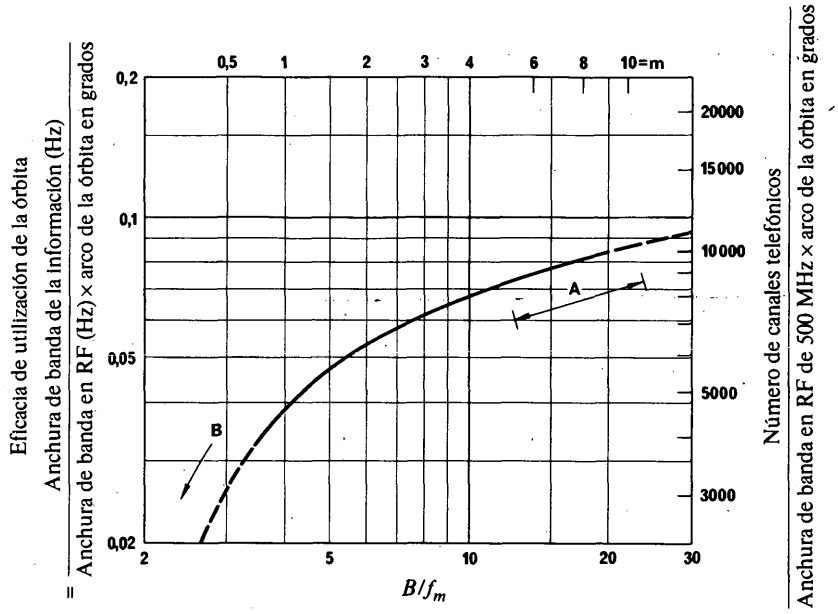


FIGURA 1 — *Eficacia de utilización de la órbita en función de B/f_m para un sistema de modulación de frecuencia. Ganancia de la antena receptora de la estación terrena: 59 dB*

A: Región de umbral
B: Región en las que las redes quedan limitadas por la densidad de flujo de potencia del trayecto descendente
m: Valor de cresta del índice de modulación

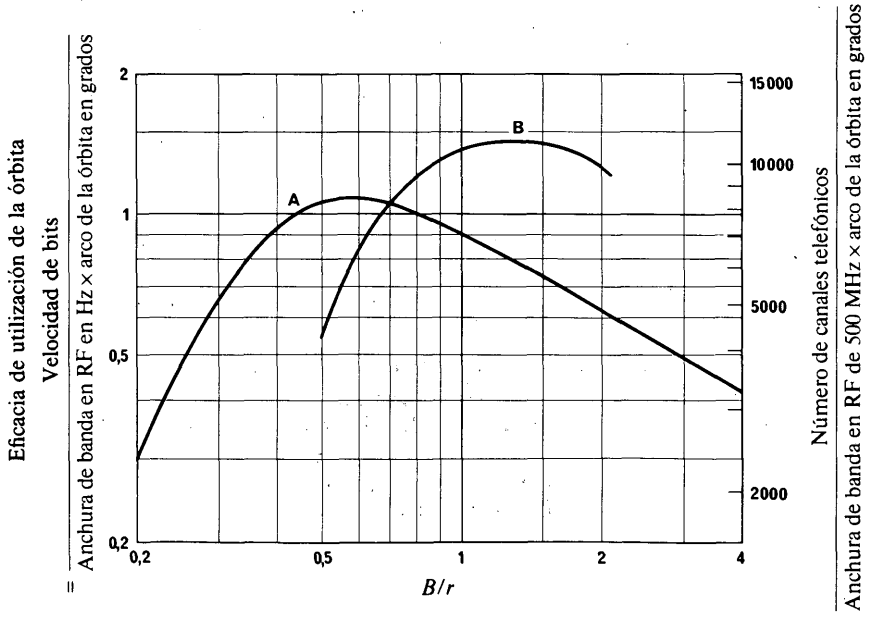


FIGURA 2 — *Eficacia de utilización de la órbita en función de B/r para un sistema de modulación digital. Ganancia de la antena receptora de la estación terrena: 59 dB*

A: Detección de fase coherente
B: Proporción de decodificación secuencial 1/2

Debe señalarse que en estos análisis se ha tenido también en cuenta la dispersión de energía óptima. De utilizarse una dispersión inferior a la óptima, podría disminuir la eficacia de utilización de la órbita.

3. Sistemas de anchura de banda limitados

Utilizando parámetros de sistemas factibles actualmente se ha analizado la influencia de la modulación en la utilización eficaz de la órbita, en condiciones de limitación en anchura de banda [CCIR, 1970-74b]. En los análisis se ha partido de las siguientes características:

Bandas de frecuencias: 4 y 6 GHz.

G/T de la estación terrena: 40,7 dB(K^{-1}).

Anchura de banda del satélite: 36 MHz por transpónder, 12 transpónderes por satélite.

Envolvente de lóbulos laterales de la antena como en la Recomendación 465.

Margen de interferencia en MF: Recomendación 466.

Margen de ruido interferente MDP coherente: limitado dentro de los objetivos de calidad de funcionamiento supuestos.

p.i.r.e. máxima: 35 dBW por transpónder.

En la fig. 3 se muestran algunos resultados que indican que la utilización de la órbita mejora a medida que se reduce la separación entre satélites, en condiciones de limitación en anchura de banda.

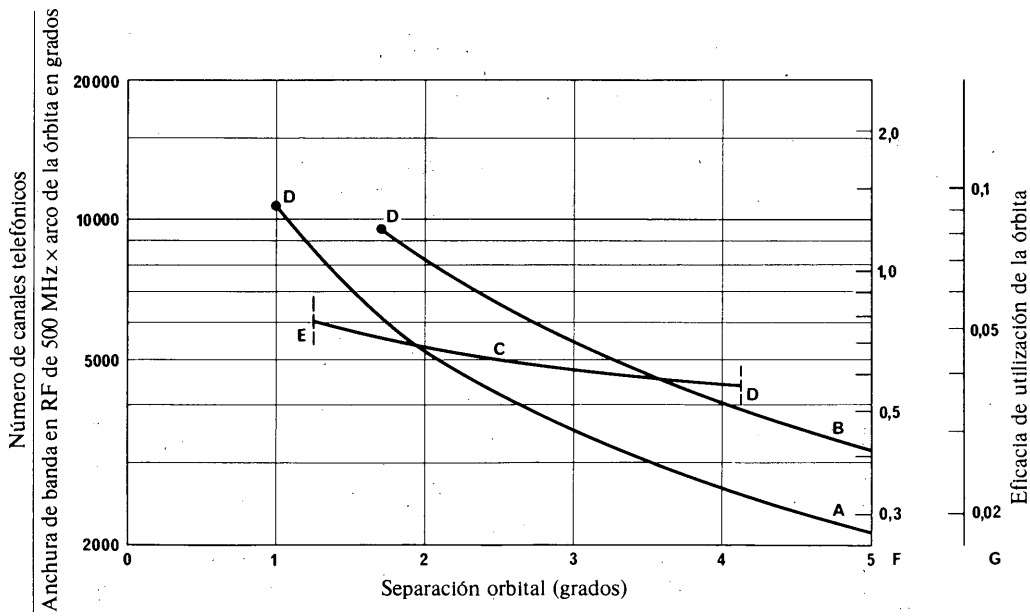


FIGURA 3 — *Eficacia de utilización de la órbita en función de la separación orbital*

(G/T = 40,7 dB(K^{-1}); mantenimiento en posición perfecto)

A: MDP coherente cuadrivalente
B: MDP coherente octovalente
C: MDF-MF
D: Limitación en potencia
E: Limitación por el valor umbral

F: Escala de régimen digital
G: Escala de régimen analógico

En el caso de MDF-MF, el índice de modulación varía para mantener un nivel constante de ruido total en un canal telefónico. Se observa que la utilización eficaz de la órbita es relativamente independiente de la separación entre satélites en los límites impuestos por las limitaciones de umbral y de potencia del satélite.

En las funciones numéricas de modulación de fase de la fig. 3, la relación B/r es fija, con lo cual el uso eficaz de la órbita y del espectro es inversamente proporcional a la separación entre satélites. A medida que disminuye la separación, se necesita una mayor potencia en el satélite, hasta alcanzar límites iguales de potencia y anchura de banda en los puntos indicados. Conforme se muestra en la fig. 2, en tales condiciones, la modulación de fase cuadrivalente asegura una eficacia algo mayor.

Debe señalarse que la máxima eficacia en el uso de la órbita y del espectro se obtiene con pequeñas separaciones entre satélites (1° a 2°), con antenas de estación terrena cuya ganancia sea de unos 59 dB. En algunos casos, la separación entre satélites puede limitarse por otras consideraciones, tales como la tolerancia de mantenimiento en posición y las limitaciones de densidad de flujo de potencia en el trayecto espacio-Tierra, pero las condiciones supuestas aquí sobre la densidad de flujo de potencia no son un factor limitativo.

Con estas pequeñas separaciones angulares, las tolerancias del mantenimiento en posición revisten importancia. La tolerancia actual de ± 1° puede limitar las separaciones nominales hasta unos 3°, aun si pueden obtenerse separaciones de 1° con un mantenimiento en posición perfecto, conforme se indica en la fig. 3.

Si en un sistema numérico se imponen condiciones de limitación en anchura de banda, la modulación de fase octovalente proporciona una utilización de la órbita más eficaz que la modulación cuadrivalente. Esto implica que una nueva reducción de B/r mejoraría aún más la capacidad de la órbita. Sin embargo, las necesidades del satélite en materia de energía y las densidades de flujo de potencia de enlace espacio-Tierra resultantes aumentan rápidamente (como se muestra en la fig. 5, anexo I), para valores B/r inferiores a 0,4.

En el anexo II se señalan las repercusiones de otras consideraciones prácticas en el diseño del sistema por satélite, en la medida en que influyen en la capacidad de la órbita. También se indica que el empleo de altas relaciones B/f_m o índices de modulación elevados puede aumentar considerablemente el número de satélites y de antenas de estaciones terrenas de un sistema de grandes proporciones con numerosas ubicaciones de estaciones terrenas.

4. Conclusiones

Las necesidades del satélite y de las estaciones terrenas en materia de energía y la inmunidad contra la interferencia de una señal están influidas por las relaciones B/f_m, entre la anchura de banda requerida y la unidad de anchura de banda de información, y B/r, relación entre la anchura de banda requerida y la velocidad binaria. Así pues, esas relaciones son parámetros que influyen en la eficacia de utilización de la órbita.

Pueden extraerse ciertas conclusiones generales, a saber:

- Para sistemas analógicos MF, la eficacia de utilización de la órbita aumenta al aumentar (B/f_m).
- Para sistemas digitales que utilizan modulación de fase polivalente, los valores óptimos de B/r corresponden a la modulación de fase cuadri u octovalente con detección de fase coherente.
- Técnicas perfeccionadas de modulación como la codificación convolutiva con decodificación secuencial permiten obtener cierta mejora en la utilización total de la eficacia de la órbita, si bien actualmente no se considera factible aplicar decodificadores secuenciales de velocidad binaria elevada.
- Para el mismo valor de interferencia exterior, y suponiendo que se requiera una velocidad de 64 kbit/s para un canal telefónico codificado, la eficacia de utilización de la órbita es esencialmente la misma en el caso de MDF-MF que en el de MIC-MDP.
- Para sistemas con limitación por la potencia, la eficacia de utilización de la órbita generalmente se mejora más aumentando B/f_m o B/r, que reduciendo la separación entre satélites.
- Para sistemas con limitación por la anchura de banda ocurre normalmente lo contrario. Si la separación entre satélites está supeditada a otros factores, la eficacia de utilización de la órbita puede mejorarse reduciendo B/f_m o B/r.
- Aumentando la pendiente de la curva de ganancia fuera del eje de las antenas de estaciones terrenas, la capacidad de la órbita es menos sensible a las variaciones de B/f_m, pero no afecta más que ligeramente en el valor óptimo de B/r.
- La escala de B/f_m y B/r tiende también a supeditar esas consideraciones prácticas con relación al número de antenas y de satélites (véase el anexo II).
- Debe emplearse la dispersión óptima de energía para que la separación entre satélites no se encuentre restringida por las limitaciones de densidad de flujo de potencia del enlace espacio-Tierra, y para que la capacidad de la órbita sea la máxima posible.
- Con grandes antenas de estaciones terrenas, se obtiene la máxima eficacia de utilización de la órbita con separaciones angulares pequeñas, con lo cual las tolerancias de mantenimiento en posición pueden constituir un importante factor con respecto a la capacidad de la órbita.

En los sistemas de satélite con limitación por la potencia, la tendencia en la concepción del sistema a una utilización máxima de la potencia del satélite lleva a seleccionar los parámetros de modulación que mejoren la eficacia de utilización de la órbita, si bien esto no es siempre necesario cuando la limitación está impuesta por la anchura de banda.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

TILLOTSON, L. C., RUTHROFF, C. L. y PRABHU, V. K. [abril de 1973] Efficient use of the radio spectrum and bandwidth expansion. *Proc. IEEE*, Vol. 61, 4, 445-452.

Documentos del CCIR

[1970-74]: **a.** 4/224 (Estados Unidos de América); **b.** 4/245 (Canadá).

ANEXO I

FUNCIONES GENERALIZADAS QUE REPRESENTAN LA EFICACIA DE UTILIZACIÓN DE LA ÓRBITA

1. Modulación de frecuencia con señales analógicas

La función de transferencia de la modulación en frecuencia multicanal puede expresarse como B/f_m (conforme se define en el punto 1 del texto principal) en condiciones típicas. En presencia de una señal moduladora en forma de ruido blanco de distribución gaussiana, una relación valor de cresta/valor eficaz igual a cuatro, una anchura de banda B, conforme a la regla de Carson, preacentuación ideal (equivalente a la modulación de fase), y una relación típica señal de prueba del canal/ruido ponderado de 48 dB, la relación normalizada portadora/ruido requerida es:

$$E_0/N_0 = \frac{64\,000}{3} \cdot \frac{1}{B/f_m\,(B/f_m - 2)^2} \tag{1}$$

donde:

f_m: frecuencia moduladora más alta (Hz),

B: anchura de banda radioeléctrica requerida (Hz),

$E_0 = C/B$ (W por Hz), donde C: potencia de la portadora,

N_0: potencia de ruido por Hz (W por Hz).

2. Modulación de fase con señales digitales

Para portadoras moduladas con señales digitales, la relación normalizada señal/ruido a la entrada del receptor se expresa como E_b/N_0 (energía por bit/potencia de ruido por Hz), y la calidad de funcionamiento del circuito, en términos de proporción de bits erróneos. Para la MDP multivalente, la relación E_b/N_0 necesaria para una proporción determinada de errores a la salida depende de varios factores, incluido el número de condiciones de fase significativas (m), el método de codificación y detección, y BT, la relación entre la anchura de banda (B) y la velocidad de transmisión de símbolos ($1/T$), siendo T la duración del símbolo. Cuando m es superior a 2, la señal de información binaria se agrupa normalmente en símbolos que llevan a n bits, donde $2^n = m$. El menor valor de E_b/N_0 para una calidad de funcionamiento dada se obtiene en ausencia de interferencia entre símbolos, para lo que se necesitan grandes valores de BT. En los casos prácticos, con anchura de banda limitada, para esta misma calidad se precisa una relación E_b/N_0 mayor. Por ejemplo, cuando $BT = 2$ y $m = 4$, E_b/N_0 tiene que exceder en 2 dB, aproximadamente, del valor mínimo.

La calidad de funcionamiento real de los sistemas de modulación bivalentes y cuadrivalentes se conoce perfectamente, pero no así cuando $m \geqslant 8$ pues debe tenerse en cuenta una pérdida adicional, denominada función compleja de la pérdida, $L(BT, m)$. Una relación aproximada entre la función L, E_b/N_0, n y m viene dada por:

$$(E_b/N_0) \approx (E_b/N_0)_0 \cdot \frac{L\,(BT, m)}{n \operatorname{sen}^2 \frac{\pi}{m}} \tag{2}$$

donde $m \geqslant 4$,

y $(E_b/N_0)_0$ es un valor de referencia, equivalente a 11 dB para la detección de fase coherente, y a 2,5 dB para la codificación convolutiva con decodificación secuencial. Reemplazando E_b/N_0 en la ecuación (2), puede obtenerse una curva casi continua que representa la variación E_b/N_0 en función de B/r y de E_0/N_0 en función de B/r, conforme se muestra en las figs. 4 y 5.

3. Funciones que describen la eficacia de utilización de la órbita

En el caso de una serie homogénea de satélites en órbita, pueden utilizarse las siguientes funciones para describir la eficacia de utilización de la órbita:

para sistemas analógicos:

$$U \sim \frac{f_m}{\theta \cdot B} \tag{3}$$

para sistemas digitales:

$$V \sim \frac{r}{\theta \cdot B} \tag{4}$$

donde θ es la separación angular requerida entre satélites.

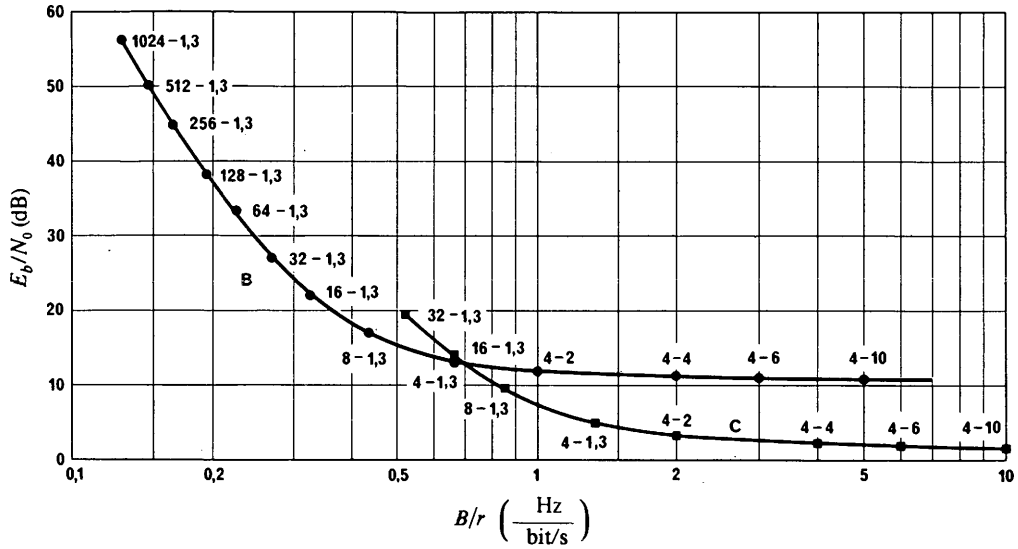


FIGURA 4 — *E_b/N_0 en función de B/r para un sistema de modulación digital*

B : Detección de fase coherente de referencia; E_b/N_0 = 11 dB cuando se supone BT infinito
C : Proporción de decodificación secuencial 1/2

Las cifras frente a cada punto (por ejemplo, 1024–1,3) indican el número de fases (1024) y el producto BT (1,3)

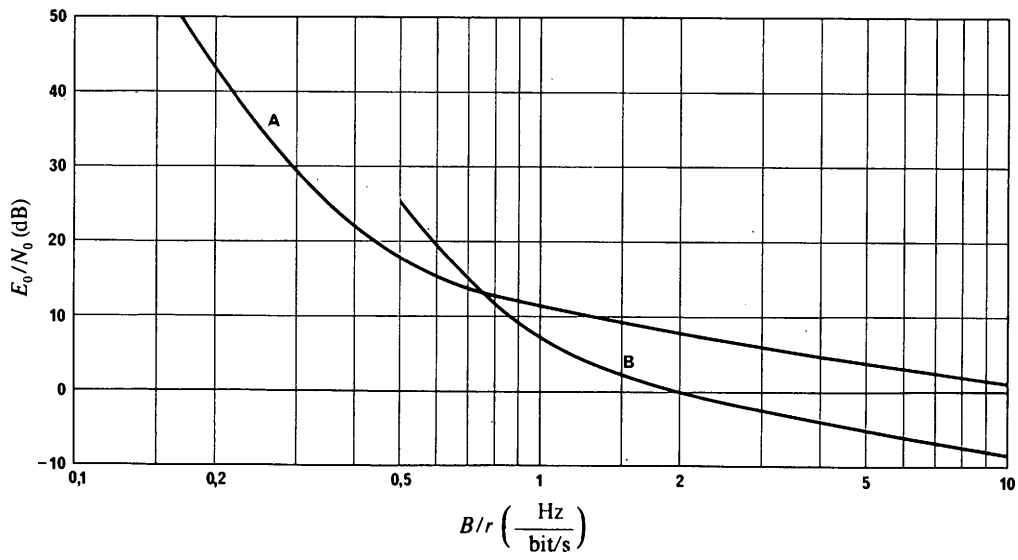


FIGURA 5 — *E_0/N_0 en función de B/r para un sistema de modulación digital*

A: $f(B/r)$ detección de fase coherente B: $f(B/r)$ proporción de decodificación secuencial 1/2

En una serie homogénea de satélites equidistantes parece lógico utilizar las siguientes hipótesis:

- no hay correlación entre los trayectos de interferencia;
- la ganancia de la antena de la estación terrena en transmisión es superior en 4 dB a la ganancia de la antena en recepción;
- la combinación de ruido térmico y del ruido de interferencia se comporta como un ruido térmico.

Por lo tanto, en sistemas analógicos:

$$U = \frac{0{,}28^{\frac{1}{x}} \, (B/f_m)^{\frac{1}{x}-1} \, (B/f_m - 2)^{\frac{2}{x}}}{\left[\frac{64\,000}{3} \cdot G_R/G_0 \cdot N_0/I_0\right]^{\frac{1}{x}}} \qquad \frac{\text{Hz}}{\text{Hz-grado}} \tag{5}$$

y en sistemas digitales:

$$V = \frac{0{,}28^{\frac{1}{x}}}{B/r\left[G_R/G_0 \cdot N_0/I_0\right]^{\frac{1}{x}}\left[f\left(\frac{B}{r}\right)\right]^{\frac{1}{x}}} \qquad \frac{\text{velocidad binaria}}{\text{Hz-grado}} \tag{6}$$

donde:

I_0 : densidad de ruido interferente, parte de N_0, la densidad de ruido total (W/Hz)

G_0 : ganancia de la antena en el eje

G_R : ganancia de la antena a 1° con relación al eje

x : pendiente de la envolvente de lóbulos laterales de la antena de la estación terrena,

donde $G(\theta) = \dfrac{G_R}{\theta^x}$

siendo $G(\theta)$: la ganancia fuera del eje, y G_R la ganancia con $\theta = 1°$.

ANEXO II

INFLUENCIA DEL ÍNDICE DE MODULACIÓN EN LA EFICACIA DE UTILIZACIÓN DE LA ÓRBITA PARA PORTADORAS MODULADAS EN FRECUENCIA

En el presente anexo se estudian los efectos del índice de modulación, m, en la eficacia de la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios en sistemas telefónicos MDF-MF. Se supone que los satélites tienen una separación uniforme, que la capacidad de anchura de banda y de potencia de los satélites es idéntica, y que el tráfico cursado por cada satélite es idéntico sea cual fuere el número de portadoras radioeléctricas, las frecuencias, los índices de modulación, las capacidades en canales telefónicos y la potencia, es decir, una serie homogénea de satélites. Se considera que todas las estaciones terrenas tienen el mismo factor de calidad. Se examinaron dos valores: 40,7 dB(K^{-1}) y 28 dB(K^{-1}).

Una indicación de la eficacia de utilización de la órbita es el número total de canales telefónicos que pueden transmitir los satélites que se encuentran en un segmento determinado de la órbita. La capacidad orbital se expresa como el número de canales telefónicos por grado de órbita para una anchura de banda específica. Se ha observado que a grandes índices de modulación * corresponden mayores capacidades de la órbita. Un incremento en el índice de 2 a 10 proporciona una mejora del 40%.

---

* Índice de modulación, m = excursión de cresta multicanal/frecuencia superior de la banda de base con una relación valor de cresta/valor eficaz igual a 4.

Sin embargo, esta mejora se obtiene a costa de la capacidad en canales telefónicos por satélite. Al aumentar el índice m de 2 a 10, se reduce la capacidad de cada satélite en canales telefónicos de 17 900 a 5000, es decir, en un factor de 3,6. Esta reducción en la capacidad de canales se traduce también en un aumento del número de antenas que deben tener las estaciones terrenas del sistema.

Para grandes índices de modulación, la potencia de los satélites debe ser considerablemente inferior para satisfacer las condiciones de ruido térmico. Un sistema con un índice de modulación de 10 en las portadoras radioeléctricas requiere una potencia 19,5 dB inferior a la de un sistema que utilice un índice de 2. Esta reducción en la potencia del satélite se obtiene para los dos valores de la relación G/T indicados. Un criterio que combina esta economía en la potencia del satélite con la capacidad orbital es la eficacia orbital por vatio de la p.i.r.e. del satélite. Como era de esperar, a grandes índices de modulación corresponden mejoras considerables, que se deben principalmente a las economías en la potencia del satélite. Este criterio de la eficacia muestra que puede obtenerse un aumento apreciable de la interferencia con un pequeño aumento de la potencia del satélite.

Puede reducirse el costo del segmento espacial acomodando un gran número de canales telefónicos en un segmento determinado de la órbita con el menor número posible de satélites. Así, pues, deben utilizarse satélites con grandes capacidades en canales telefónicos y, por tanto, bajos índices de modulación. El costo del segmento espacial está influido también por la potencia necesaria del satélite. La elección del índice óptimo de modulación viene determinada por dos exigencias contradictorias: valores pequeños de m para obtener una elevada capacidad de canales telefónicos por satélite y grandes valores de m para lograr una reducción de la potencia del satélite.

La capacidad de cada satélite en canales telefónicos influye considerablemente en el costo del segmento terreno. Para índices elevados de modulación, la capacidad en canales telefónicos por satélite es reducida y, por tanto, puede precisarse un gran número de satélites para cursar la capacidad total en canales de un sistema de telecomunicaciones. Cada antena de una estación terrena sólo puede trabajar en un momento dado con un satélite de manera que serán necesarios varios sistemas de antenas por ubicación para obtener acceso completo a las demás ubicaciones del sistema. Por ejemplo, si las necesidades totales de un sistema en un solo sentido son de 50 000 canales telefónicos, utilizando un índice de modulación 10, se requerirán diez satélites en órbita. Para cubrir todas las posibilidades, algunas ubicaciones pueden necesitar, en el caso extremo, 10 sistemas de antenas. Sin embargo, si se utiliza un índice de modulación de 2, sólo serán necesarios tres satélites para satisfacer la demanda de tráfico y ninguna ubicación necesitará más de tres sistemas de antenas. Estas economías en el segmento terreno son más acusadas en sistemas con numerosas ubicaciones. Así, pues, para un sistema con gran número de estaciones y amplias interconexiones, una ponderación de los costos indica la conveniencia de utilizar bajos índices de modulación con satélites de mayor potencia.

En los cuadros I y II se resumen los resultados de los cálculos para los dos tipos de estaciones terrenas que trabajan en la bandas de 4 y 6 GHz.

CUADRO I — $G/T = 40{,}7$ dB(K^{-1}) (diámetro de la antena: 30 m)

	Nivel de interferencia: 1000 pWp		
	$m = 2$	$m = 4$	$m = 10$
Número de portadoras radioeléctricas por satélite	12	12	12
p.i.r.e. del satélite por portadora (dBW)	32,3	24,2	12,8
Número de canales telefónicos por satélite	17 900	10 800	5 000
Número de canales telefónicos por portadora radioeléctrica	1 496	900	417
Canales telefónicos por grado de órbita	5 180	6 230	7 270
Separación necesaria entre satélites (grados) para cumplir los objetivos de ruido	3,4	1,7	0,7
Canales telefónicos por grado de órbita y vatio de p.i.r.e.	0,25	1,95	31,5
Canales telefónicos por satélite y vatio de p.i.r.e.	0,87	3,29	21,8

CUADRO II — $G/T = 28$ dB(K^{-1}) (diámetro de la antena: 10 m)

	Nivel de interferencia: 1000 pWp		
	$m = 2$	$m = 4$	$m = 10$
Número de portadoras radioeléctricas por satélite	12	12	12
p.i.r.e. del satélite por portadora (dBW)	45,0	36,9	25,5
Número de canales telefónicos por satélite	17 900	10 800	5 000
Número de canales telefónicos por portadora radioeléctrica	1 496	900	417
Canales telefónicos por grado de órbita	2 150	2 580	3 020
Separación necesaria entre satélites (grados) para cumplir los objetivos de ruido	8,4	4,2	1,7
Canales telefónicos por grado de órbita y vatio de p.i.r.e.	0,0058	0,044	0,7
Canales telefónicos por satélite y vatio de p.i.r.e.	0,047	0,182	1,17

INFORME 711-1

CRITERIOS DE EFICACIA DE UTILIZACIÓN DE LA ÓRBITA DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

(Programa de Estudios 2J/4)

(1978-1982)

1. Introducción

El rápido desarrollo del servicio fijo por satélite y de otros servicios análogos plantea el problema de la utilización eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios. Esta órbita ofrece posibilidades limitadas y, además, no todos sus arcos orbitales son igualmente apropiados para la colocación de satélites. En consecuencia, algunos arcos están ya ocupados, o está prevista su ocupación, por numerosos satélites explotados por diferentes sistemas internacionales o nacionales que comparten las mismas bandas de frecuencias. Por tanto, se reconoce que la utilización eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios y del espectro de frecuencias en el servicio fijo por satélite constituye un objetivo importante; sin embargo, es difícil determinar qué se entiende por utilización eficaz del recurso natural órbita-espectro. Se estima en general que convendría abordar la cuestión desde un punto de vista más cuantitativo, pero la complejidad de la geometría Tierra-espacio y la creciente diversificación de los sistemas de telecomunicación por satélite pueden hacer imposible una respuesta simple. En lo que respecta a la utilización del espectro radioeléctrico, también habría que tener en cuenta las limitaciones impuestas por el uso compartido con los servicios terrenales de algunas partes del espectro. En la actualidad no existen criterios sencillos, de carácter general, para indicar si los sistemas de satélites utilizan o no, eficazmente, la órbita de los satélites geoestacionarios y el espectro de frecuencias radioeléctricas. Se ha hecho un examen preliminar de la posibilidad de expresar cuantitativamente la eficacia de utilización de la órbita y de la anchura de banda mediante una sola fórmula [CCIR, 1974-78a, b, c]. Los términos que intervendrían requieren una elección cuidadosa y una

definición precisa, pero incluso así quizás sea imposible hallar una forma satisfactoria de expresar la eficacia de utilización de estos recursos de una manera lógica y útil. No obstante, se considera, de manera general, que la cuestión requiere un estudio continuo. Otra nueva dificultad con que se tropieza en este estudio es que el mismo no concierne únicamente a la utilización eficaz de la anchura de banda por un sistema de transmisión aislado. Antes bien, entraña la utilización eficaz de la anchura de banda en los casos en que es también necesario tener en cuenta cierto número de sistemas potencialmente interferentes que comparten una misma frecuencia y que utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios.

El número de factores técnicos que influyen en la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios da una idea de las dificultades que puede plantear la formulación de la eficacia de una manera amplia. Contribuyen a hacer más compleja la cuestión otras consideraciones no técnicas, a saber, los factores económicos, sociales y culturales, que constituyen también aspectos importantes. Se facilitaría el progreso en el dominio de la técnica, separando cuidadosamente y definiendo con precisión los conceptos hasta ahora utilizados con cierta vaguedad y de modo intercambiable. Se comprendería así mejor el concepto de eficacia de utilización del recurso órbita-espectro, lo que permitiría adoptar Recomendaciones al respecto, que favorecieran el uso eficaz de este recurso. Por consiguiente, el punto 2 se dedica al problema de las definiciones. En el punto 3, se examina el concepto de «medida» de la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios y del espectro de frecuencias radioeléctricas. En los anexos I y II, se presentan con más detalle dos medidas específicas posibles y los correspondientes métodos de cálculo.

2. Conceptos y definiciones

2.1 *Criterios*

Un criterio es una norma deseable, conforme a la cual puede medirse la utilización que realmente se hace del recurso. Aunque convendría que ello fuera posible, quizá no todos los criterios razonables sirven para la medición, y cabe que algunos no reflejen todos los factores de interés concebibles. Una de las dificultades prácticas en la utilización de un criterio generalizado es el hecho probable de que diferentes usuarios o distintas administraciones disientan en cuanto al criterio «preferido» que se ha de emplear.

2.2 *Eficacia*

Como el término eficacia tiene un significado bien conocido y generalmente aceptado, no debe utilizarse con menos precisión en el presente contexto. En términos generales:

$$\text{eficacia} = \frac{\text{rendimiento real}}{\text{rendimiento ideal}}$$

En casi todas las aplicaciones científicas, se identifica fácilmente el rendimiento ideal, aun cuando sea inalcanzable. Sin embargo, en el contexto actual, hay que medir el rendimiento en función del criterio de explotación. Cuando un criterio es cualitativo, ni el rendimiento real ni el ideal pueden ser objeto de cuantificación. Incluso cuando un criterio es estrictamente técnico, sigue habiendo grandes dificultades para calcular la eficacia. Porque, aunque quizá pueda calcularse el rendimiento real, la idea de eficacia implica la existencia de un límite teórico superior (es decir, el «rendimiento ideal»), cuya determinación parece ser algo muy complejo.

En efecto, si este límite ha de ser útil (y si existe), debe abarcar necesariamente en su campo de aplicabilidad todas las situaciones concebibles que puedan surgir en su aplicación. Es decir, debe ser válido para cualquier sistema de satélites y de estaciones terrenas, y no puede depender de ningún supuesto específico sobre la utilización de técnicas tales como las asignaciones invertidas de frecuencias, enlaces entre satélites, configuraciones de haces múltiples, diversidad de polarización, etc. Formular una limitación teórica en un campo tan general constituye, desde luego, un problema formidable.

Si el criterio rector no puede expresarse en términos mensurables, no podrá calcularse la eficacia, y de ahí que pierda su utilidad en este contexto. Sin embargo, incluso si puede definirse bien el rendimiento, la identificación de un límite superior del mismo, exigido por la definición de eficacia, constituye en esta conyuntura un problema sin solución.

2.3 *Medida (de la utilización del recurso órbita-espectro)*

Como antes se dijo, es difícil definir la eficacia de utilización del recurso órbita-espectro. Sin embargo, importa cuantificar de algún modo esa utilización. Parece necesario un contexto puramente técnico para tal cuantificación.

Una medida de la utilización del recurso órbita-espectro constituye sencillamente una métrica definida para todos los parámetros y condiciones de orden técnico pertinentes, pertenecientes a una serie determinada de redes por satélite. Una métrica posible* sería, por ejemplo «canales telefónicos» por grado de órbita y por MHz». Otro método está basado en el concepto de la utilidad social de los sistemas por satélite, y se caracteriza por el sistema terrenal equivalente**. Otra métrica podría ser la «separación media entre satélites». En todo caso, es evidente que el valor numérico de la medida dependerá del medio que se considere. Por ejemplo, cuando se examina la creación de una red determinada, la métrica considerada dará diferentes números si se presume una serie de satélites similares (homogeneidad), o alguna otra serie, o el medio real en el que ha de encontrarse el satélite.

Por supuesto, para que la noción de medida sea útil, es necesario elegir una medida determinada; no parece lógico elegir diferentes medidas para distintas clases de realizaciones, y es precisamente gracias a esta medida única que se pueden clasificar, con sentido, las categorías de utilización del recurso órbita-espectro. Si estas diferentes categorías representan diferentes aplicaciones, se podrá naturalmente considerar que los diferentes valores de medida son «aceptables», según la aplicación.

3. Medidas de la utilización del recurso órbita-espectro

Como se ha dicho anteriormente, a falta de una definición precisa del término eficacia, parece apropiado el concepto de «medida» para evaluar el modo de utilización del recurso órbita-espectro.

Como se indica en el punto 2.3, una medida es una funcional definida en el «espacio» de los factores técnicos. Sea T_f el conjunto de factores técnicos pertinentes. Una medida M puede expresarse simbólicamente de la siguiente manera:

$$M = \mathrm{F}(T_f) \tag{1}$$

en donde F(.) es la funcional en cuestión. Interesa también definir una medida generalizada M_g:

$$M_g = \mathrm{F_g}(T_f, K_s, K_c) \tag{2}$$

en donde $\mathrm{F_g}$ es una funcional generalizada, K_s es un factor (o un conjunto de factores) que refleja la utilidad social, y K_c abarca factores de costo como, por ejemplo, los costos iniciales, los costos de mantenimiento, los beneficios, etc. Sin embargo, dado que se ha definido la medida como una noción técnica, el examen se limitará esencialmente a la expresión (1).

Existen varias medidas posibles, algunas de las cuales se enumeran a continuación:

a) la capacidad total de transmisión de datos;

b) el espaciamiento medio entre satélites (o bien su equivalente, el número de satélites);

c) el número de enlaces espacio-Tierra;

d) la capacidad de transmisión de datos por MHz;

e) la capacidad de transmisión de datos por grado de órbita y por MHz.

Cada una de estas medidas refleja, de una u otra forma, el objeto esencial del recurso y define las unidades en que debe expresarse la utilización del recurso órbita-espectro. Todos los factores técnicos pertinentes contribuyen en cierta forma a la evaluación resultante.

Otro método de investigación consistiría en definir la medida como una función matemática de los factores técnicos (pertinentes) de las redes consideradas. Como ejemplo puramente hipotético, considérese la función μ siguiente:

$$\mu = P_t^{\alpha_1}\, G_t^{\alpha_2} \left|S(f)\right|^{\alpha_3} \left(\frac{G_r}{T_r}\right)^{\alpha_4} \left(\frac{1}{1+\Delta N}\right)^{\alpha_5} \left(\frac{1}{1+\Delta E}\right)^{\alpha_6} \tag{3}$$

siendo:

G_t: ganancia en la dirección del eje del haz de la antena transmisora,

P_t: potencia de transmisión,

$S(f)$: valor medio de densidad espectral de potencia calculada sobre una anchura de banda de referencia,

---

* El término «métrica» se ha tomado de las matemáticas, en que se define como una funcional (con ciertas propiedades) que proyecta series de puntos de «un espacio» a otro. La métrica más familiar es, desde luego, la distancia, que proyecta pares de puntos sobre la línea real. En consecuencia el empleo del término supone la «proyección» del «espacio» de las características técnicas de preferencia en un solo número o, posiblemente, en una serie de números.

** Se entiende por sistema terrenal equivalente el sistema terrenal que sería necesario instalar en lugar del sistema por satélite, para establecer el mismo número de canales entre los mismos puntos de la Tierra.

G_r: ganancia en la dirección del eje del haz de la antena receptora,

T_r: temperatura de ruido del receptor,

ΔN: tolerancia aplicable al mantenimiento en posición Norte-Sur,

ΔE: tolerancia aplicable al mantenimiento en posición Este-Oeste.

Los exponentes α_i reflejan diferentes grados de importancia. Se podría escribir una ecuación como la (3) tanto para el enlace ascendente como para el descendente. La medida total de la utilización de un arco de órbita podría ser el valor medio $\bar{\mu}$ para todas las redes. El interés de este tipo de medición radica en su sencillez, ya que la ecuación (3) es una función bien definida y simple de los principales factores técnicos que influyen en la utilización del recurso órbita-espectro. Otro factor positivo es que la medida está bien definida para una red individual, cualquiera que sea el medio en que ésta funcione. Esto es una gran ventaja, ya que una de las principales dificultades de otros métodos es la definición de un contexto apropiado para los cálculos. Sin embargo, este método presenta inconvenientes que lo hacen menos ventajoso que otros. Una primera dificultad reside en la elección de los valores relativos de los exponentes α_i. Otra dificultad, más fundamental aún, radica en el hecho de que no siempre es fácil determinar si un factor tiende realmente a facilitar o a limitar la utilización del recurso órbita-espectro. Para algunos factores, como G_r, la tendencia es evidente. Pero veamos, por ejemplo, P_t. Si los demás términos de la ecuación (3) son fijos y P_t aumenta, la anchura de banda tiene que aumentar (para mantener $S(f)$ constante). Así se obtiene una mayor capacidad en detrimento de la anchura de banda, y en general no es posible decir cuál de estas variaciones tendrá mayor importancia. La ecuación (3) no es más que un ejemplo, y sería posible encontrar una fórmula exenta de las dificultades mencionadas. Pero aun así, el principal inconveniente de este tipo de medida es quizá que no expresa la utilización en función del propio recurso, por lo que es difícil apreciar el significado de números particulares que resultan a partir de su evaluación.

El recurso órbita-espectro sirve principalmente para la transmisión de información. Sería lógico, pues, medir su utilización en función de la cantidad de información transmitida con respecto al grado en que su transmisión «consume» el recurso. Reviste también gran importancia el coste necesario para establecer el servicio y su utilidad social. En la ecuación (2) están ya incluidas estas ideas, aunque de forma general. En los cálculos, ha de especificarse una relación particular entre las variables que intervienen. La siguiente fórmula parece ser suficientemente general y flexible para su empleo como una medida generalizada:

$$M_g = \frac{R\ (\text{utilidad social})^{\alpha}}{(\Delta\theta)^{\nu}\ (W)^{\mu}\ (\text{coste})^{\delta}} \qquad (4)^*$$

donde:

$\Delta\theta$: arco orbital utilizado,

W: anchura de banda ocupada,

R: velocidad de transmisión de datos,

α, ν, μ, δ: factores relativos de ponderación.

Tal como se presenta, la ecuación (4) no es todavía suficientemente específica para el cálculo. En los anexos I y II, se analizan en detalle dos medidas obtenidas a partir de interpretaciones algo diferentes de esta ecuación.

3.1 *Cálculo de medidas de la utilización del recurso órbita-espectro*

Cualquiera que sea la medida adoptada, debe normalizarse el método de cálculo. Una medida sirve esencialmente para orientar a los proyectistas de sistemas de satélites en cuanto a la utilización del recurso órbita-espectro por los diferentes tipos posibles de sistemas. Conviene, pues, que la medida pueda aplicarse a una red determinada. Toda medida en la que interviene el espaciamiento entre satélites implica necesariamente la existencia de otro satélite con respecto al cual se define tal espaciamiento. En consecuencia, a los fines del cálculo, es menester definir como mínimo una red de satélites más**. Esto puede hacerse de diversas maneras; por ejemplo:

a) definir otra red con un solo satélite, idéntica a la red de satélites considerada;

b) definir un conjunto de redes idénticas a la considerada, es decir, un conjunto homogéneo. (En el anexo II se analiza una medida según este método);

---

* Puede ser útil señalar que quizá haya limitaciones exteriores en la evaluación de la ecuación (4), por ejemplo, cuando las bandas están compartidas entre los servicios terrenales y los servicios espaciales.

** Esto no es cierto en el caso de medidas como la definida por la ecuación (3), que son exclusivamente función de parámetros de la propia red. Sin embargo, como se ha mencionado en el punto anterior, es dudoso que tales medidas resulten útiles.

c) definir una red de satélites de referencia que sirva de base para el cálculo de cualquier otra red considerada. (En el anexo I se analiza una medida según este método);

d) definir un conjunto heterogéneo, pero identificable, de otras redes para disponer de un contexto más realista. Por ejemplo, se podría definir un conjunto homogéneo de satélites idénticos al considerado y que alternarían con satélites de un segundo tipo;

e) efectuar los cálculos en función del medio real en que la red considerada entraría en servicio.

El método e) es probablemente el más significativo, pero también el más complejo. Tiene el inconveniente, sin embargo, de no considerar los desarrollos futuros. Al parecer, los métodos a) o c) podrían proporcionar una base relativamente adecuada para el cálculo de una medida. La principal ventaja de a) es su relativa sencillez y el hecho de que la medida reflejaría solamente los parámetros de la red considerada, pues la otra red sería idéntica. Su principal inconveniente es que no proporciona la base común para diferentes redes. Este aspecto particular constituye justamente el punto fuerte del método c), que, al proporcionar la misma referencia para todas las redes, permite una comparación más directa de redes diferentes. El inconveniente de este método es que debe definirse una red muy general en todos sus aspectos pertinentes para poder realizar los cálculos necesarios. Por ejemplo, si la red considerada transmite o recibe señales en dos bandas de frecuencias diferentes, la red de referencia debe tener las propiedades correspondientes. El sistema de referencia debe definirse de modo que los cálculos sean relativamente sencillos, sin que los resultados favorezcan indebidamente ciertos tipos de red. Debe proseguirse, pues, el estudio de este método. En el anexo III, se analizan más a fondo estos métodos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos del CCIR

[1974-78]: **a.** 4/51 (Estados Unidos de América); **b.** 4/55 (Estados Unidos de América); **c.** 4/109 (U.R.S.S.).

ANEXO I

1. Introducción

En el punto 3, se propone el siguiente criterio general para evaluar la eficacia en la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios:

$$M_g = \frac{R\ (\text{utilidad social})^{\alpha}}{(\Delta\theta)^{\nu}\ (W)^{\mu}\ (\text{coste})^{\delta}} \qquad (5)$$

En este anexo se expone una interpretación particular de la ecuación (5). Se intenta especialmente cuantificar el concepto de «utilidad social», en términos de un sistema terrenal equivalente. Se desarrolla también una forma posible de tener en cuenta los haces restringidos. Se realiza la evaluación numérica de la ecuación (5) para un sistema propuesto, utilizando el método de la red de referencia (punto 3.1, inciso c)). En la última parte de este anexo se describe un posible sistema de referencia que podría revelarse útil.

2. Desarrollo general

Considérese, en primer lugar, el numerador de la ecuación (5). La utilidad social de un servicio por satélite previsto depende de la distancia entre las estaciones terrenas, de la duración de la carga de los canales, de los tipos de mensajes – dúplex o de difusión (es decir, información dirigida a un gran número de usuarios simultáneamente).

Para tener en cuenta todos esos factores, se propone que la capacidad de tráfico útil de un sistema de telecomunicación por satélite se defina en función de la red terrenal que hubiese sido necesaria para prestar el mismo servicio que el sistema por satélite, es decir, establecer el mismo número de canales entre iguales puntos de la superficie de la Tierra. Por tanto, el numerador de la ecuación (5) podría escribirse:

$$(NL)\ \text{eq. terr.} \times B \qquad (6)$$

siendo:

(NL) eq. terr. : número de «canales-kilómetros» de la red terrenal equivalente,

B: factor que caracteriza la relación entre el tiempo medio de ocupación T_o de un canal de un sistema dado, y el tiempo medio de ocupación de un canal telefónico interurbano T_o0.

Según la ecuación (6), el valor de $T_o0 \approx 2{,}5$ horas. Se tiene pues:

$$B = T_o / T_o0 \qquad (7)$$

El factor B puede ser superior a 1 en sistemas telefónicos en que los circuitos se asignan en función de la demanda, así como en sistemas de radiodifusión de sonido y de televisión.

Examinemos ahora el denominador de la ecuación (5). Debido a dificultades en la evaluación del costo del arco orbital ocupado (es decir, de la separación necesaria entre satélites geoestacionarios) y de la anchura de banda, es necesario eludir la consideración del costo del sistema de telecomunicación por satélite. Al propio tiempo, la ecuación (6), que define la capacidad de tráfico en función de una red terrenal, es reflejo, en gran medida de un factor económico.

Se considera razonable suponer valores equivalentes a la unidad para ν y μ en la fórmula (5).

Al determinar $\Delta\theta$, ha de suponerse que el satélite geoestacionario de referencia, correspondiente a un determinado sistema de referencia, está ubicado en las proximidades del satélite geoestacionario del sistema estudiado.

Los parámetros del sistema de referencia podrían elegirse conforme al punto 3 de este anexo.

Es evidente que, con una separación suficientemente grande entre el satélite geoestacionario de referencia y el satélite geoestacionario de prueba, no se produciría interferencia mutua, incluso en el caso de que las antenas de a bordo estén dirigidas hacia el mismo sector de la superficie de la Tierra. Es obvio que sería supérfluo y dispendioso exigir una separación entre satélites ($\Delta\theta$) equivalente a un ángulo máximo (θ_m) que eliminase las interferencias mutuas en potencia.

Para determinar el grado de ocupación de un punto dado de un arco de la órbita de los satélites geoestacionarios, es preciso introducir un factor de utilización del arco:

$$D\,(\Delta\theta) = \frac{S_b}{S_v} \tag{8}$$

siendo:

S_b: la porción de superficie de la Tierra a la que no deben llegar las transmisiones en esta banda de frecuencias,

S_v: la porción de superficie de la Tierra visible desde la órbita de los satélites geoestacionarios.

S_v se define aquí como la parte de la superficie de la Tierra visible desde la órbita de los satélites geoestacionarios y se calcula, mediante la fórmula habitual, como la superficie de un segmento esférico con un ángulo de proyección de 150°.

Puede obtenerse una evaluación general del arco total ocupado promediando el valor D para todos los ángulos θ posibles de separación entre satélites:

$$\overline{D} = \frac{1}{2\theta_m} \int_{-\theta_m}^{+\theta_m} D\,(\theta)\,\mathrm{d}\theta \tag{9}$$

y definiendo el arco de órbita geoestacionaria ocupado por el sistema como:

$$\theta_{oc} = \theta_m \cdot \overline{D} \tag{10}$$

donde θ_m puede definirse mediante la condición:

$$D(\theta > \theta_m) \simeq 0 \tag{11}$$

$$D = \varphi_b/\varphi_v \tag{12}$$

Debería observarse que la ecuación (12) no tiene en cuenta la intersección no lineal (particularmente pronunciada en los extremos del disco visible) del ángulo sólido del haz de la antena con la correspondiente área de la superficie de la Tierra. Para aplicar las ecuaciones (5) a (12) con fines prácticos de ingeniería , la primera etapa consiste en definir S_b, área prohibida. En el caso general:

$$S_b = S_v - S_p \tag{13}$$

donde el área permitida, S_p, se define como la porción de la superficie de la Tierra en la que las estaciones del sistema de referencia pueden operar en todas las direcciones posibles del haz de la antena del satélite del sistema de referencia sin exceder un valor límite permitido determinado de la interferencia mutua entre el sistema que se está evaluando y el sistema de referencia. El cálculo de S_b supone la elección de variables caracterizadas tanto por las diferentes direcciones de la antena del satélite del sistema de referencia como por las diferentes ubicaciones de las estaciones terrenas. Es conveniente suponer una anchura del haz de la antena del satélite del sistema de referencia extremadamente pequeña (tendiendo a cero), de forma que no es necesario desplazar las estaciones

terrenas del sistema de referencia según su zona de cobertura. Para fines de cálculos prácticos, es suficiente desplazar el haz del sistema de referencia según ciertas líneas rectas trazadas desde el centro aproximado de la zona del sistema evaluado a través de puntos característicos del contorno de esta zona y observar la posición en que la interferencia mutua comienza a cumplir la norma. Se unen entonces los límites determinados mediante una línea uniforme y el territorio que cae en su interior (o en el ángulo sólido según (12)) es la zona prohibida, es decir, define S_b (o φ_b).

Combinando las fórmulas (5) y (6), y sustituyendo el valor $\Delta\theta$ por el producto $\theta_m \cdot \overline{D}$:

$$M = \frac{[(NL) \text{ eq. terr.}]\, B}{\theta_m \overline{D}\,(W)} \left[\frac{\text{canales-km (de la red terrenal equivalente)}}{\text{grados} \times \text{MHz}} \right] \qquad (14)$$

en [Kantor, 1976; Talyzin y otros, 1969 y 1970] se indican métodos para determinar el valor de M.

3. Parámetros de un posible sistema de referencia de comunicaciones por satélite para evaluar la eficacia en la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios y el espectro de frecuencias

Los parámetros utilizados en este ejemplo tienen solamente por objeto ilustrar el concepto descrito.

Gama de frecuencias: la del sistema objeto de estudio.

Tipo de satélite: geoestacionario,

Parámetros del sistema:

(El CCIR puede efectuar la determinación de los valores de los parámetros A, B, C y D y el cálculo de E en base a los satélites existentes y teniendo en cuenta las necesidades de eficacia en la utilización de la órbita geoestacionaria.)

Parámetro A – Máxima p.i.r.e. en el enlace ascendente, por unidad de anchura de banda radiada hacia la órbita geoestacionaria en la dirección que forma un ángulo θ con el eje del lóbulo principal de la antena de la estación terrena:

$A = A_0 - 25 \log \theta$ dB(W/4 kHz) para $1° < \theta \leqslant 48°$

$A = A_0$ dB(W/4 kHz) para $\varphi_{0,5} < \theta \leqslant 1°$

$A = A_m$ dB(W/4 kHz) para $0 \leqslant \theta \leqslant \varphi_{0,5}$

donde:

$\varphi_{0,5}$: anchura del haz del lóbulo principal de la antena entre puntos a -3 dB.

Para la banda de 6 GHz: $A_0 = 12$

$A_m = 42$

Parámetro B – Sensibilidad en el enlace ascendente, definida como la mínima densidad espectral de potencia de la interferencia sobre la órbita geoestacionaria que corresponde al máximo valor permitido de la interferencia en el canal telefónico procedente de un único sistema.

Para la banda de 6 GHz: $B = -168$ dB(W/(m^2 · 4 kHz)).

Parámetro C – Máxima densidad espectral de potencia radiada desde el satélite sobre la superficie de la Tierra.

Para la banda de 6 GHz:

$C = -152$ dB(W/(m^2 · 4 kHz)) para $0 \leqslant \delta \leqslant 5°$

$C = -152 + 0{,}5\,(\delta - 5)$ dB(W/(m^2 · 4 kHz)) para $5° < \delta \leqslant 25°$

$C = -142$ dB(W/(m^2 · 4 kHz)) para $25 < \delta \leqslant 90°$

donde δ: ángulo de llegada de la emisión.

Parámetro D – Sensibilidad en el trayecto descendente, definida como la mínima densidad espectral de potencia de la interferencia sobre la superficie de la Tierra, que llega en una dirección que forma un ángulo θ con la dirección de llegada de la señal deseada, y que corresponde con el valor máximo permitido de la interferencia en el canal telefónico procedente de un único sistema.

$D = D_0 + 25 \log \theta$ dB(W/4 kHz) para $\varphi_{0,5} < \theta \leqslant 48°$

$D = D_0 - 3$ dB(W/4 kHz) para $0 < \theta \leqslant \varphi_{0,5}$

Para la gama de 6 GHz: $D_0 = -208$

Antena del satélite: haz restringido para el lóbulo principal

Envolvente de los lóbulos laterales: $G(\varphi) = G_0 - (10{,}5 + 25 \log \varphi)$ dB

Diagrama de radiación de la antena de la estación terrena: $29 - 25 \log \theta$ dB.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KANTOR, L. Y. [1976] Novy podhod k otsenke offektivnosti ispolzovaniya geostatsionarnoi orbity sistemami sputnikovoi svyazi (Nuevo procedimiento para evaluar la eficacia en la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios por sistemas de telecomunicación por satélite). *Elektrosviaz*, **1**, 5-11.

TALYZIN, N. V., KANTOR, L. Y., PAYANSKY, Y. M. y MANYAKIN, E. A. [1969] Ob optimalnykh parametrakh i ekonomicheskoi effektivnosti mnogostantsionnoi sistemy sutnikovoi svyazi (Características óptimas y rendimiento económico de un sistema de comunicación por satélite de múltiples trayectos. *Radiotekhnika*, Vol. 24, **11**, 5-13.

TALYZIN, N. V., KANTOR, L. Y. y PAYANSKY, Y. M. [1970] Ekonomicheskie aspekty uvelicheniya propusknoi sposobnosti sistemy sputnikovoi svayazi (Aspectos económicos del aumento de la capacidad de tráfico de un sistema de comunicación por satélite). *Radiotekhnika*, Vol. 25, **1**, 3-8.

BIBLIOGRAFÍA

Eficacia de la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios: Conceptos y definiciones. Doc. GIT 4/1/414, Estados Unidos de América (1974-77).

Plan General de Desarrollo de la Red Internacional en la Región Europea y Cuenca Mediterránea. París (1966).

ANEXO II

MÉTODO PARA ESTABLECER UNA RELACIÓN ENTRE UNA MEDIDA DE LA UTILIZACIÓN DEL RECURSO ÓRBITA-ESPECTRO Y LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA

1. Introducción

En el presente anexo se presenta un método general que puede utilizarse para obtener resultados numéricos que representen la relación que existe entre una medida particular de la utilización del recurso órbita-espectro y los parámetros del sistema.

La ecuación (4) del texto del Informe constituye una posible fórmula general para definir una medida del recurso órbita-espectro. Sin embargo, debido a la dificultad que presenta la evaluación de factores no técnicos, parece conveniente considerar una versión simplificada de la ecuación (4). En particular, si se supone que $\alpha = \delta = 0$, se obtiene la medida siguiente:

$$M = \frac{R}{(\Delta\theta)^{\nu} (W)^{\mu}} \tag{15}$$

en que los exponentes ν y μ podrían utilizarse para expresar el valor relativo del arco de órbita y de la anchura de banda. Se observa que si $\nu = 0$, la medida se reduce a d) del punto 3, y si $\mu = 0$, la medida se reduce a a). La ecuación (15) es de apariencia simple, pero podría simplificarse aún más haciendo los exponentes iguales a la mitad. Se estima que esto no desvirtuaría prácticamente la validez de la medida, y que facilita su uso. Además, se elimina el problema de fijar los valores apropiados de ν y μ. En consecuencia, se propone utilizar la fórmula:

$$M = \frac{R}{(\Delta\theta)\,(W)} \tag{16}$$

como medida razonable y significativa de la utilización del recurso órbita-espectro.

Conviene explicar brevemente el significado de esta ecuación (16) para evitar una interpretación errónea. En la ecuación (16), se supone que no existe ninguna relación entre $\Delta\theta$ y W, ni, en particular, la relación inversa. Es cierto que si se divide $\Delta\theta$ por dos y se duplica W (y R es constante) M no varía. Si en un caso real fuese necesario duplicar la anchura de banda, con lo que $\Delta\theta$ podría dividirse por dos sin que se modifique R, se podría hallar, en esta situación particular, una relación de compromiso entre el arco de la órbita y la anchura de banda. Ahora bien, esta relación no sería una hipótesis *a priori*, sino sólo una consecuencia de las hipótesis hechas respecto del sistema y de los parámetros.

Puede surgir una interpretación errónea del mismo orden si se afirma que el valor de M dado por la ecuación (16) aumenta cuando disminuye la anchura de banda. También en este caso, ello sería cierto si $\Delta\theta$ y R no se modificaran. Sin embargo, no suele ser posible modificar uno de estos tres parámetros sin afectar a los otros dos. Lo importante es que R, $\Delta\theta$ y W no son variables mutuamente independientes dentro del conjunto de los demás parámetros de la red. Normalmente, R es una especificación básica de diseño del sistema. En cuanto a la anchura de banda W existen tres posibilidades: puede también ser especificada libremente, su valor puede estar

limitado por el hecho de existir asignaciones, o derivarse de R y del índice de modulación. Una vez elegidas las ganancias de antena, los parámetros de modulación y los márgenes de interferencia, el valor de $\Delta\theta$ se determina automáticamente. Así pues, la interpretación correcta de la ecuación (16) es que R, $\Delta\theta$ y W constituyen un conjunto coherente de valores que se derivan de la totalidad de las hipótesis establecidas.

Existen dos problemas técnicos principales para la evaluación numérica de la ecuación (16):

- el cálculo de las relaciones portadora deseada/portadora interferente, cuando se conocen la geometría, los valores de p.i.r.e., las dimensiones de las antenas, etc.; esto se trata en detalle en el Informe 455;
- el cálculo del ruido en la banda de base, cuando se conocen las relaciones portadora/interferencia y portadora/ruido. La relación entre el ruido en la banda de base y la relación portadora/interferencia en RF se examina en el Informe 388.

En el primero de estos problemas las características de modulación no intervienen, pero el segundo depende del método de modulación de las portadoras deseada e interferente, de los parámetros de dicha modulación y del tipo de señal. Por lo tanto, para mayor brevedad, en el presente anexo sólo se considera la telefonía MDF-MF.

2. Ruido en la banda de base debido al ruido térmico

La relación señal de prueba/ruido térmico en el canal superior de la banda de base puede expresarse de la siguiente manera:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_t = \left(\frac{C}{N}\right) R_t \tag{17}$$

donde:

C/N: relación total portadora/ruido a la entrada del receptor debido a las contribuciones del enlace descendente y del enlace ascendente;

R_t: factor (denominado a veces característica de transferencia del receptor) que representa los efectos de la mejora de la modulación y del tratamiento de la banda de base; puede o no incluir ponderación sofométrica y preacentuación, según el caso.

El ruido en la banda de base, N_t, está relacionado con la expresión (17) por:

$$N_t = \frac{10^9}{S/N_t} \qquad \text{pW} \tag{18}$$

y se puede demostrar que:

$$R_t = 380\, M_{rms}^2 \left(M_{rms}\sqrt{\Lambda} + 1\right) \qquad \text{para} \qquad n \geqslant 240 \tag{19a}$$

y

$$R_t = 15\, n^{0,6}\, M_{rms}^2 \left(M_{rms}\sqrt{\Lambda} + 1\right) \qquad \text{para} \quad 12 \leqslant n < 240 \tag{19b}$$

donde:

M_{rms}: índice de modulación multicanal (valor medio cuadrático),

Λ: potencia de cresta/potencia media en la banda de base (es generalmente función de n),

n: número de canales por portadora.

La ecuación (19) incluye también 4 dB para la preacentuación así como 2,5 dB de ponderación sofométrica y se basa en la regla de Carson para la anchura de banda en modulación de frecuencia, esto es:

$$W = 8400\, n \left(M_{rms}\sqrt{\Lambda} + 1\right) \qquad \text{Hz} \tag{20}$$

3. Ruido en la banda de base debido a interferencia

Considérense K portadoras interferentes arbitrarias. La relación señal de prueba/ruido en el canal superior de la señal deseada, debida a la portadora interferente «j», puede escribirse:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_j = \left(\frac{C}{I}\right)_j R_j \tag{21}$$

donde:

$(C/I)_j$: relación total portadora/interferencia para la portadora interferente j-ésima producida por las contribuciones de los enlaces ascendente y descendente *,

R_j: característica de transferencia en el receptor para la portadora interferente j-ésima; puede o no incluir ponderación sofométrica y preacentuación, según el caso.

Los valores de $(C/I)_j$ dependerán de los parámetros en los terminales de los sistemas deseado e interferente: por ejemplo, separación entre satélites, valores de p.i.r.e. de los enlaces ascendente y descendente, dimensiones de las antenas, etc. En el Informe 455 se dan fórmulas completas para la evaluación de $(C/I)_j$.

Los valores de R_j para cualquier canal dependen de los índices de modulación, de las anchuras de la banda de base, de la separación de frecuencias y del grado de preacentuación de las portadoras deseada e interferente. Para computar los valores numéricos de R_j puede utilizarse el Informe 388. El ruido en la banda de base es:

$$N_{Ij} = 10^9/(S/N)_j \qquad \text{pW} \tag{22}$$

Como $(C/I)_j$ está directamente relacionada con la separación entre los satélites deseado e interferente para un conjunto determinado de parámetros de sistema, la ecuación (22) puede utilizarse para establecer una relación entre la separación entre satélites y el ruido previsto debido a interferencias.

4. Ruido total en la banda de base

Si las relaciones portadora/ruido y portadora/interferencia son lo suficientemente elevadas, con valores nominales superiores al umbral, el ruido total en la banda de base puede obtenerse por simple suma de las contribuciones individuales:

$$N_T = N_t + \sum_{j=1}^{K} N_{Ij} \tag{23}$$

donde K es el número de contribuciones de interferencia.

Empleando las ecuaciones (17), (18), (21) y (22),

$$N_T = 10^9 \left\{ \frac{1}{(C/N)\, R_t} + \sum_{j=1}^{K} \frac{1}{(C/I)_j\, R_j} \right\} \qquad \text{pW} \tag{24}$$

En este contexto resulta cómodo considerar N_T como el ruido total en la banda de base, a pesar de que es el ruido debido únicamente a las fuentes de ruido térmico e interferencias. En la práctica hay que tener debidamente en cuenta otras contribuciones potenciales, como la interferencia debida a sistemas de radioenlaces y el ruido generado en el equipo; estas contribuciones, sin embargo, no influyen directamente en el compromiso entre los factores relativos a la utilización de la órbita.

La ecuación (24) es completamente general. Dado un conjunto arbitrario de parámetros, como, por ejemplo, la anchura de banda y el espaciamiento entre satélites, se puede utilizar dicha ecuación para calcular la calidad de funcionamiento resultante del sistema (N_T). Recíprocamente, conociendo N_T, se pueden determinar los valores de los parámetros que satisfacen la especificación. Por desgracia, este último procedimento es difícil de aplicar a una situación general, y requiere generalmente limitaciones más restrictivas para llegar fácilmente a una solución.

5. Ejemplo: sistema homogéneo

Para evaluar la ecuación (16) ordenada y sistemáticamente, se elige un contexto «homogéneo» (véase el punto 3.1, inciso b)). Las hipótesis que colectivamente constituyen el modelo homogéneo son las siguientes:

- la órbita de los satélites geoestacionarios está enteramente ocupada por satélites espaciados uniformemente;
- se emplea modulación de frecuencia, con bandas de base de una capacidad no inferior a 240 canales telefónicos, con múltiplex por distribución de frecuencia (MDF);

---

* Esto supone que las portadoras deseada e interferente tienen las mismas frecuencias de traslación en el satélite. De no ser así, hay que establecer ecuaciones diferentes para los enlaces ascendente y descendente, ya que los valores de R_j serán diferentes.

- todos los satélites tienen antenas de cobertura global, poseen idénticos parámetros de transmisión y de modulación y transmiten el mismo tipo de señal en la misma frecuencia portadora nominal (compartición cocanal);
- todas las estaciones terrenas son idénticas y las características de los lóbulos laterales de sus antenas se ajustan a la Recomendación 465;
- las condiciones de propagación son las propias de tiempo despejado.

Como se trata aquí de telefonía, el número de canales telefónicos es un parámetro más apropiado que la velocidad de datos, por lo que se considera la medida equivalente:

$$\ddot{n} = \frac{n}{(\Delta\theta)\,(W)}$$

siendo $\ddot{n}$ el número de canales telefónicos por portadora y W la anchura de banda correspondiente, como en la ecuación (20).

La hipótesis de la homogeneidad permite concluir que R_j tiene el mismo valor para todas las redes; por consiguiente, puede representarse por R_0, de tal manera que R_j, en la suma de la ecuación (24), puede reemplazarse por una constante que depende de M_{rms}. Utilizando una aproximación numérica de la curva cocanal de la fig. 8-3-2 del anexo 8-3 al Informe de la Reunión Mixta Especial, Ginebra, 1971, puede demostrarse que:

$$R_0 \approx 76(1 + 9{,}5\ M^3{}_{rms}) \text{ para } n \geqslant 240 \text{ canales} \tag{25a}$$

$$R_0 \approx 3\ n^{0,6}(1 + 9{,}5\ M^3{}_{rms}) \text{ para } 12 \leqslant n < 240 \text{ canales} \tag{25b}$$

Estas dos ecuaciones incluyen ponderación sofométrica y preacentuación CCIR.

A continuación conviene separar las contribuciones del enlace ascendente y del enlace descendente como sigue:

$$\left(\frac{C}{N}\right) = \left(\frac{C}{N}\right)_d \left(\frac{1}{1 + \alpha}\right) \tag{26}$$

donde:

$(C/N)_d$: relación portadora/ruido en el enlace descendente,

α : cociente de las relaciones portadora/ruido en el enlace ascendente y en el enlace descendente.

La relación entre α, $(C/N)_d$ y los parámetros en los terminales se obtiene de la teoría elemental de transmisión.

Para la interferencia:

$$\left(\frac{C}{I}\right)_j = \left(\frac{C}{I}\right)_{dj} \left(\frac{1}{1 + \alpha_j}\right) \tag{27}$$

donde:

$(C/I)_{dj}$: relación entre la portadora del enlace descendente y la interferencia proveniente de la fuente j,

α_j : cociente entre la relación «portadora/portadora interferente de orden j en el enlace descendente» y la relación «portadora/portadora interferente de orden j en el enlace ascendente».

Con las siguientes hipótesis:

- todos los satélites tienen antenas de cobertura global,
- todas las antenas de las estaciones terrenas tienen diagramas de radiación de lóbulos laterales de acuerdo con la Recomendación 465, a saber:

$$G(\Delta\theta) = A/(\Delta\theta)^{2,5};\ (A = 10^{3,2}) \tag{28}^*$$

puede demostrarse, con una buena aproximación, que

$$\alpha_j = \alpha_0 \tag{29}$$

para cualquier señal interferente, donde α_0 es la relación entre la ganancia de la antena de la estación terrena para el enlace descendente y la ganancia de la misma antena para el enlace ascendente.

---

* En principio, $\Delta\theta$ es el ángulo topocéntrico, pero como es aproximadamente igual al ángulo geocéntrico, estos dos ángulos se utilizan indistintamente.

La sumatoria de la ecuación (24) puede entonces escribirse, utilizando las ecuaciones (25) y (29):

$$\sum_{j=1}^{K} \frac{1}{(C/I)_j R_j} = \frac{1 + \alpha_0}{R_0} \sum_{j=1}^{K} \frac{1}{(C/I)_{dj}} \tag{30}$$

y puede demostrarse además que, para transmisiones cocanal y señales copolarizadas:

$$\sum_{j=1}^{K} \frac{1}{(C/I)_{dj}} \approx \frac{2A}{G_{0d}(\Delta\theta)^{2,5}} \sum_{k=1}^{\infty} k^{-2,5} \approx \frac{2{,}7\,A}{G_{0d}(\Delta\theta)^{2,5}} \tag{31}$$

donde:

G_{0d}, es la ganancia en la dirección del eje del haz principal de la antena de la estación terrena para el enlace descendente. Utilizando la relación:

$$G_{0d} = \eta\,(\pi D/\lambda)^2$$

donde η es la eficacia de la antena, y combinando las ecuaciones (26), (30) y (31), en la ecuación (24) se obtiene:

$$\frac{1}{\Delta\theta} = \left\{\left(\frac{N_T}{10^9} - \frac{1 + \alpha}{(C/N)_d R_t}\right) \frac{R_0\,\eta\,(\pi D/\lambda)^2}{2{,}7\,A\,(1+\alpha_0)}\right\}^{0,4} \tag{32}$$

De la ecuación (20):

$$\dot{n} = 119/(M_{rms}\sqrt{\Lambda}+1) \qquad \text{canales por MHz}$$

la magnitud buscada es entonces:

$$\ddot{n} = \frac{119}{(M_{rms}\sqrt{\Lambda}+1)\,\Delta\theta} \qquad \text{canales por grado y por MHz.} \tag{33}$$

Si se introduce la ecuación (32) en la (33) se obtiene una ecuación explícita que relaciona una medida de la utilización de la órbita y del espectro con todos los parámetros principales del sistema. La fig. 1 es una representación gráfica de esta ecuación para el caso en que $\alpha = \alpha_0 = 0$, $n \geqslant 240$ canales, $D/\lambda = 300$, $\eta = 0{,}5$ y $N_T = 7500$, y suponiendo una ponderación sofométrica de 2,5 dB y preacentuación CCIR.

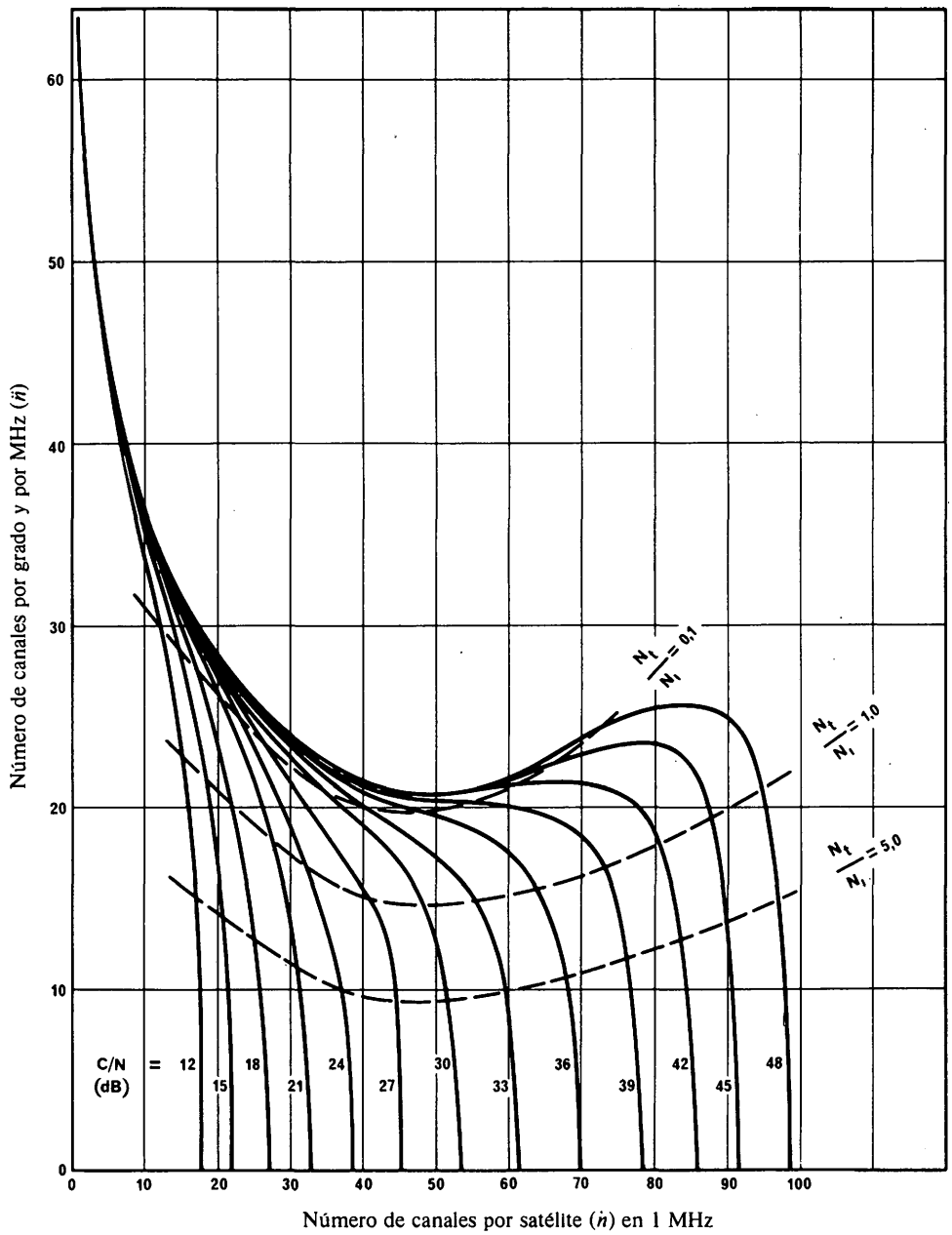


FIGURA 1 — *Utilización del recurso órbita-espectro en función del número de canales por satélite*

($D/\lambda = 300$, $N_t + N_I = 7500$)
(Las portadoras interferentes se supone que son cocanales)

ANEXO III

En el punto 3.1 del texto del Informe, se describen diferentes posibilidades de cálculo para calcular medidas de la utilización del recurso órbita-espectro. Como allí se indica, cada método presenta ventajas e inconvenientes. En este anexo, se examinan un poco más detalladamente los problemas que pueden surgir al aplicar uno u otro método.

1. Haces restringidos

Los sistemas que cubren una determinada zona de servicio, no por un solo haz de antena de satélite sino por varios haces más estrechos, por cada uno de los cuales se transmiten sólo las señales destinadas a estaciones de esta zona, se denominan sistemas de servicio zonal.

Las razones para establecer una zona de servicio a partir de haces restringidos múltiples, en vez de mediante un solo haz amplio, pueden ser o bien obtener ventaja de las mayores ganancias de antena, o bien facilitar la reutilización de frecuencias en las partes adyacentes de una zona de servicio relativamente grande. En este último caso la zona de servicio en cuestión debe considerarse que se extiende a toda la superficie dentro de la cual no hay reutilización espacial de frecuencias con la misma polarización. La consideración del caso más amplio en la que se reutilizan las frecuencias dentro de un sistema, requiere estudios más detallados. Dentro de la zona de servicio ahora definida, la separación de frecuencias de los haces individuales puede hacerse utilizando división en frecuencis-espacio para los haces de las diferentes zonas, con emisión continua de señales (sistema de servicio zonal paralelo), o bien distribución en el tiempo de señales entre haces de diferentes zonas (sistema con servicio secuencial). En el caso de un sistema zonal (con servicio tanto paralelo como secuencial), cada parte de la banda Δf_k o cada porción de tiempo Δt_k se utiliza sólo en una parte del territorio de servicio, por lo que la ganancia energética del sistema permite reducir la potencia de transmisión de los satélites del sistema evaluado. Para un sistema zonal como consecuencia del aumento de directividad del sistema de a bordo y de la reducción de potencia del repetidor del sistema evaluado, el índice de ocupación del arco de órbita geoestacionaria y del espectro, $\overline{D}_k \cdot \theta_{mk} \cdot \Delta f$ será siempre algo menor que el mismo índice $\overline{D} \cdot \theta_m \cdot \Delta f$ para un sistema sin división de zonas que ocupe la misma banda común y del servicio a la misma región. Sin embargo, no se espera una mejora sustancial de la ocupación de la órbita geoestacionaria resultante del servicio zonal en comparación con un sistema adyacente sin servicio zonal.

Se obtiene una cierta ganancia adicional en el caso de un sistema con servicio secuencial, gracias a la naturaleza estadística de las normas referentes a la interferencia mutua admisible durante un determinado porcentaje de tiempo. Sin embargo, las limitaciones estadísticas contenidas en las Recomendaciones 466, 483 y 523 acerca del valor admisible de la interferencia mutua para diferentes tipos de señales no son coherentes y deben revisarse.

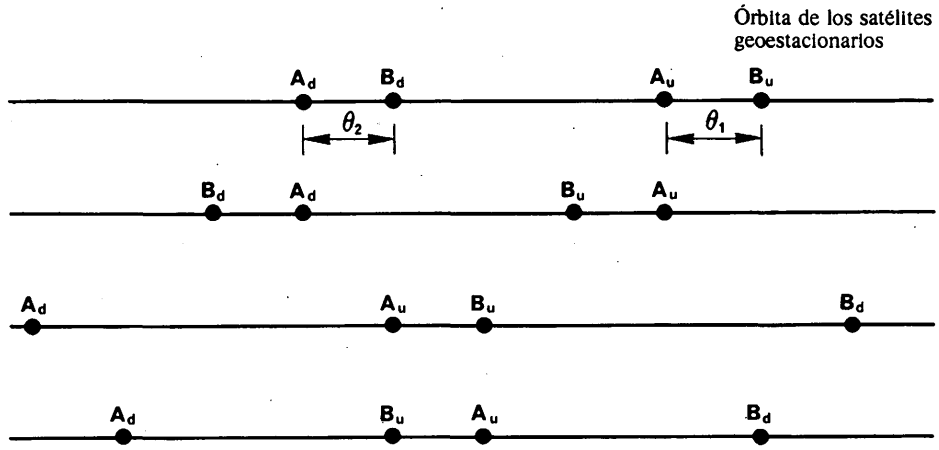
La mayor ganancia se obtiene cuando los sistemas adyacentes proporcionan un servicio zonal con arreglo al mismo principio y cuando coordinan de manera óptima sus planes de frecuencias (en el caso de un servicio paralelo) o las relaciones de tiempo, llegando incluso a la sincronización exacta de los periodos de cobertura T (en el servicio secuencial). Para evaluar la ocupación del arco de la órbita geoestacionaria es posible utilizar en este caso un modelo de sistema de referencia de haz restringido [CCIR, 1978-82] y determinar separadamente $S_{bi}\overline{D}_i\overline{D} \cdot \theta_m$ para cada zona del sistema evaluado, lo que proporcionará un conjunto de parámetros que caracterizan la ocupación de la órbita en todas las partes de la banda Δf_k en los intervalos de tiempo Δt_k. Si se conocen las áreas de utilización prohibidas en una determinada parte de la banda o en un tiempo dado, pueden tenerse en cuenta al planificar el sistema adyacente.

2. Calidad de la señal

Otro problema técnico concierne a la expresión de la calidad de la señal, ya sea como relación señal/ruido o como probabilidad de error. La labor realizada hasta el presente se ha basado en una norma de calidad del CCIR aplicable a los canales telefónicos, norma que conviene mantener. Los sistemas de calidad superior no beneficiarían, mientras que los de calidad inferior podrían presentar inconvenientes como consecuencia de la adopción de un método de medida particular.

3. Enlaces entre satélites

Si bien los enlaces entre satélites no revisten todavía gran importancia en la práctica, plantean un problema interesante en relación con el método del par idéntico. Este método, como se ha explicado, está destinado a aplicarse a redes, pero, cuando se usan enlaces entre satélites, el sistema asume el significado de una entidad de telecomunicaciones. En consecuencia, si se trata de calcular una medida de utilización para una parte del sistema, surge la cuestión del significado de dicha medida fuera del contexto del sistema total. La aplicación del método del par idéntico podría hacerse extensiva a un sistema completo, pero la definición del término «idéntico» suscita en tal caso algunas dificultades. Considérese un sistema que comprenda dos satélites A_u y A_d, el primero de los cuales recibe la señal por el enlace ascendente y la transmite hacia el segundo, el cual, a su vez, la transmite por el enlace descendente. Considérese ahora otro sistema similar, con satélites B_u y B_d. Son posibles varias configuraciones diferentes, según se representa esquemáticamente a continuación.



Todas estas posiciones responden a cierta necesidad de simetría, pero ¿qué caso debe considerarse «idéntico», y qué arcos de la órbita deben considerarse ocupados? Esto demuestra que, cuando intervienen enlaces entre satélites, y, más generalmente, sistemas arbitrarios que definen una sola modalidad de conexión, se requieren mayores estudios para evaluar correctamente una medida de la utilización del recurso órbita-espectro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos del CCIR
[1978-82]: 4/329 (U.R.S.S.).

SECCIÓN 4F: COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE LAS REDES DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE Y OTROS SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIONES ESPACIALES

Informes

INFORME 560-2

CRITERIOS DE COMPARTICIÓN PARA LA PROTECCIÓN DE LAS ESTACIONES ESPACIALES DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE QUE RECIBEN EN LA BANDA DE 14 A 14,4 GHz

(Programa de Estudios 2L/4)

(1974-1978-1982)

1. Introducción

El Programa de Estudios 2L/4 requiere que se examinen los criterios en que se basa la compartición de frecuencias entre el servicio fijo por satélite (Tierra-espacio) y los servicios de radionavegación y radionavegación por satélite en frecuencias del orden de 14 GHz. El presente Informe versa sobre los aspectos relativos a la interferencia causada a las estaciones espaciales geoestacionarias del servicio fijo por satélite y en él se determinan los valores provisionales de los límites necesarios para ofrecer una protección adecuada.

2. Protección de los receptores de las estaciones del servicio fijo por satélite contra la interferencia de los transmisores del servicio de radionavegación en la banda de 14 a 14,3 GHz

Puesto que es probable que las transmisiones con modulación por impulsos codificados predominen en los sistemas por satélite que trabajan en las cercanías de 14 GHz, sería conveniente relacionar la potencia de interferencia con una anchura de banda de 1 MHz. De conformidad con los anteriores estudios de problemas semejantes de compartición, se toma como objetivo un nivel de potencia interferente no superior a 1/10 de la potencia del ruido térmico a la entrada del receptor del satélite.

Es probable que en los sistemas por satélite que trabajan en esas bandas se utilicen antenas de satélite con anchuras de haz muy variables, según las distintas necesidades de cobertura. Sin embargo, si la densidad geográfica media de distribución de las estaciones terrenales interferentes es la misma en zonas de cobertura distintas, puede demostrarse que la potencia de interferencia total a la entrada del receptor del satélite es independiente de la anchura del haz de la antena receptora del satélite. El número de transmisores interferentes dentro del haz variará en la práctica según las dimensiones y la ubicación de la zona de cobertura y es necesario tomar como base una anchura angular de haz típica para la antena del satélite dejando un margen adecuado para las fuentes de interferencia múltiples.

En el cálculo que figura seguidamente se ha tomado como tipo una anchura de haz de 1° para la antena del satélite.

CUADRO I — *Cálculo del valor admisible de la densidad de flujo de potencia de interferencia en el satélite*

Temperatura de ruido del receptor del satélite	1500 K
Potencia de ruido en cualquier banda de 1 MHz a la entrada del receptor	– 137 dBW
Potencia de interferencia admisible a la entrada del receptor en cualquier banda de 1 MHz	– 147 dBW
Ganancia media de la antena receptora del satélite con relación a una antena isotrópica, para una abertura de haz de 1°	43 dB
Superficie efectiva S de la antena con relación a 1 m²	0,5
10 log S	– 3
Densidad de flujo de potencia admisible de la interferencia total en el satélite en cualquier banda de 1 MHz	– 144 dB(W/m²)
Tolerancia para fuentes múltiples en cualquier banda de 1 MHz	– 6 dB
Densidad de flujo de potencia admisible en el satélite, procedente de un solo transmisor interferente, en cualquier banda de 1 MHz	– 150 dB(W/m²)

Para calcular el margen de tolerancia que ha de fijarse para las fuentes múltiples dentro del haz, es necesario partir de un modelo en el que se represente el uso futuro de la banda de 14 a 14,3 GHz por parte del servicio de radionavegación. Se prevé la utilización en esta banda de diferentes tipos de transmisores de radar, entre ellos los radares de baja potencia con modulación de frecuencia o de onda continua para mediciones de distancia y velocidad. Para estas aplicaciones se recurrirá a dispositivos de estado sólido con antenas de reducidas dimensiones orientadas al azar y con una anchura angular de haz de unos cuantos grados, cuyo empleo podrá generalizarse. Para otras aplicaciones podría recurrirse a radares de impulsos modulados en amplitud con haces giratorios. Como guía para determinar el número global de fuentes simultáneas de interferencia dentro del haz en un satélite geoestacionario, se ha establecido un sencillo modelo en el que se supone que la densidad media de transmisores de modulación de frecuencia de radar de baja potencia es de uno por 100 km^2 y que la cobertura angular del haz, orientado al azar en el plano horizontal, es de 6°. Partiendo de estas hipótesis, en una banda de 1 MHz un solo satélite se hallará, como se indica en el anexo I, dentro del haz de las antenas de cuatro transmisores de ese tipo. Este modelo está, desde luego, sumamente simplificado, pero se estima que, provisionalmente, justifica un margen global de tolerancia de 6 dB para las fuentes múltiples de interferencia dentro del haz, teniendo en cuenta que también existirá a un nivel inferior un gran número de fuentes de interferencia fuera del haz.

Por consiguiente, se llega a la conclusión de que para facilitar una protección adecuada al servicio fijo por satélite, cuando el número de fuentes simultáneas de interferencia es reducido, el valor de cresta de la densidad de flujo de potencia, originado en un punto cualquiera de la órbita de los satélites geoestacionarios por cualquier transmisor del servicio de radionavegación en la banda de 14 a 14,3 GHz, no debe ser superior a -150 dB(W/m^2) en cualquier banda de 1 MHz.

3. Densidad del flujo de potencia en función de la densidad de transmisores

Si bien el límite derivado en el punto 2 supone sólo cuatro fuentes simultáneas dentro del haz por MHz, permite una densidad geográfica razonablemente elevada de transmisores que estén en actividad simultáneamente, si se tiene en cuenta la distribución aleatoria de sus frecuencias y de las direcciones de sus antenas. Sin embargo, para algunas aplicaciones de la radionavegación, es posible que puedan utilizarse dispositivos de baja potencia con densidades mucho mayores, y en tales casos habría que reducir en consecuencia el límite de la densidad de flujo de potencia por transmisor.

Partiendo, como antes, de la hipótesis de que las antenas de radionavegación están orientadas en el plano horizontal, el número de fuentes de interferencia simultáneas dentro del haz en una banda de 1 MHz recibidas por una antena de satélite que ilumine a la Tierra con un ángulo de elevación bajo vendrá dado por:

$$n = DA\frac{\theta}{360}$$

donde D es la densidad media por km^2 de los transmisores de radionavegación simultáneamente activos dentro de banda de 1 MHz; A es el área, en km^2, de la superficie de la Tierra cubierta por la antena receptora del satélite y θ es el valor medio representativo de la anchura del haz, en grados, de las antenas transmisoras de radionavegación.

Suponiendo, como se hace en el punto 2 y en el anexo I, que el valor medio de θ es 6° y que el área de cobertura A es $1{,}2 \times 10^6$ km^2, tendremos:

$$n = D \times 2 \times 10^4$$

Por lo tanto, cuando n sea superior a 4, el valor máximo de la densidad de flujo de potencia de cresta que puede producir cualquier transmisor en la órbita de los satélites geoestacionarios vendrá dado por:

$-150 - 10 \log n/4$ dB(W/m^2) en cualquier banda de 1 MHz,

$-187 - 10 \log D$ dB(W/m^2) en cualquier banda de 1 MHz.

En el anexo II se da un ejemplo de cálculo para determinado tipo de radar que utiliza esta banda de frecuencias.

4. Protección de los receptores de las estaciones espaciales del servicio fijo por satélite contra las interferencias de los satélites del servicio de radionavegación en la banda de 14,3 a 14,4 GHz

Se supone que los satélites de radionavegación empleados en esta banda serán satélites geoestacionarios, que se utilizan como un sistema de radiodeterminación por radiosextante (véase la Recomendación 361-2 (Kyoto, 1978)). La potencia de interferencia admisible a la entrada del receptor del servicio fijo por satélite seguirá siendo de -147 dBW en cualquier banda de 1 MHz, según muestra el cuadro I. Una vez más resulta adecuado un valor de 6 dB para tener en cuenta las múltiples fuentes. Sin embargo, ha de aplicarse al servicio de radionavegación por satélite un criterio distinto, ya que es necesario prever la coordinación entre estos servicios espaciales más bien que un límite a la densidad de flujo de potencia. El criterio que ha de seguirse en este procedimiento debe, por consiguiente, ser que la potencia de interferencia, producida a la entrada del receptor del satélite del servicio fijo por satélite, por un satélite de radionavegación, no exceda de -153 dBW en cualquier banda de 1 MHz.

ANEXO I

CÁLCULO DEL NÚMERO DE FUENTES SIMULTÁNEAS DE INTERFERENCIA A QUE DAN LUGAR LOS TRANSMISORES DE RADIONAVEGACIÓN

Como guía para calcular el margen de tolerancia que ha de fijarse para las fuentes simultáneas de interferencia provocadas por los transmisores de radionavegación, se ha establecido un sencillo modelo en el que se supone que los transmisores de radar con modulación de frecuencia de baja potencia que operan en el mismo canal de frecuencia nominal están distribuidos a través de toda la zona cubierta por el haz de la antena del satélite (las antenas de radar están orientadas al azar en el plano horizontal). Para determinar el número medio de fuentes simultáneas de interferencia dentro del haz, se procede como sigue:

Anchura angular del haz de la antena de radar	6°
Anchura de banda del transmisor	50 MHz
Densidad media geográfica de los transmisores en la zona de cobertura de un satélite	1 por 100 km^2
Zona aproximada que cubre la antena de un satélite con una anchura angular de haz de 1°	$1{,}2 \times 10^6$ km^2
Número de transmisores dentro de la zona de cobertura	12×10^3
Número de antenas de radar dirigidas, con una tolerancia de ± 3°, hacia un satélite geoestacionario	$12 \times 10^3 \times (6/360) = 200$
Media del número de radares dirigidos simultáneamente, dentro de una banda de 1 MHz, hacia un satélite	$200 \times (1/50) = 4$

ANEXO II

ESTIMACIÓN DE LA DENSIDAD DE FLUJO DE POTENCIA OBTENIDA CON EL EQUIPO DENOMINADO «RADAR DE SILBIDOS» («WHISTLER»)

El «radar de silbidos» es un dispositivo portátil que tiene un alcance de hasta 3,7 km. Sus principales características son las siguientes:

Banda de frecuencias de funcionamiento	14,0 a 14,03 GHz
Ganancia máxima de la antena	25 dB
Anchuras angulares del haz – Elevación	10°
Acimut	3°
Potencia a la entrada de la antena	–13 dBW
Forma de onda moduladora	10 Hz triangular
Excursión de frecuencia MF	± 7,5 MHz
Mínima señal detectable	–150 dBW en una anchura de banda de 150 Hz

Se observará fácilmente que la p.i.r.e. máxima del dispositivo es de 12 dBW, y la densidad de flujo de potencia resultante en la órbita de los satélites geoestacionarios de unos –151 dB(W/m^2), en 15 MHz, o sea, unos 10 dB menos que lo estipulado en el punto 2 para una sola fuente de interferencia, suponiendo una transmisión entre haces principales (reducido ángulo de elevación de la estación espacial interferida).

INFORME 872

CRITERIOS DE COMPARTICIÓN ENTRE ENLACES ENTRE SATÉLITES QUE CONECTAN SATÉLITES GEOESTACIONARIOS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE Y EL SERVICIO DE RADIONAVEGACIÓN A 33 GHz

(Programa de Estudios 2S/4)

(1982)

1. Introducción

Las características técnicas de los enlaces entre satélites del servicio fijo por satélite se estudian en el Informe 451, donde se indica que en un futuro próximo puede haber necesidad de una forma limitada de enlaces entre satélites relativamente próximos y que funcionen en frecuencias comprendidas entre, aproximadamente, 15 y 33 GHz.

En esta gama de frecuencias, la CAMR-79 atribuyó al servicio entre satélites una banda (32 a 33 GHz) compartida con el servicio de radionavegación.

En este Informe, se examinan las posibilidades de compartición entre los enlaces entre satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite y el servicio de radionavegación.

2. Características de los enlaces entre satélites que funcionan en el intervalo de frecuencias entre 32 y 33 GHz

En el Informe 451 se recogen las características probables de los enlaces entre satélites que funcionan en el intervalo de frecuencias 32 a 33 GHz. Se supone que los enlaces probablemente serían poco numerosos y se utilizarían para pequeñas distancias entre satélites, con objeto de reducir al mínimo el retardo por tiempo de propagación y deberían apoyarse, tanto como fuera posible, en la tecnología actual de vehículos espaciales. En el cuadro I se recoge un conjunto de parámetros que podrían representar enlaces típicos. Se supone que los enlaces que se estudian en este Informe, conectan satélites con separaciones orbitales variables, emplean antenas de 2 m de diámetro con seguimiento y funcionan con una relación portadora/ruido de 25 dB, de forma que el enlace entre satélites contribuye a una parte relativamente pequeña del ruido permitido por canal.

A partir de los resultados obtenidos, se pueden establecer los niveles de interferencia causada o recibida del servicio de radionavegación.

Se considera que el enlace mostrado en el cuadro I es únicamente un posible diseño de un enlace entre satélites, y que han sido también propuestos otros diseños posibles que implican técnicas tales como la remodulación MF. No obstante, tales enlaces se caracterizarían por una densidad de potencia transmitida inferior y, probablemente una menor susceptibilidad a las interferencias, de modo que se considera que las características dadas representan un caso suficientemente conservador.

3. Características del servicio de radionavegación en frecuencias de 32 a 33 GHz

No es posible predecir, con precisión, las características técnicas que serán adoptadas para los sistemas del servicio de radionavegación. No obstante, en el cuadro I se detallan las hipótesis que se han establecido. Se han supuesto dos ganancias de antena, una para instalaciones terrenas y otra para instalaciones a bordo de aeronaves. También hay una posible causa de interferencias debida a fuentes del servicio de radionavegación que utilizan impulsos pero se han considerado solamente fuentes continuas debido a que éstas ocasionan las interferencias más graves.

4. Interferencias de los enlaces entre satélites al servicio de radionavegación

La interferencia de un enlace del servicio entre satélites (SES), se estudia en términos de densidad de flujo de potencia (*dfp*) sobre la superficie de la Tierra.

Hay dos factores que contribuyen a esta *dfp*; en primer lugar la potencia por MHz en la antena del enlace del servicio entre satélites (P_T) que es proporcional a la distancia del enlace entre satélites, y en segundo lugar la ganancia fuera del haz principal ($G(\theta)$) (véase el Informe 558) en la dirección de la Tierra de la antena transmisora. Ambos factores dependen de la separación angular φ (véase la fig. 1) y puede demostrarse que la *dfp* sobre la superficie terrestre (dfp_{SES}) es aproximadamente igual a:

$dfp_{SES} \approx P_T(\varphi) + G(\theta) - 164$ (pérdida por dispersión) dB(W/(m^2 · MHz))

$\approx$ Potencia requerida de la portadora ($-113 + 1$ dB(W/MHz))

$-$ Ganancia total de las antenas (108 dBi) + Pérdida en el trayecto

$+$ Ganancia de la antena en la dirección de la Tierra $-$ Pérdida por dispersión

y en función de la separación angular, se convierte en:

$$\approx -220 + 20 \log \left[\frac{8\pi\, 4{,}22 \times 10^7 \operatorname{sen}(\varphi/2)}{\lambda} \right] + 54 - 25 \log \left(\frac{163 - \varphi}{0{,}32} \right) - 164$$

que da como resultado la expresión:

$$dfp_{SES} \approx 10 \log \left[\frac{8\pi\, 4{,}22 \times 10^7 \operatorname{sen}((\varphi/2)}{\lambda} \right]^2 - 25 \log \left(\frac{163 - \varphi}{0{,}32} \right) - 330 \qquad \text{dB (W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$$

La fig. 2 muestra la dfp calculada a partir de las características supuestas y para separaciones angulares de 40° a 160°. Obsérvese que la expresión utilizada anteriormente para la ganancia de la antena fuera del eje se reduce a -10 dB para una separación angular entre satélites, φ, de 46,6°. Esto produce la forma plana y la discontinuidad mostradas en la fig. 2.

5. Interferencia causada por el servicio de radionavegación a los enlaces entre satélites

Las interferencias procedentes del servicio de radionavegación (RN), dependerán principalmente de la ganancia de la antena receptora del enlace entre satélites en la dirección de la Tierra ($G(\theta)$), y de la p.i.r.e. del servicio de radionavegación.

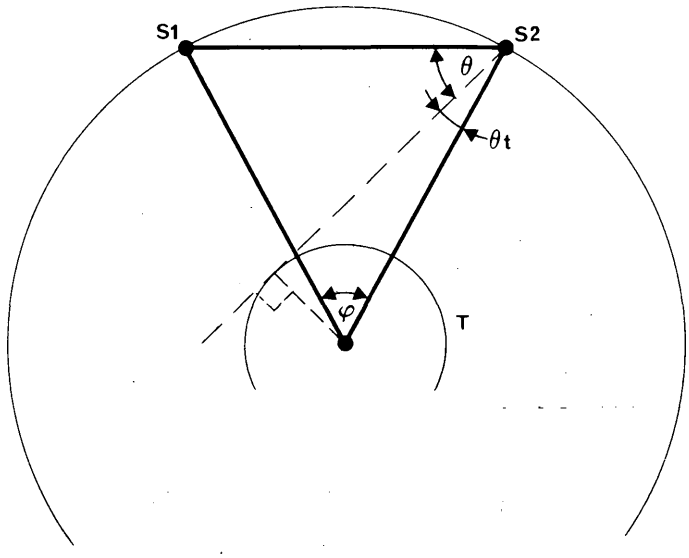


FIGURA 1 — *Enlace entre satélites*

S1: Satélite 1
S2: Satélite 2
φ: Separación angular
θ: Ángulo con relación al eje del haz principal
θ_t: Ángulo tangencial (constante)
T: Tierra

Suponiendo que la potencia total de interferencia debe estar limitada a la décima parte del ruido del sistema receptor, podría considerarse apropiada una relación portadora/interferencia total de 35 dB (comparada con la relación portadora/ruido de 25 dB).

De acuerdo con estas condiciones puede estimarse la máxima p.i.r.e. (p.i.r.e.$_{RN\ máx}$) procedente del servicio de radionavegación en función de las separaciones angulares, de la siguiente forma:

$$\text{p.i.r.e.}_{RN\ máx} \approx \text{Pérdidas en el trayecto} - \text{interferencia máxima permitida} - G(\theta)$$

$$\approx 215 - 148 - G(\theta)$$

$$\approx 13 + 25 \log \left(\frac{163 - \varphi}{0{,}32} \right) \quad \text{dB (W/MHz)}$$

La fig. 2 representa la p.i.r.e. máxima para separaciones angulares de 40° a 160°.

6. Resultados

En las curvas de la fig. 2 puede verse que una limitación dada de la dfp, para proteger el servicio de radionavegación, establece un valor máximo para la separación angular permisible del enlace entre satélites. Recíprocamente la máxima separación angular del enlace, dentro de la cual pueden estar comprendidos los enlaces entre satélites, determina el límite para la máxima p.i.r.e. en el servicio de radionavegación.

6.1 *Interferencia causada por el enlace entre satélites a la radionavegación*

Tomando como valor de la ganancia de la antena 50 dB y una potencia de ruido de -139 dB(W/MHz) para el servicio de radionavegación, se obtendría un límite de -155 dB(W/(m^2 · MHz)) en el servicio entre satélites, dando lugar a un límite para la separación angular de 140°.

6.2 *Interferencia causada por la radionavegación al enlace entre satélites*

De acuerdo con el punto 6.1 anterior, una separación angular máxima de 140° daría lugar a un límite de p.i.r.e. conjunta de alrededor de 60 dBW.

7. Conclusiones

Se concluye que no habrá problemas de interferencia para ninguno de los dos servicios en caso de enlaces cortos (separación angular hasta 90°). Los enlaces largos entre satélites tienen más capacidad de causar o recibir interferencias, y, de acuerdo con las características supuestas del cuadro I, se evidencia que puede ser necesario limitar las separaciones angulares hasta 140°, aproximadamente. En caso de enlaces múltiples entrelazados, será necesario un límite menor para las separaciones angulares. Las características de tales enlaces, requieren estudios más detallados.

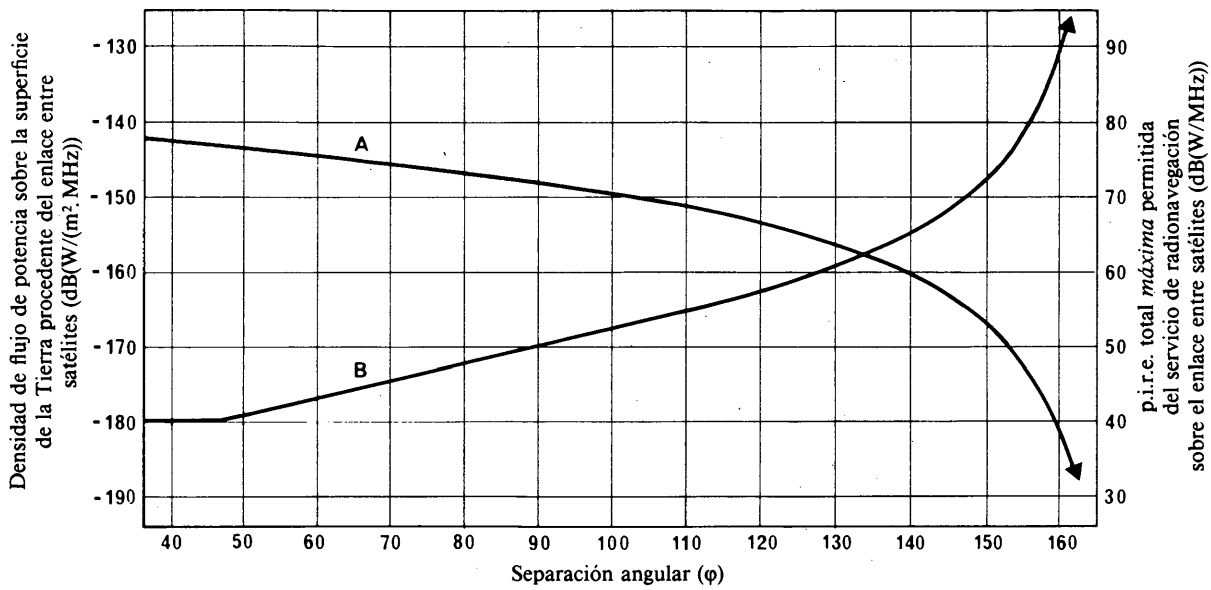


FIGURA 2 — *Criterios para el caso de interferencia entre el enlace entre satélites y el servicio de radionavegación*

Curvas A: Servicio de radionavegación interfiriendo al servicio entre satélites (p.i.r.e. $_{RNmáx}$)

B: Servicio entre satélites interfiriendo al servicio de radionavegación (dfp_{SES})

CUADRO I — *Características supuestas de un enlace entre satélites (EES) y de un sistema del servicio de radionavegación (RN)*

	EES	RN
Temperatura de ruido del sistema receptor, T (K)		
10 log T	31	30
Diámetro de la antena receptora y transmisora (m)	2	–
Ganancia de la antena receptora y transmisora (dBi)	54	50
		35(1)
Densidad de potencia de ruido del receptor (referida a la entrada de la antena) (dB(W/MHz))	–138	–139
Relación portadora/ruido (dB)	25	–
Nivel necesario de la portadora en el receptor (dB(W/MHz))	–113	–
Máximo nivel de interferencia permitido por debajo del ruido (dB)	– 10	– 10
Máximo nivel permitido de señal no deseada (dB(W/MHz))	–148	–149
Pérdida combinada debida al seguimiento (dB)	1	–
Pérdidas en el trayecto (Tierra-espacio órbita geoestacionaria) (dB)	215	–
Ancho del haz entre puntos a potencia mitad (EES) (grados)	0,32	–

(1) A bordo.

INFORME 561-3

ENLACES DE CONEXIÓN CON LAS ESTACIONES ESPACIALES DEL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE

(Programa de Estudios 30A/4)

(1974-1978-1982-1986)

1. Introducción

Las bandas de frecuencias atribuidas al servicio de radiodifusión por satélite corresponden, por definición, al sentido espacio-Tierra. Para los enlaces de conexión con los satélites de radiodifusión explotados en cualquier banda de frecuencias, deben utilizarse, de conformidad con las actuales disposiciones del Reglamento de Radiocomunicaciones, las atribuciones del servicio fijo por satélite para el sentido Tierra-espacio. A los fines de este Informe, el término «servicio fijo por satélite» corresponde a la definición del mismo en el Reglamento de Radiocomunicaciones, pero se excluyen los enlaces de conexión con los satélites de radiodifusión.

La CAMR-79 atribuyó un cierto número de bandas en el sentido Tierra-espacio para uso específico de los enlaces de conexión para el servicio de radiodifusión por satélite. Esas bandas específicas Tierra-espacio son las de 10,7 a 11,7 GHz (Región 1), de 14,5 a 14,8 GHz (todas las Regiones, con excepción de Europa menos Malta) y de 17,3 a 18,1 GHz (todas las Regiones). Salvo el caso de la banda de 17,3 a 17,7 GHz, se trata de bandas compartidas con otros servicios.

Sin embargo, como se prevé que las necesidades en materia de enlaces de conexión para el servicio de radiodifusión por satélite (particularmente en torno a 12 GHz) serán bastante considerables y dado que los enlaces de conexión con los satélites de radiodifusión pueden establecerse en cualquiera de las bandas atribuidas al servicio fijo por satélite en el sentido Tierra-espacio (si bien con coordinación previa en las bandas no destinadas exclusivamente para enlaces de conexión) y que la utilización de las bandas de frecuencias más altas con ese fin puede carecer de atractivo para algunas administraciones, los problemas que plantea un uso de esas atribuciones Tierra-espacio por ambos servicios fijo por satélite y de radiodifusión por satélite, siguen constituyendo un motivo de preocupación.

El uso simultáneo de la banda de 14 a 14,5 GHz por los sistemas del servicio de radiodifusión por satélite que funcionan en torno a 12 GHz y por los del servicio fijo por satélite a los que se han atribuido bandas diferentes en el sentido espacio-Tierra, creará un problema en las partes congestionadas de la órbita. Además de los servicios de radiodifusión por satélite de recepción individual y comunal en la banda de 12 GHz, se considera que podrán proporcionarse servicios «bidireccionales» (telefonía, datos, video) mediante estaciones terrenas con antenas de pequeña abertura. Esto puede imponer requisitos y restricciones adicionales a los dos servicios.

En el presente Informe se evalúan las repercusiones que tendría en esta compartición el empleo de atribuciones del servicio fijo por satélite para los enlaces de conexión con satélites de radiodifusión, y se examinan las técnicas y métodos posibles para establecer tales enlaces de conexión asegurando una cierta flexibilidad en el servicio fijo por satélite, teniendo presentes los Planes establecidos por la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para la planificación del servicio de radiodifusión por satélite (Regiones 1 y 3) (Ginebra, 1977) (CAMR-RS-77) y luego por la conexa Conferencia Administrativa Regional de Radiocomunicaciones para la planificación del servicio de radiodifusión por satélite en la Región 2 (Ginebra, 1983) (CARR-SAT-R2).

Además, en el Informe 1006 se estudia la protección de los enlaces de conexión con satélites de radiodifusión contra las emisiones del servicio fijo.

2. Características técnicas y operacionales necesarias para los enlaces de conexión con satélites de radiodifusión

2.1 *Consideraciones generales*

En este punto se presentan algunas de las características preferidas de los enlaces de conexión que forman parte del servicio fijo por satélite desde el punto de vista de los satélites de radiodifusión.

Las condiciones que deben reunir estos enlaces de conexión variarán de una banda a otra. Sin embargo, el diseño de los satélites impone ciertos requisitos que tienden a limitar la proximidad entre las frecuencias utilizadas en los enlaces ascendentes y descendentes. Estas frecuencias deben elegirse de modo que no estén ni demasiado cercanas ni demasiado alejadas entre sí; una separación de frecuencias demasiado pequeña dificulta la obtención de un filtrado adecuado, mientras que una separación demasiado grande suscita otros problemas de diseño.

Se considera en general que la contribución del enlace de conexión a la degradación de la calidad de funcionamiento global del enlace de un satélite de radiodifusión debiera ser mínima. Normalmente, la distribución del ruido total entre los enlaces de conexión y descendente será diferente para cada par de bandas de frecuencias.

Convendrá en general disponer de flexibilidad para situar las estaciones terrenas, fijas o transportables, del enlace de conexión en cualquier parte dentro de la zona de servicio del enlace descendente. En ciertos casos puede ser necesario también establecer enlaces de conexión fijos o transportables, desde cualquier punto interior o exterior de la zona de servicio del enlace descendente, sobre todo en los países de gran extensión con varias zonas de servicio cubiertas desde una misma posición orbital o con varios servicios regionales de radiodifusión por satélite.

Esta flexibilidad repercute en la reutilización de frecuencias en los enlaces de conexión y pueden aplicarse varios métodos para reducir la magnitud del espectro necesario.

Si los enlaces de conexión tuviesen densidades de flujo de potencia uniformes en la órbita geoestacionaria, la compartición sería más fácil. Se podría obtener tal uniformidad empleando antenas receptoras de satélite con una ganancia máxima normalizada.

Si las antenas receptoras de satélite pudiesen tener la máxima directividad realizable desde el punto de vista técnico, aumentaría la posibilidad de reutilizar los canales de frecuencias del enlace de conexión y se reducirían al mínimo las necesidades de anchura de banda. Para poder aprovechar esta posibilidad, la estación terrena transmisora del enlace de conexión tendría que estar situada cerca de la torre de alineación óptica de la zona de servicio del enlace descendente del satélite de radiodifusión, si se usa la misma antena de satélite para la transmisión y la recepción. La zona de servicio del enlace ascendente será, en cualquier caso, sustancialmente más pequeña que la del enlace descendente, lo que puede crear problemas operacionales, como se indicó más arriba.

Si la estación terrena del enlace de conexión no puede emplazarse cerca de la torre de alineación óptica, se podrían utilizar técnicas especiales de antena o incluso antenas separadas en el satélite. De ser necesario obtener acceso al satélite desde diferentes puntos según un orden determinado en el tiempo, habría que utilizar, ya sea antenas de recepción de haces restringidos orientables, o antenas de menor ganancia (mayor anchura angular del haz). De requerirse enlaces de conexión simultáneos desde diferentes puntos es posible que no resulte práctico utilizar antenas de haz estrecho y ganancia elevada.

Al considerar los enlaces de conexión, tal vez sea necesario tener en cuenta las funciones del servicio de operaciones para el servicio de radiodifusión por satélite.

2.2 *Sistemas de radiodifusión por satélite en torno a 12 GHz*

La CAMR-RS-77 estableció ciertas normas técnicas que afectan a la explotación de los enlaces de conexión para las Regiones 1 y 3. Un requisito importante es que la reducción de la calidad del enlace descendente causada por el ruido térmico del enlace de conexión se considere equivalente a una degradación de la relación portadora/ruido (C/N) en el enlace descendente no superior a 0,5 dB durante el 99% del mes más desfavorable. Para limitar la degradación a este valor, la relación C/N del enlace de conexión para las Regiones 1 y 3 debe ser unos 10 dB superior a la requerida para el enlace descendente, de modo que en este caso la relación C/N para el enlace ascendente tendría que ser de 24 dB si los índices de modulación fuesen iguales.

La Conferencia estableció también que la relación de protección total para cada transmisión de radiodifusión por satélite debe ser de 30 dB. De modo semejante, con la división de los requisitos en materia de calidad de funcionamiento global, la relación de protección total del enlace de conexión de un satélite de radiodifusión puede tener que ser del orden de 40 dB, con una relación de protección para una sola fuente de interferencia tan alta como 45 dB. No se han establecido todavía normas para ninguno de estos dos últimos valores. En lo que respecta a la interferencia debida a los canales adyacentes, hay recientes experimentos simulados que muestran que dicha interferencia es unos 4 dB menor cuando los tubos amplificadores de potencia de los satélites de radiodifusión funcionan en condiciones de saturación y no de excitación reducida. Tal mejora podría aprovecharse igualmente en la planificación de la interferencia de canal adyacente para los enlaces de conexión en las Regiones 1 y 3.

Con respecto a la Región 2, la conclusión de la CARR-SAT-R2 fue que se requiere una relación de protección cocanal de 28 dB, lo que se refleja en la concepción del Plan para la Región 2. Se decidió igualmente que, en el caso de los enlaces de conexión un incremento del 10% de la temperatura de ruido a la entrada del receptor del satélite habría de constituir el umbral que requeriría coordinación, de ser rebasado por verdaderas emisiones interferentes.

Puede encontrarse más información en el Informe 952, en el apéndice 30 del Reglamento de Radiocomunicaciones y en las Actas Finales de la CARR-SAT-R2 (Ginebra, 1983).

3. Anchura de banda necesaria del enlace de conexión

3.1 *Atribuciones destinadas a enlaces descendentes*

La anchura de banda necesaria del enlace de conexión debe considerarse en el contexto de la anchura de banda total atribuida al servicio de radiodifusión por satélite. La situación se resume en el cuadro I.

CUADRO I — *Anchura de banda atribuida al servicio de radiodifusión por satélite por debajo de 40 GHz*

Parte del espectro	Anchura de banda (MHz)
700 MHz	170
2,5 GHz	190
12 GHz	800 (Región 1)
	400–600 (Región 2)
	750 (Región 3)
22 GHz	450 (Regiones 2 y 3)

3.2 *Reducción de la anchura de banda requerida para los enlaces de conexión con satélites de radiodifusión en 12 GHz*

Se han atribuido al servicio de radiodifusión por satélite anchuras de banda considerables para sus enlaces espacio-Tierra, y se prevé que, en último término, estas bandas han de utilizarse extensamente para televisión, mediante la reutilización de frecuencias, que puede conseguirse con antenas transmisoras de alta ganancia en el satélite y el empleo de técnicas de polarización cruzada. Sin duda, ha de obtenerse un grado similar de reutilización de frecuencias en el sentido Tierra-espacio por medio de antenas receptoras de alta ganancia en el satélite, pero es dudoso que esta técnica permita obtener en los enlaces de conexión un grado de reutilización netamente superior al de los enlaces descendentes en las partes del mundo donde las zonas de servicio de radiodifusión son relativamente pequeñas. Podría reducirse el grado de utilización por los enlaces de conexión de los satélites de radiodifusión de las bandas atribuidas a los enlaces Tierra-espacio del servicio fijo por satélite, si se lograse intensificar la reutilización de frecuencias para estos enlaces. Se han identificado cuatro métodos posibles para lograrlo:

3.2.1 *Reutilización de frecuencias en el enlace de conexión merced a una superior directividad de las antenas transmisoras de las estaciones terrenas con relación a las antenas receptoras de radiodifusión*

Si el segmento espacial de los sistemas de radiodifusión por satélite que proporcionan servicio a una zona multinacional de dimensiones continentales constara de numerosos satélites espaciados algunos grados en la órbita de los satélites geoestacionarios, la posibilidad de reutilizar las frecuencias en posiciones diferentes de la órbita dependería, en el caso de las transmisiones Tierra-espacio, de la discriminación fuera del haz de las antenas transmisoras de estación terrena y de las antenas receptoras del satélite. En el caso de las transmisiones espacio-Tierra, ello depende de la discriminación fuera del haz de las antenas transmisoras del satélite y la de las antenas receptoras de la estación terrena en los terminales de recepción de radiodifusión. Se prevé que normalmente la discriminación fuera del haz de las antenas transmisoras de la estación terrena ha de ser considerablemente superior a la de las antenas receptoras de radiodifusión, necesariamente pequeñas, por lo que las transmisiones Tierra-espacio permiten mayores posibilidades de reutilización de las frecuencias. En consecuencia, la anchura de banda necesaria en el enlace de conexión con el satélite de radiodifusión podría ser inferior a la del enlace descendente.

Sin embargo, el plan adoptado por la CAMR-RS-77, mencionado en el punto 2 no permitiría reducir sustancialmente la anchura de banda del enlace de conexión. Esto queda ilustrado en un estudio acerca de la utilización eficaz de las frecuencias de la banda de 14 GHz para el enlace de conexión con satélites de radiodifusión en la región del Pacífico occidental y de Asia, en la banda de 12 GHz [CCIR, 1974-78]. Los resultados de este estudio están indicados en la fig. 1. En esta figura la separación entre los satélites, φ se toma como un parámetro para el cálculo de la relación portadora/interferencia (C/I) en los enlaces ascendentes entre dos sistemas de satélites. En el caso de $\varphi = 0°$, el valor de C/I es de -3 dB en la hipótesis más desfavorable, y de 49 dB en la más favorable en la región de la órbita comprendida entre 34° E y 158° E; en la mayoría de los casos, sin embargo, el valor de C/I es menor de 40 dB, que puede considerarse la relación de protección necesaria para el enlace de conexión por lo que, cuando los satélites comparten las mismas posiciones orbitales generalmente es menester utilizar frecuencias diferentes para el enlace de conexión. En caso de $\varphi = 6°$, el valor de C/I pasa a ser mayor de 40 dB, incluso en las posiciones de la órbita que experimentan las mayores interferencias cercanas a 74° E, cuando se utilizan antenas de estación terrenas de más de 4,5 m de diámetro. En el caso de $\varphi = 12°$, la C/I es mayor de 40 dB para antenas con un diámetro de más de 2,5 m ($D/\lambda > 117$ a 14 GHz), incluso en las posiciones de la órbita que experimentan las mayores interferencias.

En este estudio se supuso una C/I de 40 dB como valor para una sola fuente de interferencia. Sin embargo, como se indica en el punto 2.2, el valor de 40 dB corresponderá tal vez a todas las fuentes de interferencia, en cuyo caso la relación C/I para una sola fuente podría ser tan alta como 45 dB.

3.2.2 *Discriminación por polarización*

En ciertos casos, es posible que el empleo de la discriminación por polarización permita mejorar la reutilización de frecuencias en el enlace de conexión. Los factores que deben tenerse en cuenta se describen en el Informe 555. Se requieren mayores estudios para determinar la anchura de banda total necesaria para proporcionar enlaces de conexión con satélites de radiodifusión, teniendo en cuenta las ventajas que aportaría la reutilización de frecuencias por medio de la discriminación por polarización.

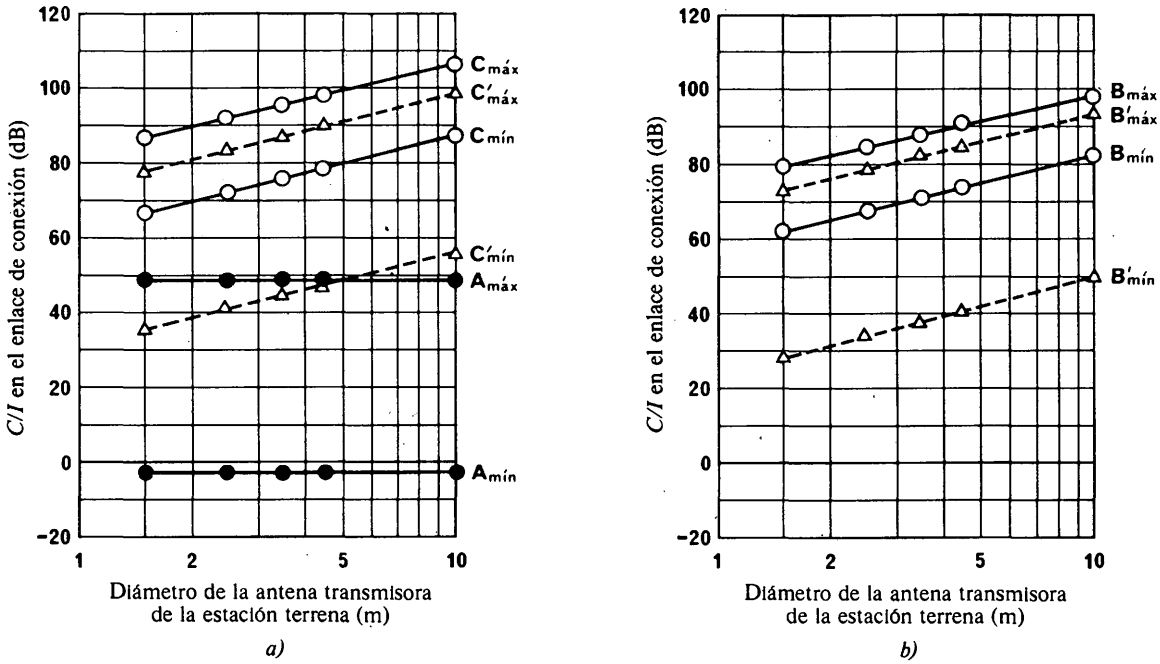


FIGURA 1 — *Relación portadora/interferencia (C/I) en el enlace de conexión con el servicio de radiodifusión por satélite en la banda de 12 GHz en la zona del Pacífico occidental y Asia, según lo establecido por la CAMR-RS-77*

$A_{máx}$: C/I máx. para $\varphi = 0°$, en 140° E
A_{min} : C/I mín. para $\varphi = 0°$, en 44° E
$B_{máx}$, B_{min} : C/I_s máx. y mín. para $\varphi = 6°$, en 128° E
$B'_{máx}$, B'_{min} : C/I_s máx. y mín. para $\varphi = 6°$, en 74° E
$C_{máx}$, C_{min} : C/I_s máx. y mín. para $\varphi = 12°$, en 128° E
$C'_{máx}$, C'_{min}: C/I_s máx. y mín. para $\varphi = 12°$, en 74° E

φ : Separación entre los satélites, C/I: Para interferencia procedente de una sola fuente

Nota. — Se supone que la posición orbital, la polarización y la dimensión de los haces de satélite son iguales a las del enlace descendente, pero no se tienen en cuenta en este cálculo los errores de control de posición del satélite y de puntería de las antenas.

Estudios realizados indican que para la Región 1 puede ser posible trasladar el plan de enlaces descendentes de la CAMR-RS-77 para planificar los enlaces de conexión en la banda 17,3-18,1 GHz. En determinadas condiciones puede que sea factible efectuar la planificación independiente de las posiciones orbitales. En el Informe 952 figura información más detallada al respecto.

3.2.3 *Empleo de otros métodos de modulación para el enlace de conexión*

Se ha efectuado un primer estudio de la técnica de reducción de la anchura de banda necesaria en el enlace de conexión mediante una modulación de banda estrecha y conversión de la modulación en el satélite [Baker y Bolingbroke, 1975]. Pueden obtenerse considerables reducciones de anchura de banda en el enlace de conexión empleando, por ejemplo, una modulación de frecuencia de excursión reducida o una modulación de manipulación por desplazamiento de fase multinivel (varios estados de fase), junto con la codificación digital y el tratamiento de las señales de video. Sin embargo, la utilización de la modulación de frecuencia de excursión reducida supondría un tratamiento de la señal en el satélite, mientras que el empleo de codificación digital implicaría la demodulación, decodificación y remodulación en el satélite.

La utilización de sistemas de modulación de mayor eficacia en los enlaces de conexión, puede exigir relaciones de protección muy elevadas en dicho enlace, cuya consecución práctica resulta difícil. Por otra parte, las señales de video contienen gran cantidad de elementos redundantes, habiéndose desarrollado técnicas susceptibles de suprimir parte de esta redundancia sin pérdida de la calidad de transmisión. Se denominan estas técnicas codificación de la fuente. Si se aplicasen técnicas de codificación de la fuente en los enlaces de conexión con los satélites de radiodifusión, serían posibles ahorros notables de anchura de banda con los sistemas convencionales de modulación y no tendría que aumentarse la relación de protección del enlace de conexión. La utilización de codificación de la fuente, como el uso de sistemas de modulación de gran densidad, requeriría el tratamiento de las señales en el satélite.

En general, el inconveniente de los sistemas de modulación alternativos para los enlaces de conexión es el aumento consiguiente en la complejidad, masa y costo del satélite, así como la disminución en su fiabilidad. La necesidad de utilizar estas técnicas puede también retrasar en algunos casos la puesta en práctica de los sistemas de radiodifusión por satélite.

3.2.4 *Sistemas integrados sonido-video*

Si el canal de sonido se múltipla por distribución de tiempo dentro de la señal de video (por ejemplo, durante el intervalo de impulsos de sincronismo), puede conseguirse entonces un ahorro en la anchura de banda total en radiofrecuencia de la portadora modulada. La magnitud de la anchura de banda ahorrada y la cuantía del coste y complejidad adicionales de los receptores de radiodifusión requieren ulteriores estudios. Se han concebido, para utilizarlos en el servicio de radiodifusión por satélite, dos de esos sistemas para transmisión de sonido y de imagen. Uno de ellos se conoce con el nombre de sistema C-MAC/paquetes (véanse los Informes 1073 y 1074). El otro es un sistema de subportadora digital para señales de imagen NTSC de 525 líneas para el sistema M [CCIR, 1978-82a] (véase el Informe 634, § 3.1.8). Dichos sistemas permiten la transmisión dentro de la anchura de banda nominal de 27 MHz establecida para los radiocanales en el Plan de la CAMR-RS-77, y su inmunidad a la interferencia no es inferior a la de las señales codificadas compuestas a que se recurrió en la preparación del Plan de 1977, ni la interferencia que causan superior a la producida por éstas.

El sonido de televisión puede transmitirse mediante una o más subportadoras por encima de la señal de imagen, y al planificar los enlaces de conexión debe tenerse en cuenta la necesidad de que la calidad de funcionamiento de los canales de sonido sea adecuada. Tal consideración puede afectar a la relación de protección necesaria en el canal adyacente.

4. Utilización de las atribuciones del servicio fijo por satélite (Tierra-espacio) como enlaces de conexión para el servicio de radiodifusión por satélite

4.1 *Utilización de la banda 14,0 a 14,5 GHz*

Se ha utilizado un ejemplo para calcular la interferencia producida por la transmisión en el enlace de conexión del servicio de radiodifusión por satélite sobre un satélite de características similares a los satélites Intelsat-V, así como la situación inversa de interferencia producida por la transmisión en el enlace ascendente de un satélite del servicio fijo por satélite sobre el enlace de conexión de un satélite de radiodifusión. Se supone que las señales interferentes son de la misma frecuencia y polarización.

En el ejemplo se han adoptado las siguientes hipótesis relativas a los sistemas para las dos señales interferentes:

Transmisiones en los enlaces ascendentes del servicio de radiodifusión por satélite:

Anchura angular del haz de la antena receptora de satélite:	1°, 2°, 4°
Temperatura de ruido del sistema receptor del satélite:	3000 K
Diámetro de la antena transmisora de la estación terrena:	2, 4, 8 m
Relación portadora/ruido en el enlace ascendente:	25 dB
Anchura de banda de radiofrecuencia:	27 MHz
Dispersión de energía:	600 kHz cresta a cresta

Esos supuestos dan como resultado los parámetros siguientes del sistema (a 14 GHz):

CUADRO II

Sistema receptor del satélite		Estación terrena transmisora			
Abertura angular del haz de la antena	G/T en el borde del haz de la antena	p.i.r.e.	Potencia suministrada a la antena		
			2 m	4 m	8 m
1° 2° 4°	6 dB(K^{-1}) 0 dB(K^{-1}) −6 dB(K^{-1})	72,7 dBW 78,7 dBW 84,7 dBW	380 W 1500 W 6000 W	97 W 380 W 1500 W	24 W 97 W 380 W

Por lo que se refiere al sistema INTELSAT, se supondrán tres clases de transmisiones típicas con las características siguientes:

CUADRO III

Tipo	Modulación	Capacidad	p.i.r.e.	Relación de protección
A	MDF-MF	24 canales	69 dBW	29 dB (1)
B	MDF-MF	972 canales	81 dBW	33 dB (1)
C	AMDT-MDPC-4 Φ	120 Mbit/s	82 dBW	30 dB (2)

(1) Para obtener una potencia de ruido de 600 pW0p en el canal más desfavorable debida a la interferencia por una transmisión analógica de televisión MF.

(2) Mínimo admisible para una sola contribución de interferencia procedente de cualquier transmisión de elevada potencia comprendida en la banda ocupada de 72 MHz.

Suponiendo que tanto el satélite de radiodifusión como el satélite de la serie INTELSAT-V tengan coberturas de antena receptora de estación espacial a 14 GHz coincidentes o solapadas, suponiendo además que las antenas de las estaciones terrenas que transmiten hacia el satélite de radiodifusión satisfacen el diagrama de radiación de referencia del CCIR, las relaciones de protección requeridas mencionadas más arriba podrían lograrse con las separaciones angulares geocéntricas siguientes entre el satélite de radiodifusión y un satélite Intelsat-V:

CUADRO IV

Características del sistema de radiodifusión por satélite		Separación entre satélites para diferentes tipos de portadora INTELSAT interferida		
		A	B	C
Anchura angular del haz de la antena del satélite en recepción	Diámetro de la antena de la estación terrena transmisora	24 canales MDF-MF	972 canales MDF-MF	MDPC-4 Φ 120 Mbit/s
1°	2 m 4 m 8 m	5,0° 2,9° 1,7°	2,4° 1,4° < 1,0°	1,7° < 1,0° < 1,0°
2°	2 m 4 m 8 m	8,7° 5,0° 2,8°	4,2° 2,4° 1,4°	2,9° 1,7° < 1,0°
4°	2 m 4 m 8 m	15,1° 8,7° 5,0°	7,2° 4,2° 2,4°	5,0° 2,9° 1,7°

Se han mostrado claramente las ventajas que presenta la reducción de la anchura angular del haz de la antena receptora de un satélite de radiodifusión en la disminución de las condiciones de interferencia; sin embargo, la cobertura reducida podría impedir la transmisión hacia el satélite de radiodifusión desde ciertas zonas dentro de los límites de la zona de servicio, o desde fuera de ella.

La planificación actual del sistema INTELSAT prevé un número apreciable de portadoras MDF-MF con una capacidad de sólo 24 canales, así como numerosas portadoras MDF-MF de capacidad comprendida entre 24 y 972 canales. En el caso de estas portadoras, las separaciones angulares geocéntricas requeridas entre un satélite de radiodifusión y un satélite Intelsat-V son apreciables. Sería posible lograrlas si los satélites de radiodifusión estuviesen separados entre sí por ángulos iguales al doble de los indicados más arriba, pero en tal caso sólo habría una posición de satélite del servicio fijo por satélite entre dos posiciones de satélite de radiodifusión. De desearse una relación de n satélites del servicio fijo por satélite por cada satélite de radiodifusión, sería necesario aumentar la separación entre satélites de radiodifusión $n - 1$ veces la separación requerida entre los satélites del servicio fijo por satélite.

En el caso del sistema INTELSAT, es posible aprovechar el hecho de que actualmente sólo proporciona una cobertura limitada para el enlace ascendente a 14 GHz y utilizar, en los enlaces de conexión con satélites de radiodifusión anchuras angulares del haz de la antena receptora del satélite inferiores a 1° y antenas transmisoras de estación terrena de más de 8 m de diámetro a fin de reducir el problema, aunque esto puede constituir una importante limitación para el servicio de radiodifusión por satélite y resultar inadmisible. Otra posibilidad sería coordinar las frecuencias portadoras de los enlaces de conexión con el satélite de radiodifusión con los de las portadoras del satélite Intelsat-V, o bien tratar de obtener una cierta discriminación por polarización en el enlace ascendente.

En la dirección opuesta, la interferencia causada por las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite a los satélites de radiodifusión dista mucho de ser despreciable. Con los parámetros correspondientes a la portadora INTELSAT de 972 canales, y suponiendo que se requiera una relación de protección de 45 dB para una sola fuente interferente en el enlace de conexión del servicio de radiodifusión por satélite, se necesitarían las siguientes separaciones geocéntricas entre satélites a 14 GHz:

CUADRO V

Anchura angular del haz del satélite de radiodifusión en recepción	Separación entre satélites para diferentes diámetros de la antena transmisora de la estación terrena INTELSAT		
	8 m	12 m	16 m
1°	11,6°	8,8°	6,8°
2°	6,7°	5,0°	4,0°
4°	3,8°	3,0°	2,3°

Los parámetros del sistema que se indican en este punto para el servicio fijo por satélite son los correspondientes a satélites Intelsat-V. Otros sistemas del servicio fijo por satélite, especialmente los destinados a prestar un servicio nacional o regional, pueden requerir separaciones mayores que las indicadas en los cuadros.

En este caso, el aumento en la sensibilidad del receptor del satélite de radiodifusión implicará un incremento paralelo en su susceptibilidad a la interferencia procedente de las transmisiones de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite, lo que puede entrañar la necesidad de una mayor separación entre satélites.

Puede concluirse que es posible que surjan problemas de interferencia entre los enlaces ascendentes de los sistemas del servicio fijo por satélite y los enlaces de conexión con los satélites de radiodifusión cuando utilicen una banda de frecuencias común. Ello no obstante, se trata de problemas que podrán resolverse en casos concretos mediante una coordinación de frecuencias y el empleo de una tecnología apropiada. Véase asimismo el Informe 952 que versa sobre los problemas con que se tropieza en relación con los ejemplos de sistemas para el servicio fijo por satélite de sensibilidad mayor que la del sistema aquí examinado. Se llega a la conclusión de que será necesario estudiar en detalle los casos concretos de compartición entre redes del servicio fijo por satélite y enlaces de conexión del servicio de radiodifusión por satélite, teniendo en cuenta el diseño previsto y los parámetros de explotación. Se dan dos ejemplos adicionales sobre estudios realizados para las Regiones 3 y 1.

4.1.1 *Ejemplo 1*

En un análisis realizado por Japón se calculó la interferencia para casos particulares en la banda de 14,0 a 14,5 GHz entre enlaces ascendentes de los satélites del servicio fijo que prestan servicio a la Región 3 y tienen las características que se indican en el Informe 561 para Intelsat-V y enlaces de conexión con satélites de radiodifusión de la Región 3 que funcionan de conformidad con el Plan de Ginebra para la banda de 12 GHz, presentándose los resultados siguientes [CCIR, 1978-82a]:

- Para los parámetros técnicos utilizados en el estudio, el valor peor de la relación portadora/interferencia (C/I) en los enlaces de conexión con los satélites de radiodifusión interferidos por enlaces ascendentes de Intelsat-V en la región del Océano Índico sería superior a la relación de protección supuesta de 45 dB. El peor valor de C/I de los enlaces ascendentes de Intelsat-V interferidos por los enlaces de conexión con satélites de radiodifusión sería superior a los 31 dB necesarios para una potencia de ruido de interferencia de 400 pW0p (de 600 pW0p según la Recomendación 466) en un sistema MDF-MF de 24 canales.
- En el caso de la interferencia entre un supuesto satélite del servicio fijo por satélite emplazado a 65° E, y los satélites de radiodifusión, las antenas de 15 m de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite causarían interferencia a los satélites de radiodifusión situados en el segmento orbital de 62° E a 74° E. Por consiguiente, la separación orbital necesaria para proteger los enlaces de conexión de la radiodifusión por satélite puede ser de unos 10°. En cuanto a la interferencia de estaciones terrenas del servicio de radiodifusión por satélite a las estaciones espaciales del servicio fijo por satélite, sería producida únicamente por las estaciones terrenas que establezcan la conexión con los satélites de radiodifusión que tengan una separación de 3° con respecto al satélite del servicio fijo por satélite.
- En cuanto a la interferencia entre los satélites de radiodifusión y los supuestos satélites del servicio fijo por satélite, nacionales o subregionales, situados entre los satélites de radiodifusión, la interferencia causada a los satélites de radiodifusión sería la dominante. En consecuencia, el uso de antenas transmisoras terrenas de 4,5 m en el sistema del servicio fijo por satélite causaría interferencia a los satélites de radiodifusión separados de los satélites del servicio fijo por satélite no más de 30° aproximadamente y con relaciones de protección inferiores a 45 dB.

Si se suponen características de transmisión y posiciones orbitales distintas para Intelsat-V, algunas de las cuales pueden emplearse pronto (SCPC, portadoras de 12 canales, posición de 66° E de longitud, etc.), puede llegarse a conclusiones distintas en lo que respecta a la separación orbital necesaria entre los satélites del servicio fijo por satélite y los satélites de radiodifusión que utilizan las bandas de 14,0 a 14,5 GHz en la dirección Tierra-espacio. Se necesitan nuevos estudios para tener en cuenta la gama de parámetros de sistemas que pueden utilizarse.

4.1.2 *Ejemplo 2*

El estudio realizado por la Administración francesa [CCIR, 1978-82b] en este ejemplo supone la posición orbital del satélite del servicio fijo por satélite (SFS) situada entre dos satélites de radiodifusión separados 6°, y una zona de servicio del SFS que se superpone parcialmente a una de las zonas de servicio del servicio de radiodifusión por satélite (SRS). Para este estudio y este conjunto particular de hipótesis, se concluyó que, incluso en el caso de redes del SFS que utilizan portadoras MDF-MF de gran capacidad, no puede asegurarse una adecuada protección contra la interferencia causada al SFS por los enlaces de conexión del SRS a menos que el satélite del SFS esté ubicado cerca de alguna de las posiciones en que la interferencia es mínima. La elección de esas posiciones pueden entrañar serias limitaciones que resultan incompatibles con las necesidades del SFS (tales como el arco de servicio). Además, la utilización de una banda compartida entre los enlaces de conexión de la radiodifusión por satélite y los enlaces ascendentes del servicio fijo por satélite en el conjunto de una Región supondría que tal compartición es posible por lo menos en ciertas posiciones orbitales y cualquiera que sean las posibles características de los sistemas; ahora bien, se ha visto que, en el caso de las portadoras de tipo monocanal o con canales de pequeña capacidad del SFS, no resulta posible encontrar una posición conveniente.

4.2 *Utilización de bandas de frecuencias superiores a la de 14,0 a 14,5 GHz*

Se han atribuido dos bandas de frecuencias a los enlaces de conexión con el SRS, bandas de 14,5 a 14,8 GHz y 17,3 a 18,1 GHz. En las zonas de la Región 3 de intensa precipitación, el uso de la banda superior podría no resultar conveniente debido a las condiciones adversas de propagación. Por otra parte, la banda 14,5 a 14,8 GHz puede tener capacidad insuficiente para satisfacer las exigencias de los enlaces de conexión.

Se calcula que los enlaces de conexión de las estaciones terrenas en las Regiones 1 y 3, así como cerca de 18 GHz, requieren una p.i.r.e. cuyo valor oscila entre 78 y 85 dBW, según las características del sistema. El valor más alto se podría obtener con una antena de 8 m de diámetro equivalente y alto rendimiento cuyos terminales de entrada dispongan de una potencia transmisora de unos 250 W (véase también el § 5.1 del Informe 952).

A efectos de la determinación de la potencia requerida de los enlaces de conexión en el Plan para enlaces de conexión en las Regiones 1 y 3, quizá haya que prestar atención al ruido introducido por la conversión de la modulación de amplitud en modulación de fase en los actuales tubos amplificadores de alta potencia (véase también el § 3.3 del Informe 952).

5. Utilización de las atribuciones del servicio fijo por satélite (espacio-Tierra) para los enlaces de conexión del servicio de radiodifusión por satélite

Si se decidiese aplicar este procedimiento, es decir, asignar bandas para el enlace de conexión del servicio de radiodifusión en una banda espacio-Tierra atribuida al servicio fijo por satélite, como se prevé, tratándose de la banda de 10,7 a 11,7 GHz, en la Región 1, se producirían los siguientes tipos de interferencia:

a) Interferencia causada por estaciones espaciales del servicio fijo por satélite a estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite.

b) Interferencia causada por estaciones terrenas que transmiten hacia satélites de radiodifusión a estaciones terrenas que reciben transmisiones de satélites del servicio fijo por satélite.

En el caso de la interferencia *a)* anterior, es posible suponer los parámetros mencionados precedentemente para un enlace de conexión de radiodifusión por satélite, que conducen a una potencia de la portadora deseada en el receptor del satélite de radiodifusión de unos −95 dBW. Suponiendo que se necesite una relación de protección en el enlace de conexión para una sola fuente interferente a 45 dB, la potencia de interferencia a la entrada del receptor del satélite de radiodifusión no debe exceder de −140 dBW. La atenuación neta entre la salida del transmisor de una estación espacial interferente del servicio fijo por satélite y el receptor de un satélite de radiodifusión es igual a la pérdida en el espacio libre, A, entre las dos estaciones espaciales, menos la suma de las ganancias de las antenas ΣG (ganancia de la antena transmisora del satélite del servicio fijo por satélite y ganancia de la antena receptora del satélite de radiodifusión) de ambas estaciones espaciales en la dirección de una a la otra, es decir, sus ganancias de antena respectivas con un ángulo no inferior a unos 70° respecto de las direcciones de sus respectivos haces principales. Se aplica la desigualdad siguiente:

$$P_{SFS} + \Sigma G(70°) - A(\varphi) \leqslant -140 \text{ dBW} \tag{1}$$

que, con

$$A = 90 + 20 \log f_{\text{MHz}} + 20 \log \varphi° \quad \text{dB} \tag{2}$$

y en el supuesto de $f = 11\,000$ MHz, da la siguiente ecuación para el valor mínimo de la separación angular de los satélites, φ, en función de las dos variables P_{SFS} (potencia disponible de la portadora en el terminal de la antena transmisora del satélite del servicio fijo) y ΣG:

$$\log \varphi = \frac{P_{SFS} + \Sigma G - 31}{20} \tag{3}$$

El cuadro VI siguiente muestra la relación entre φ (en grados), P_{SFS} (en dBW) y ΣG (en dB).

CUADRO VI

P_{SFS} (dBW)	ΣG (dB)		
	0	10	20
0	0,03°	0,09°	0,3°
5	0,05°	0,16°	0,5°
10	0,09°	0,3°	0,9°
15	0,16°	0,5°	1,6°
20	0,3°	0,9°	2,8°

Puede comprobarse que se requiere una separación entre satélites inferior a 3° aun con 100 W (20 dBW) de potencia de la portadora del servicio fijo y 20 dB de ganancia conjunta total de las antenas.

Como ejemplo, Intelsat-V tiene una potencia de portadora disponible de 10 W (10 dBW), y sería fácil mantener la ganancia conjunta de las antenas entre dos estaciones espaciales por debajo de unos 10 dB, de manera que sería posible lograr separaciones entre satélites de unos 3/10 de grado. Esto corresponde a una distancia en línea recta de unos 230 km. Como la diferencia de altitud orbital entre dos estaciones espaciales puede ser considerable esporádicamente (quizá de hasta 75 km), sería necesario mantener una separación suficientemente grande en la práctica para evitar una configuración relativa desfavorable en la que una de las estaciones espaciales se encuentre durante un cierto tiempo en una región del diagrama de radiación de la otra estación espacial, de ganancia algo más elevada; a pesar de ello, una separación mínima de unos 0,3° parece que garantizaría la seguridad.

Por lo que se refiere a la interferencia potencial en estaciones terrenas que reciben las transmisiones del servicio fijo por satélite, que puede ser causada por estaciones terrenas que transmiten hacia satélites de radiodifusión, es obvio que estos dos tipos de estación terrena no pueden estar en un mismo emplazamiento. Por lo general, se puede elegir el emplazamiento relativo de las estaciones de tal manera que los haces principales y los primeros lóbulos laterales no se intersecten en la troposfera, y mantener la ganancia de antena hacia el horizonte de cada estación, en la dirección de la otra, a niveles inferiores en 10 dB a la ganancia isótropa. Esto entrañará ciertas restricciones en la elección de los posibles emplazamientos de las estaciones terrenas; tal elección sería fácil en países de bajas latitudes y estaría sujeta a una restricción sólo moderada en países de latitud elevada.

En el caso de los tres tipos de portadora utilizados anteriormente para la serie de satélites Intelsat-V, estipulando que las relaciones de protección aplicables pueden reducirse en 10 dB durante el 0,01% del tiempo, y suponiendo una temperatura de ruido del sistema receptor de estación terrena INTELSAT de 150 K y que la relación nominal portadora/ruido térmico requerida en el enlace descendente sea de 19 dB para las portadoras MDF-MF y de 25 dB para el AMDT, se obtienen los valores siguientes para la pérdida básica de transmisión necesaria (en dB) entre los dos emplazamientos, excedida durante todo el tiempo excepto el 0,01%, para diversas potencias del transmisor de la estación terrena del enlace de conexión hacia el satélite de radiodifusión.

CUADRO VII

Tipo de portadora INTELSAT	Potencia del transmisor de la estación terrena para el enlace de conexión				
	22 W	90 W	350 W	1400 W	5600 W
24 canales MDF-MF	140 dB	146 dB	152 dB	158 dB	164 dB
972 canales MDF-MF	131 dB	137 dB	143 dB	149 dB	155 dB
120 Mbit/s MDPC-4 Φ	119 dB	125 dB	131 dB	137 dB	143 dB

Se observará que prácticamente todos estos valores de la atenuación requerida (0,01% del tiempo) traerían consigo distancias de separación entre los emplazamientos inferiores a 100 km, y mucho menores en algunos casos. Habría necesidad de distancias de separación aún menores si el efecto de pantalla del terreno asegurase un aislamiento adicional entre los emplazamientos.

Se requieren estudios ulteriores relativos a los efectos potenciales sobre los sistemas de relevadores radioeléctricos de las propuestas para enlaces ascendentes y descendentes de sistemas espaciales que funcionan en bandas compartidas con los servicios terrenales. Además, es preciso estudiar si este modo de utilización impone condicionamientos operacionales a los enlaces de conexión hacia satélites de radiodifusión.

6. Conclusiones

Este Informe ha mostrado que la satisfacción de una parte de las necesidades en materia de enlaces de conexión del servicio de radiodifusión por satélite en una de las atribuciones existentes para los enlaces Tierra-espacio del servicio fijo por satélite, no destinadas exclusivamente para los enlaces de conexión, puede producir limitaciones recíprocas importantes entre ambos servicios, puesto que:

- las exigencias de los Planes para el enlace de conexión deben de concordar con las correspondientes al enlace descendente y, por tanto, el número de radiocanales necesarios para el enlace de conexión debe ser del mismo orden de magnitud que el correspondiente al enlace descendente; no obstante, puede ser incluso mayor, y las posiciones orbitales no son objeto de elección;
- las exigencias de relaciones de protección en los enlaces de conexión con los satélites de radiodifusión pueden ser notables, y puede ser apreciable la separación necesaria entre satélites;
- resultará imposible para cualquiera de estos dos servicios hacer uso de ciertas ubicaciones orbitales y/o ciertos radiocanales;
- los procedimientos de coordinación entre redes, aplicados en el caso de las bandas atribuidas en el sentido Tierra-espacio al servicio fijo por satélite, y no reservadas específicamente para los enlaces de conexión del servicio de radiodifusión por satélite, quizá no resulten acordes con los dispositivos del Plan ni con las opciones de puesta en servicio.

En consecuencia, parece necesario considerar las soluciones técnicas que podrían aliviar o evitar los problemas, teniendo en cuenta las limitaciones actuales o a corto plazo derivadas de la implantación de tales soluciones, que incluirían la consideración de técnicas capaces de reducir al mínimo las exigencias de anchura de banda total para los enlaces de conexión.

Entre las técnicas de reducción al mínimo de la anchura de banda, se han distinguido las siguientes:

- comprensión del espectro mediante la utilización de modos de transmisión de gran densidad en el enlace de conexión (modulación de índice reducido y/o codificación de la fuente); tales técnicas requieren el tratamiento de la señal en el satélite e influirán en la complejidad del vehículo espacial y en la fiabilidad y costo del sistema;
- aumento de la reutilización del espectro mediante el empleo de técnicas de aislamiento mejoradas tales como el aislamiento por polarización y/o control de las ganancias y de los lóbulos laterales de las antenas de las estaciones terrenas y espaciales; se piensa que la influencia del costo resultará moderada cuando se vean afectados uno solo o muy pocos sistemas de antenas.

Entre las técnicas y estrategias para reducir la influencia de las atribuciones a los enlaces Tierra-espacio del servicio fijo por satélite, la que merece seguirse considerando es la compartición con el servicio fijo por satélite en bandas de frecuencias atribuidas a este último en el sentido espacio-Tierra. Sin embargo, cuando tales bandas estén también atribuidas a los servicios terrenales, existiría un número relativamente grande de «interfaces» de interferencia. Son necesarios estudios adicionales para poder establecer criterios de compartición apropiados.

Las repercusiones serían menos graves en el servicio fijo por satélite, si los enlaces de conexión con el satélite de radiodifusión utilizasen al máximo las bandas atribuidas para este fin concreto, como se indica en la introducción al presente Informe.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, A. E. y BOLINGBROKE, P. J. [7-10 de abril de 1975] Earth-to-space links for broadcasting satellites. IEE Conf. Publ. 126. IEE Conference on Satellite-Communication-Systems Technology, Londres, Reino Unido.

Documentos del CCIR

[1974-78]: 4/289 (Estados Unidos de América).

[1978-82]: **a.** 10-11S/20 (Japón); **b.** 10-11S/69 (Francia).

BIBLIOGRAFÍA

Documentos del CCIR

[1974-78]: 4/237 (Japón); 11/387 (Países Bajos).

INFORME 712-1

FACTORES RELATIVOS A LA PROTECCIÓN DE LAS ESTACIONES TERRENAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE, QUE FUNCIONAN EN BANDAS DE FRECUENCIAS ADYACENTES, CONTRA LAS EMISIONES NO DESEADAS DE SATÉLITES DE RADIODIFUSIÓN QUE FUNCIONAN EN BANDAS DE FRECUENCIAS DE UNOS 12 GHz

(Cuestión 25/4)

(1978-1982)

1. Consideraciones generales

La elevada p.i.r.e. de una estación espacial, necesaria para la recepción individual en el servicio de radiodifusión por satélite, puede tener por consecuencia que los niveles de las emisiones no deseadas en frecuencias fuera del canal ocupado por una emisión de radiodifusión por satélite sean considerables. Para los canales de radiodifusión por satélite más próximos a los bordes de una banda atribuida a este servicio, estas emisiones no deseadas pueden producir densidades de flujo de potencia, en la dirección de una estación terrena del servicio fijo por satélite que funcione cerca de los bordes de las bandas adyacentes atribuidas al servicio fijo por satélite, que pueden rebasar notablemente los niveles admisibles de interferencia causada a la estación terrena.

El que estos niveles de las emisiones no deseadas causen o no interferencia inadmisible a estaciones terrenas del servicio fijo por satélite depende de varios factores entre los cuales figuran:

- la separación orbital entre el satélite de radiodifusión y el satélite del servicio fijo, y la correspondiente discriminación que pueda ofrecer la antena de la estación terrena del servicio fijo por satélite,
- el nivel de filtrado en el transmisor del satélite de radiodifusión y en el receptor de la estación terrena que pueden obtenerse en la práctica,
- la separación de frecuencias entre los canales más próximos a la frecuencia de separación de ambas atribuciones,
- el criterio de interferencia utilizado para definir el valor máximo admisible de la densidad espectral de flujo de potencia, y
- otros factores, tales como la discriminación de las antenas de los satélites, que proporcionan aislamiento adicional.

2. Niveles estimados de emisiones no deseadas procedentes de satélites de radiodifusión en 12 GHz

En el Informe 807 se discuten las diversas fuentes de emisiones no deseadas procedentes de satélites de radiodifusión. En la fig. 1 se reproducen dos curvas de este Informe, que pueden utilizarse para estimar los niveles más desfavorables de la densidad espectral de flujo de potencia producidos por estas emisiones en función de la diferencia de las frecuencias con respecto a la frecuencia central de un canal de radiodifusión por satélite. Los niveles de densidad espectral de flujo de potencia indicados en la fig. 1 corresponden a una p.i.r.e. en el centro del haz del satélite de radiodifusión de 69 dBW. Por el contrario, los valores de la p.i.r.e. asociados al 90% aproximadamente de las asignaciones de frecuencias del plan de radiodifusión por satélite para las Regiones 1 y 3 se encuentran en la gama de 64 ± 1,5 dBW. Este hecho debe tenerse presente al interpretar los datos de las figs. 4 a 7 y los ejemplos de separación orbital y separación de frecuencias dados en el punto 5. Se necesitan estudios más amplios para determinar cuál de las dos curvas puede representar adecuadamente las condiciones de funcionamiento. La señal utilizada para calcular la curva A de la fig. 1 consistía en barras de color saturadas al 100%. En radiodifusión normal no se emplean estas señales.

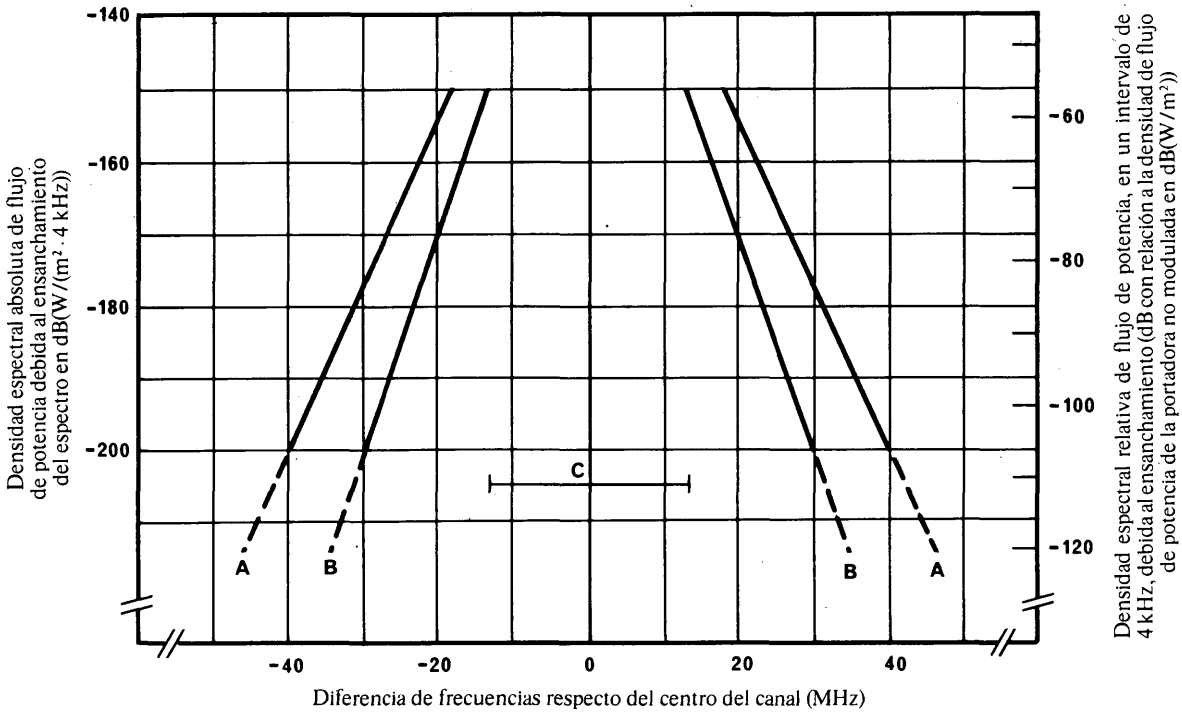


FIGURA 1 — *Envolventes fuera de banda típicas del espectro de RF radiado por un satélite de radiodifusión (televisión)*

A: Envolvente para una señal en banda de base de barra de color al 100%, con modulador acoplado en corriente alterna
B: Envolvente para una señal de prueba de inserción en la línea 330, con modulador acoplado en corriente alterna
C: Anchura de banda nominal del canal (27 MHz)

Nota 1. — Para la escala izquierda se ha supuesto que la p.i.r.e. del satélite corresponde a una densidad de flujo de potencia de −94 dB(W/m²) en el centro del haz, para una portadora no modulada.

Nota 2. — Se ha supuesto también una dispersión de energía mínima correspondiente a ±7,9 kHz.

Nota 3. — Se ha supuesto una preacentuación de acuerdo con la Recomendación 405 del CCIR.

Sin embargo, mediciones recientes, efectuadas con una señal en banda base de barra de color al 75% del sistema NTSC sin filtrado de RF, de las que se da cuenta en el anexo I del Informe 807, indican que las emisiones no deseadas procedentes de un canal de radiodifusión por satélite de 27 MHz, con excursiones de cresta variables entre 5,3 MHz y 16,8 MHz son substancialmente mayores que las indicadas en la fig. 1. Se necesita urgentemente efectuar estudios más profundos sobre estas mediciones y acerca de los efectos de la interferencia sobre el servicio fijo por satélite.

3. Niveles máximos admisibles de densidad espectral de flujo de potencia en el caso más desfavorable, a la entrada de los receptores interferidos

En el cuadro I se presentan ejemplos de sistemas del servicio fijo por satélite que emplean las bandas adyacentes a la banda de 11,7 a 12,5 GHz del servicio de radiodifusión por satélite (Región 1), así como los cálculos de la densidad de flujo de potencia máxima admisible, en el caso más desfavorable de interferencia en el receptor de la estación terrena del servicio fijo por satélite. El criterio utilizado en estos cálculos fue el siguiente: el nivel de interferencia global debido a emisiones deseadas debe estar a 10 dB por debajo del nivel de ruido térmico del sistema interferido. En los cálculos no se ha tenido en cuenta la posible ventaja que proporciona la directividad de la antena. Por otra parte, no se tuvo en cuenta la forma del espectro de las emisiones no deseadas, así como tampoco la del espectro de la señal recibida con interferencia. Se observa, partiendo de estos supuestos conservadores, que la densidad espectral máxima de flujo de potencia admisible de las emisiones no deseadas en la banda por debajo de 11,7 GHz es de unos -200 dB(W/(m^2 · 4 kHz)) para una señal de banda estrecha del servicio fijo por satélite y de -195 dB(W/(m^2 · 4 kHz)) para un enlace de conexión con un satélite marítimo. En la banda por encima de 12,5 GHz el límite es de -171 dB(W/(m^2 · 4 kHz)) para un enlace de datos por satélite de banda estrecha. La frecuencia a la que se especifica la densidad de flujo de potencia máxima procedente del satélite de radiodifusión se denominará «frecuencia protegida». Para señales de banda estrecha será la frecuencia central del canal de banda estrecha considerado del servicio fijo por satélite.

Al considerar la utilización de señales de banda estrecha en la parte superior de la banda de 10,7 a 11,7 GHz, se pueden aplicar directamente los mencionados valores máximos de densidad espectral de flujo de potencia. Sin embargo, cuando se utilizan portadoras de banda ancha en la parte superior de la banda de 10,7 a 11,7 GHz, la característica de reducción relativamente rápida de las emisiones fuera de banda procedentes de estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite tienden a reducir el efecto de interferencia en esas portadoras.

CUADRO I — *Ejemplos de sistemas funcionando en las bandas de 10,7 a 11,7 GHz y de 12,5 a 12,75 GHz en la Región 1 y límites máximos de densidad de flujo de potencia de las emisiones no deseadas procedentes de satélites de radiodifusión, para la protección de esos sistemas*

Parámetro	Sistema		
	10,7 a 11,7 GHz		12,5 a 12,75 GHz
	Enlace satélite marítimo a estación terrena	Enlace satélite del servicio fijo a estación terrena	Enlace satélite del servicio fijo a estación terrena (portadora de datos)
Constante de Boltzmann en dB(W/(Hz-K))	– 228,6	– 228,6	– 228,6
Temperatura de ruido del receptor (K)	300	100	100 (2)
Nivel de ruido térmico en recepción (dB(W/4 kHz)) (1)	– 167,6	– 172,6	– 172,6
Nivel máximo de interferencia en una anchura de banda de 4 kHz, en el receptor (dB(W/4 kHz))	– 177,6	– 182,6	– 182,6
Ganancia de la antena receptora (dB)	60	60	45,8
Densidad de flujo de potencia efectiva máxima admisible en el receptor interferido en dB(W/(m^2.4 kHz))	– 194,6	– 199,6	– 185,4

(1) Se supone un nivel de interferencia de 10 dB por debajo del nivel del ruido térmico.

(2) Este valor de la temperatura de ruido del receptor está en el límite de lo que puede realizarse actualmente. Algunas aplicaciones actuales pueden presentar valores de temperatura de ruido más elevados.

Como ejemplo de un sistema de banda ancha en la banda de 10,7 a 11,7 GHz, se han efectuado algunos cálculos para una portadora de 612 canales de capacidad y 20 MHz de anchura de banda utilizada en el sistema INTELSAT.

Para los cálculos, se ha supuesto que sería tolerable una contribución efectiva de ruido de aproximadamente 500 pW0p debida a una sola fuente interferente fuera de banda.

Tomando el caso más desfavorable, en que el espectro de interferencia está representado por la curva A de la fig. 1, se ha observado que la relación «portadora/interferencia» necesaria para el ejemplo considerado ha de ser de 25,6 dB. Por tanto, tomando una densidad media de la p.i.r.e. de 16,4 dB(W/MHz) para el sistema INTELSAT, junto con la relación entre el valor acumulativo de la p.i.r.e. de la señal interferente y la densidad de flujo de potencia en el borde de la banda indicada en la fig. 2, pueden derivarse los valores de la densidad espectral máxima admisible de interferencia en el borde de la banda. Los resultados se indican en la fig. 3, en función de la anchura de banda de la portadora deseada.

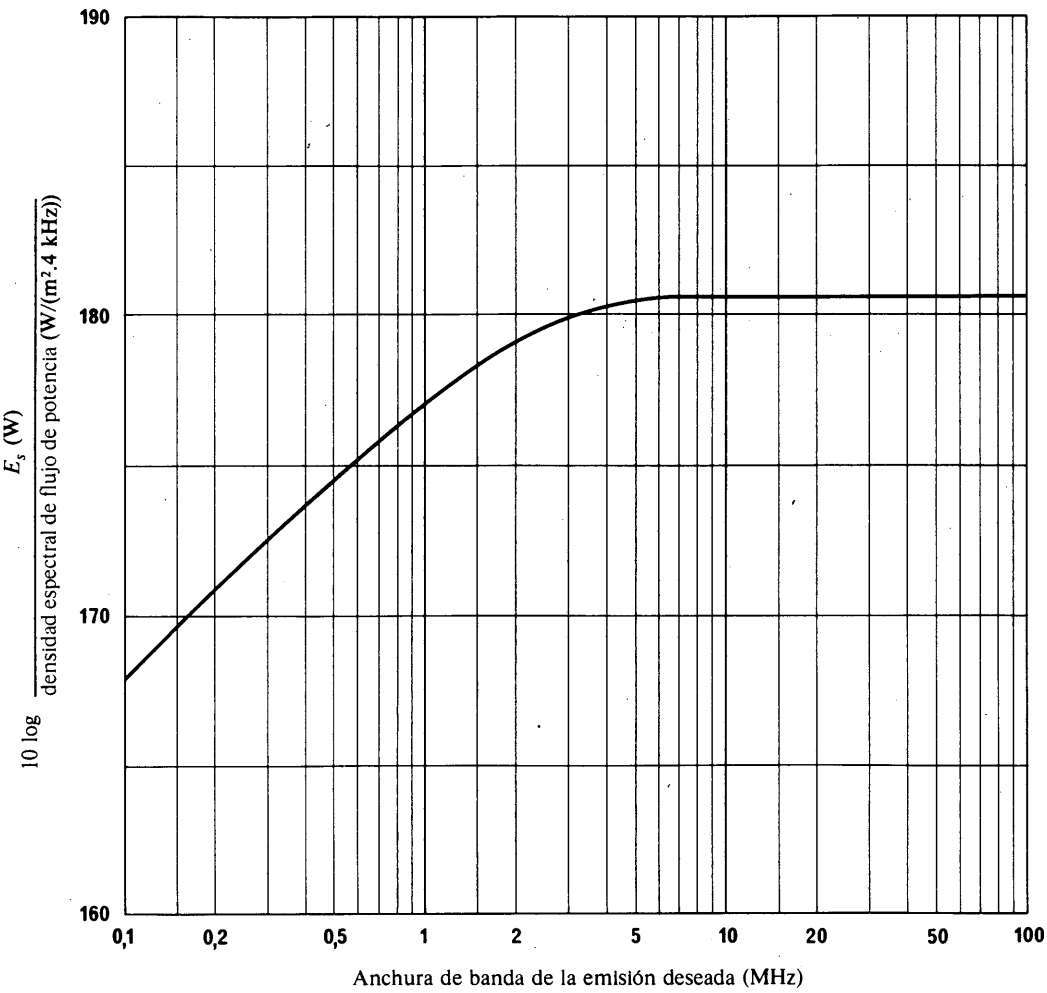


FIGURA 2 — *Relación entre E_s y la densidad espectral de flujo de potencia de la interferencia en el borde de la banda de frecuencias atribuida a la radiodifusión por satélite, en función de la anchura de banda de la portadora deseada, donde:*

E_s: Máxima p.i.r.e. acumulativa admisible de la interferencia dentro de la anchura de banda de la portadora deseada, ubicada en el borde de la banda ocupada por el servicio fijo por satélite, cuando se prevé una banda de guarda de 4 MHz

Nota. — Esta curva corresponde a la curva A de la fig. 1.

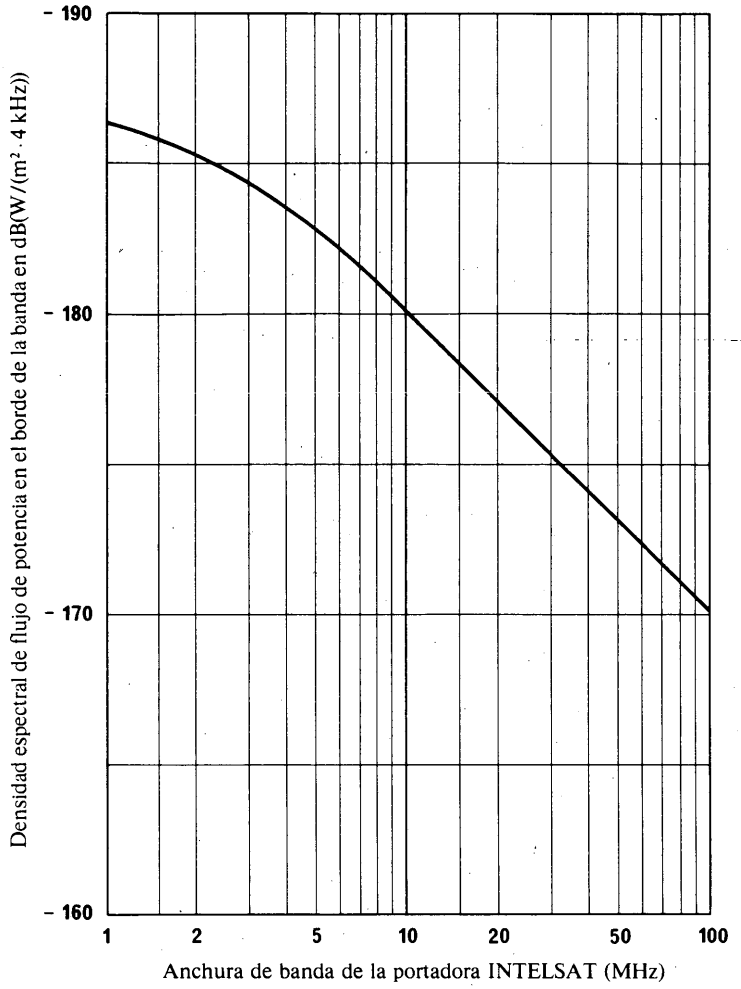


FIGURA 3 — *Densidad espectral máxima admisible de flujo de potencia en el borde de la banda, debida a emisiones interferentes fuera de banda, en función de la anchura de banda de la portadora en una transmisión del tipo Intelsat-V*
(Suponiendo una sola fuente de potencia de ruido interferente que produzca 500 pW0p y una banda de guarda de una anchura de 4 MHz dentro de la banda atribuida al servicio fijo por satélite)

Nota. — Esta curva corresponde a la curva A de la fig. 1.

En el caso particular de la portadora 612 canales y 20 MHz a que se ha hecho referencia anteriormente, puede observarse que la máxima densidad de flujo de potencia admisible en el borde de la banda sería de unos -177 dB(W/(m^2 · 4 kHz)). Se estima que una norma de protección basada en esta portadora de 20 MHz permitiría proteger razonablemente la mayoría de las portadoras de otros formatos, aparte de las de banda estrecha. Por tanto, si se evita la utilización de portadoras de banda estrecha en la parte superior de la banda de 10,7 a 11,7 GHz, un valor razonable de la densidad de flujo de potencia interferente fuera de banda, en el borde del haz, parece ser -177 dB(W/(m^2 · 4 kHz)). Serán necesarios mayores estudios sobre otros sistemas de banda ancha para el servicio fijo por satélite en la banda de 10,7 a 11,7 GHz.

4. Métodos para proteger las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite

Para que los niveles de las emisiones no deseadas de estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite se ajusten a los niveles admisibles de interferencia en las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite, debe adoptarse una combinación de las siguientes medidas:

4.1 Prever una separación angular adecuada entre las posiciones en órbita de los satélites del servicio de radiodifusión por satélite y del servicio fijo por satélite.

4.2 Efectuar un filtrado adecuado a la salida del transmisor de las estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite o en los receptores de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite, o en ambos.

4.3 Prever una separación adecuada de frecuencias entre el centro del canal inferior ocupado por una emisión procedente de una estación espacial del servicio de radiodifusión por satélite y la frecuencia protegida, definida más arriba, del servicio fijo por satélite.

Para que las restricciones que deban imponerse *a priori* al diseño de los sistemas en ambos servicios sean mínimas, pudiera no convenir, o no ser práctico, confiar exclusivamente en las condiciones de filtrado mencionadas en el punto 4.2 anterior; sin embargo, puede elaborarse una relación entre los parámetros pertinentes de los sistemas, incluida la separación entre las posiciones en órbita de los satélites, y la separación en frecuencia entre la frecuencia protegida y la frecuencia central del canal, mencionadas en los puntos 4.1 y 4.3.

Esta relación se muestra en la fig. 4, en la que se presenta la separación necesaria entre satélites en función de la densidad de flujo de potencia de las emisiones no deseadas a la frecuencia protegida de la estación terrena del servicio fijo por satélite, con la separación en frecuencia como parámetro. Estas curvas se establecieron a partir de datos relativos a las emisiones fuera de banda de estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite tomados de las curvas A y B de la fig. 1, para un canal de radiodifusión por satélite con una anchura de banda de 27 MHz.

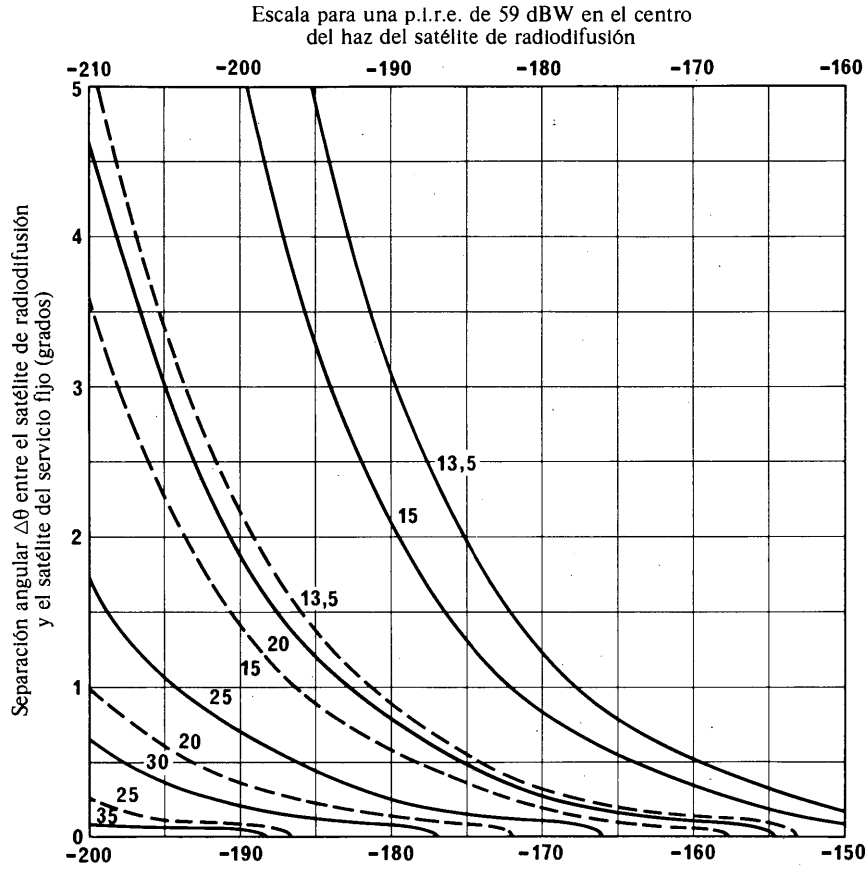


FIGURA 4 — *Separación angular y separación en frecuencias, necesarias para proteger a las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite contra las emisiones no deseadas procedentes de satélites de radiodifusión que funcionan en bandas adyacentes*

Nota 1. — La anchura de banda del canal para una señal de radiodifusión por satélite es de 27 MHz.

Nota 2. — Los números de las curvas indican Δf = separación de frecuencias entre la «frecuencia protegida» en el servicio fijo por satélite y la frecuencia central del radiocanal en el servicio de radiodifusión por satélite (MHz).

Nota 3. — Las curvas de trazo continuo se basan en la curva A de la fig. 1. Las curvas de trazo interrumpido se basan en la curva B de la fig 1.

El nivel absoluto de las emisiones no deseadas en la estación terrena del servicio fijo por satélite depende, desde luego, de la p.i.r.e. del satélite de radiodifusión. Para las abscisas se emplean en la fig. 4 dos escalas: una para una p.i.r.e. de 69 dBW y la otra para una p.i.r.e. de 59 dBW, que corresponden a densidades de flujo de potencia en tiempo despejado de unos -94 dB(W/m^2) y -104 dB(W/m^2), respectivamente, en el centro de la zona de servicio de un satélite de radiodifusión.

El nivel de las emisiones no deseadas depende también del tipo de señal de televisión transmitida por la estación espacial del servicio de radiodifusión por satélite, de la ubicación de la estación terrena del servicio fijo por satélite en relación con la zona de servicio del satélite de radiodifusión, así como de la ganancia y del diagrama de lóbulos laterales de la antena receptora de la estación terrena. Las curvas de trazo continuo de la fig. 4 se dibujaron para el caso más desfavorable en que la señal de radiodifusión por satélite es una emisión de barra de color modulada al 100% (véase la curva A de la fig. 1). Las curvas de trazo interrumpido se dibujan para el caso en que la señal de radiodifusión por satélite es una emisión de una señal de prueba de inserción en la línea 330 (véase la curva B de la fig. 1). En ambos casos se supuso que la estación terrena del servicio fijo por satélite estaba situada en el centro de la zona de servicio del satélite de radiodifusión. Se ha supuesto que la ganancia de la antena de la estación terrena es de 60 dBi y que su diagrama de lóbulos laterales se describe mediante la expresión $32 - 25 \log \varphi$. Si la estación terrena está situada fuera de la zona de servicio del satélite de radiodifusión, se obtiene una protección suplementaria contra la interferencia mediante la discriminación angular de la antena transmisora de la estación espacial del servicio de radiodifusión por satélite.

5. Ejemplos de separaciones entre satélites y/o separaciones de frecuencias compatibles (en el caso de una zona común de cobertura)

5.1 *Caso 1: Separación orbital y separación de frecuencias*

Utilizando las curvas de la fig. 4, es posible calcular las combinaciones de la separación orbital $\Delta\theta$ y de la separación de frecuencias Δf que reducirán los niveles de las emisiones no deseadas procedentes de un satélite de radiodifusión al nivel máximo admisible en las frecuencias protegidas. Los resultados de ese cálculo se presentan en la fig. 5, donde se ha representado $\Delta\theta$ en función de Δf para valores máximos admisibles de densidad de flujo de potencia que oscilan entre -210 y -160 dB(W/(m^2 · 4 kHz)). Se muestran familias distintas de curvas A y B, para los tipos de señales de prueba de un satélite de radiodifusión, que corresponden respectivamente a las curvas A y B de la fig. 1.

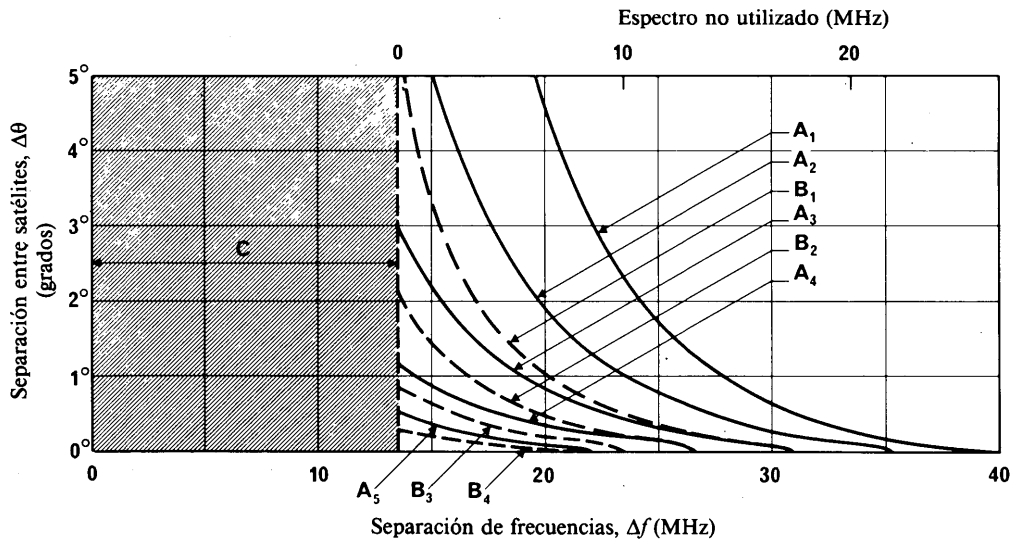


FIGURA 5 — *Compromiso entre la separación entre satélites ($\Delta\theta$) y la separación de frecuencias (Δf) para diversos valores máximos admisibles de densidad de flujo de potencia (dfp)*

A: Emisión de una barra de color modulada al 100% (curvas de trazo continuo)
B: Emisión de una señal de prueba de inserción en la línea 330 (curvas de trazo interrumpido)
— Subíndice 1: 269 — por ejemplo, dfp = 200 dB(W/m^2 . 4 kHz)) procedente de un satélite de 69 dBW de p.i.r.e.
— Subíndice 2: 259 — por ejemplo, dfp = 200 dB(W/m^2 . 4 kHz)) procedente de un satélite de 59 dBW de p.i.r.e.
— Subíndice 3: 249
— Subíndice 4: 239
— Subíndice 5: 229
C: Anchura de banda mitad del canal del satélite de radiodifusión (13,5 MHz)

Nota. — La letra y el número de las curvas indican, respectivamente, el tipo de señal de banda de base supuesta para la emisión procedente del satélite de radiodifusión y la diferencia, E_s – dfp, entre la p.i.r.e. del satélite, E_s, (en dBW) y el nivel de la emisión no deseada resultante, dfp, en dB(W/(m^2.4 kHz)) en la estación terrena del servicio fijo por satélite.

Por ejemplo, para que las emisiones no deseadas procedentes de un satélite de radiodifusión con una p.i.r.e. de 69 dBW, se mantengan a un nivel máximo de -200 dB(W/(m^2 · 4 kHz)) en una estación terrena del servicio fijo por satélite, la curva A_1 indica que pueden utilizarse las siguientes combinaciones de $\Delta\theta$ y Δf, si se supone que la señal del satélite de radiodifusión es una emisión de barra de color modulada al 100%:

CUADRO II

$\Delta\theta$ (grados)	0	1	2	3	4	5
Δf (MHz)	40	28	24,5	22	20,6	18,6
Espectro no utilizado (MHz)	26,5	14,5	11	8,5	7,1	5,1

Por tanto, la separación necesaria entre la frecuencia protegida y el centro del canal del satélite de radiodifusión pasa de 40 MHz en el caso de los satélites situados en el mismo punto ($\Delta\theta = 0$), a 18,6 MHz en el caso de satélites separados 5°. Obsérvese que aproximadamente 13,5 MHz de la separación de frecuencias necesaria (mitad de la anchura de banda supuesta para el canal del satélite de radiodifusión) corresponden al espectro esencial del satélite de radiodifusión; el resto es espectro no utilizado situado entre la frecuencia protegida en la banda del satélite del servicio fijo y el borde del canal de televisión en la banda del satélite de radiodifusión. Obsérvese también que con un satélite de radiodifusión que tenga una p.i.r.e. de 59 dBW, las mismas combinaciones de $\Delta\theta$ y Δf mantendrían las emisiones no deseadas de la estación terrena por debajo de -210 dB(W/(m^2 · 4 kHz)).

Para la misma p.i.r.e. del satélite y una densidad de flujo de potencia máxima admisible, se necesitan separaciones entre satélites y/o separaciones de frecuencias mucho más reducidas, si se supone que la señal del satélite de radiodifusión comprende una señal de prueba de inserción en la línea 330. En este caso, la curva B_1 de la fig. 5 muestra que pueden utilizarse las siguientes combinaciones de $\Delta\theta$ y Δf:

CUADRO III

$\Delta\theta$ (grados)	0	1	2	3	4	5
Δf (MHz)	30	20	17	15,5	14,5	14
Espectro no utilizado (MHz)	16,5	6,5	3,5	2	1	0,5

En el punto 3 se indicó que para una estación terrena del servicio fijo por satélite que recibe una portadora de 20 MHz de anchura de banda, el valor máximo admisible de la densidad de flujo de potencia a la frecuencia protegida (borde de la banda) es de -177 dB(W/(m^2 · 4 kHz)) aproximadamente. Por interpolación entre las curvas A_3 y A_4 de la fig. 5 se obtiene que, para la señal de prueba del caso más desfavorable correspondiente a la curva A de la fig. 1, puede utilizarse la siguiente combinación de $\Delta\theta$ y Δf para lograr este nivel de emisiones no deseadas en la estación terrena con un satélite de radiodifusión que tenga una p.i.r.e. de 69 dBW:

CUADRO IV

$\Delta\theta$ (grados)	0	1	2
Δf (MHz)	30	18	14
Espectro no utilizado (MHz)	16,5	4,5	0,5

Obsérvese que para separaciones entre satélites superiores a 2°, la separación de frecuencias requerida es inferior a la mitad de la anchura de banda del satélite de radiodifusión y es nulo el espectro no utilizado. Con un satélite que tenga una p.i.r.e. de 59 dBW, bastará una separación máxima de aproximadamente 1° para reducir a cero el espectro no utilizado.

Si se supone la señal de prueba de inserción en la línea 330 correspondiente a la curva B de la fig. 1, la interpolación entre las curvas B_3 y B_4 de la fig. 5 muestra que para cualquier valor dado de $\Delta\theta$, la separación de frecuencias necesaria se reducirá en todos los casos de 8 a 10 MHz.

5.2 *Caso 2: Satélites muy próximos* ($\Delta\theta = 0$)

Si, para evitar imponer restricciones en cuanto a la situación de los satélites de uno de los dos servicios, se admite la posibilidad de satélites situados muy próximos, la reducción de las emisiones no deseadas a valores admisibles debe lograrse sólo por medio de la separación de frecuencias. En este caso, los valores máximos admisibles de densidad de flujo de potencia mencionados en el punto 3, junto con las curvas de la fig. 1, pueden utilizarse directamente para deducir la separación de frecuencias entre la frecuencia central de los canales inferiores (o superiores) en la banda del satélite de radiodifusión y la frecuencia protegida del satélite del servicio fijo. Por conveniencia, en la fig. 6a) se reproducen estas curvas, a partir de las cuales pueden formularse las siguientes observaciones:

- El ejemplo de un servicio fijo por satélite (de transmisión de datos) que precisa un nivel de protección de -171 dB(W/(m^2 · 4 kHz)) en la banda 12,5 a 12,75 GHz conduce a una separación de frecuencias de aproximadamente 20 MHz y 28 MHz para las curvas B y A, respectivamente. Como se ha observado anteriormente, no toda esta separación de frecuencias corresponde a un espectro no utilizado, puesto que aproximadamente 13,5 MHz de la misma contiene parte del espectro esencial de las emisiones del satélite de radiodifusión.
- El ejemplo de una transmisión procedente de un satélite del servicio fijo de banda estrecha, que necesita una protección de aproximadamente -200 dB(W/(m^2 · 4 kHz)) en la banda de 10,7 a 11,7 GHz, conduce a una separación de frecuencias, de conformidad con las curvas B y A, de aproximadamente 30 MHz y 40 MHz, respectivamente. También en este caso puede considerarse que aproximadamente 13,5 MHz de la misma contienen espectro esencial de la emisión del satélite de radiodifusión.
- El ejemplo de un satélite del servicio fijo de banda ancha que necesita una protección de -177 dB(W/(m^2 · 4 kHz)) en el borde de la banda de 10,7 a 11,7 GHz conduce a una separación de frecuencias de aproximadamente 22 MHz y 30 MHz para las curvas B y A, respectivamente.

5.3 *Caso 3: Ningún espectro no utilizado* ($\Delta f = 13{,}5$ MHz)

En ciertos casos, los problemas de interferencia del enlace ascendente impiden colocar en el mismo punto satélites de radiodifusión en 12 GHz y satélites del servicio fijo en bandas adyacentes. Por esta razón, es importante considerar el otro caso especial en que se logra la reducción de emisiones no deseadas a los niveles permisibles sólo por medio de la separación orbital.

En la fig. 6b) se dan las curvas para este caso, correspondientes a las dos señales de prueba anteriormente examinadas, que son de interpretación directa. Por ejemplo, la protección de una estación terrena del servicio fijo por satélite que recibe una portadora de 20 MHz justamente por debajo del borde superior de la banda de 10,7 a 11,7 GHz, contra un satélite de radiodifusión con 69 dBW de p.i.r.e. que emite justamente por encima del borde de la banda, requiere una separación entre satélites de 2° aproximadamente. Para un satélite de radiodifusión con 59 dBW, la separación disminuye a 0,8° aproximadamente.

Ambos ejemplos corresponden al caso menos favorable de una señal de prueba con barra de color modulada al 100%, correspondiente a la emisión no deseada de la curva A de la fig. 1. Con la señal de prueba de la línea 330, las separaciones necesarias se reducen sensiblemente como muestra la curva B de la fig. 6b). En este caso, separaciones de unos 0,7° y 0,3° pueden bastar para valores de p.i.r.e. de 69 dBW y 59 dBW, respectivamente, emitida desde satélites de radiodifusión.

5.4 *Análisis*

Una consecuencia de los resultados expuestos es que una serie de satélites geoestacionarios de radiodifusión impediría utilizar, en algunos arcos orbitales, satélites del servicio fijo explotados en bandas adyacentes; estos arcos dependerían de la separación de frecuencias entre el canal más próximo utilizado por el satélite de radiodifusión y la frecuencia protegida del satélite del servicio fijo. Este punto se ilustra en la fig. 7, que representa una configuración de satélites de radiodifusión en la banda de 11,7 a 12,5 GHz, con una separación de 7,5° (la CAMR-RS-77 aprobó una separación entre satélites de 6° en las Regiones 1 y 3). En cada uno de los puntos representados se radian la totalidad de los 800 MHz atribuidos en la Región 1 (diferentes países reciben diferentes canales). Por tanto, las emisiones tienen lugar, para cada punto, en los radiocanales inferiores y superiores. La separación entre los satélites de radiodifusión es puramente ilustrativa, pero puede considerarse como una separación típica determinada por las consideraciones de interferencia entre satélites de radiodifusión cuando tales satélites adyacentes emplean polarizaciones opuestas. Si no se utilizan polarizaciones opuestas, la

separación necesaria entre satélites de radiodifusión será aproximadamente doble, y por tanto, se verá incrementado considerablemente el porcentaje de órbita disponible para los satélites del servicio fijo por satélite. Las curvas de la fig. 7 se basan en la fig. 5, pero el eje vertical da el porcentaje de órbita disponible para el servicio fijo por satélite en la banda de 10,7 a 11,7 GHz con relación a la órbita total disponible. Según las posiciones relativas de los satélites de los servicios fijo y de radiodifusión, estas separaciones adicionales requeridas no impedirían necesariamente encontrar una ubicación para otro satélite particular del servicio fijo.

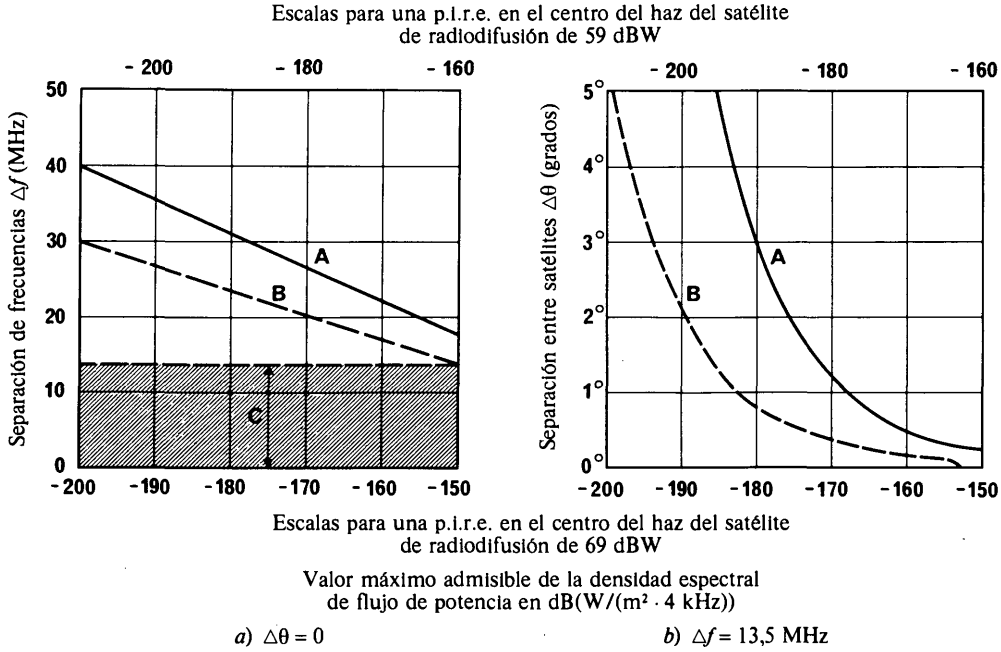


FIGURA 6 — *Separación de frecuencias para casos especiales de satélites muy próximos (Δθ = 0) y espectro no utilizado nulo (Δf = 13,5 MHz)*

C: Anchura de banda mitad del canal del satélite de radiodifusión (13,5 MHz)

Nota. — Las letras de las curvas tienen el mismo significado que en la fig. 5.

Habrá que evaluar las consecuencias de la situación representada en la fig. 7 para las distintas partes de la órbita geoestacionaria en la banda de 10,7 a 11,7 GHz. Por ejemplo, en las partes donde se prevé una elevada densidad de satélites del servicio fijo, la separación orbital, según se muestra en las figs. 5 y 6b), puede no ser realizable en todos los casos. Puede ser necesario suponer, de una manera general, que no habrá separación orbital para los satélites de radiodifusión en esta parte de la órbita.

Desde el punto de vista práctico, es posible que para hallar una solución a este problema haya que tener en cuenta que sería generalmente inaceptable modificar la posición de un satélite de radiodifusión para recepción individual.

Los estudios anteriores no han supuesto la existencia de bandas de guarda en los extremos de las atribuciones a los servicios de radiodifusión por satélite y fijo por satélite. La CAMR-RS-77, ha previsto bandas de guarda de 14 y 11 MHz, respectivamente, en los extremos inferior y superior de las bandas de frecuencias atribuidas (11,7 a 12,5 GHz en la Región 1, 11,7 a 12,2 GHz en la Región 3). En consecuencia la interferencia producida por las emisiones de radiodifusión por satélite en los sistemas del servicio fijo por satélite que funcionan en bandas adyacentes atribuidas a este servicio puede no ser tan severa como la indicada en esos estudios. Sin embargo, estos estudios no tuvieron en cuenta la posibilidad de utilizar bandas de guarda para las portadoras de telemando, telemedida y control. Son necesarios estudios ulteriores para evaluar si ese tipo de funcionamiento producirá un incremento en el nivel de emisiones no deseadas procedentes de los satélites de radiodifusión que incluyen los productos de intermodulación entre portadoras de telemando, telemedida y control y portadoras de televisión.

6. Algunas observaciones técnicas sobre la atribución de bandas de frecuencias

Basándose en el estudio anterior sobre las emisiones no deseadas, se plantean problemas técnicos particularmente difíciles cuando una atribución de frecuencia del servicio de radiodifusión por satélite (con posibilidad de recepción individual) y una atribución del servicio fijo por satélite (en que los sistemas emplean haces globales, antenas de estación terrena de gran diámetro, amplificadores muy sensibles de bajo nivel de ruido y/o técnicas de modulación de banda estrecha) están adyacentes en el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias del Reglamento de Radiocomunicaciones.

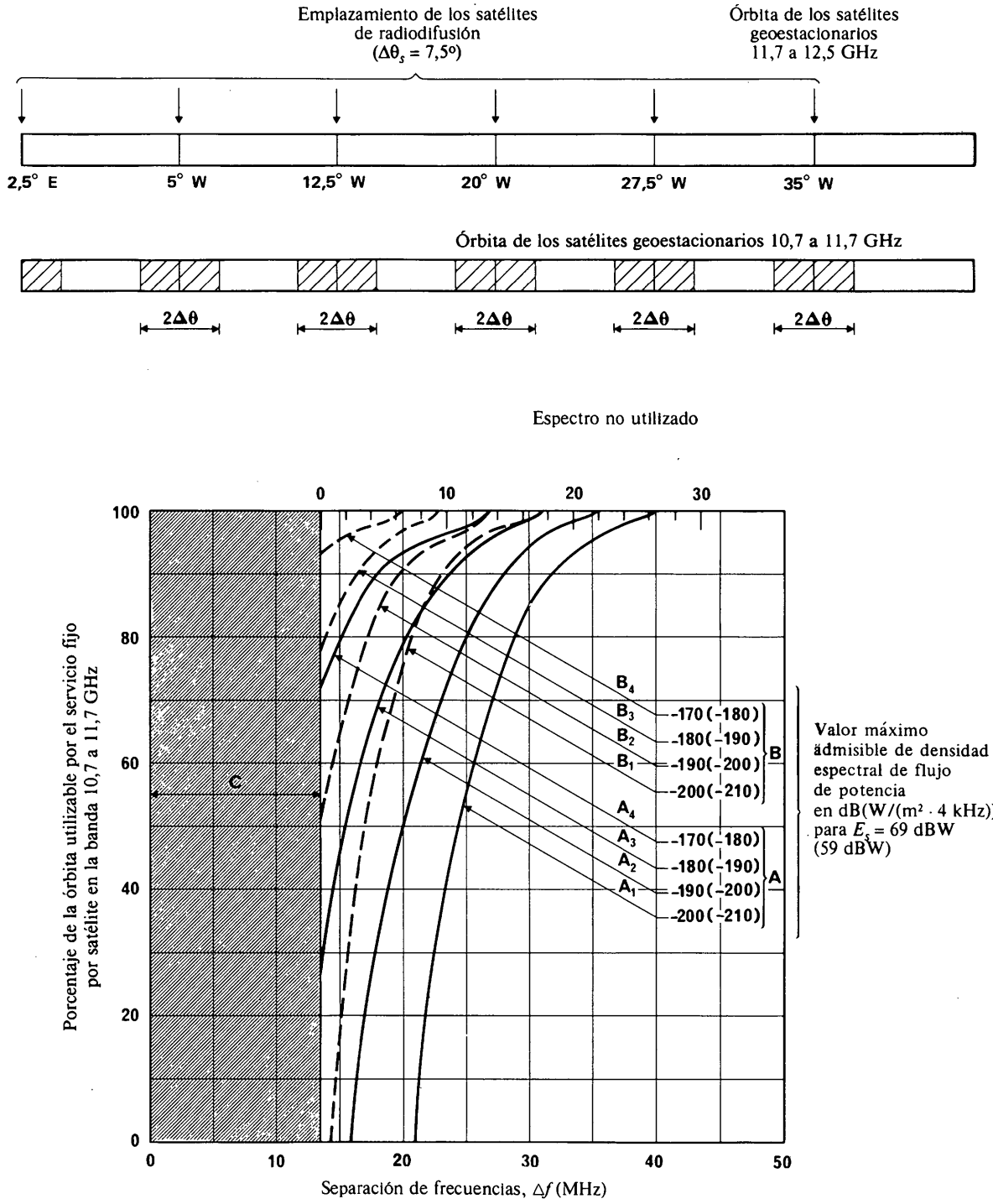


FIGURA 7 — *Ejemplo ilustrativo de los posibles efectos de las emisiones no deseadas procedentes de satélites de radiodifusión en 12 GHz sobre el arco orbital utilizable por satélites del servicio fijo en bandas adyacentes*

C: Anchura de banda mitad del canal del satélite de radiodifusión

Órbita utilizable por satélites del servicio fijo

Órbita no utilizable por satélites del servicio fijo

Nota. — La designación de las curvas tiene el mismo significado que en la fig. 5.

Las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite que estén situadas en la zona de servicio del servicio de radiodifusión por satélite se verán sometidas a las emisiones de gran potencia de las estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite. Si estas emisiones, que se efectúan en la banda de frecuencias adyacente a la del servicio fijo por satélite, se reciben sin la debida atenuación, podrían dar lugar a la sobrecarga del receptor de bajo ruido de la estación terrena del servicio fijo por satélite, que se traduciría en un incremento de la temperatura de ruido efectiva del sistema. Por tanto, debe prestarse especial atención a este posible problema durante la fase de diseño de una estación terrena del servicio fijo por satélite.

INFORME 873-1

ANÁLISIS DE LA INTERFERENCIA PRODUCIDA POR EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE DE UNA REGIÓN AL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE DE OTRA REGIÓN EN LOS ALREDEDORES DE 12 GHz

(Programa de Estudios 33A/4)

(1982-1986)

1. Introducción

La Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones, Ginebra, 1979 (CAMR-79) atribuyó bandas de frecuencias comunes al servicio fijo por satélite (SFS) y al servicio de radiodifusión por satélite (SRS) en distintas Regiones de modo que, en la banda de 11,7-12,2 GHz, el SFS tiene una atribución en la Región 2 y el SRS en las Regiones 1 y 3, mientras que en la banda de 12,5-12,7 GHz el SFS tiene una atribución en la Región 1 y el SRS en la Región 2. El funcionamiento del SRS en las Regiones 1 y 3 y en las bandas de 11,7-12,5 y 11,7-12,2 GHz, respectivamente, fue organizado en un plan por la CAMR-RS-77. La CAMR-RS-77 estableció valores de la densidad de flujo de potencia interregional como umbrales a efectos de la coordinación y la CAMR-ORB-85 tomó una medida semejante en la banda de 12,2-12,7 GHz.

En el presente Informe se examinan algunos de los problemas planteados por la compartición interregional entre servicios espaciales diferentes, en el Informe 809 se halla información adicional sobre el tema y en las Actas Finales de la CAMR-ORB-85 se encuentran las disposiciones reglamentarias pertinentes.

2. Supuestos del sistema

2.1 *El servicio fijo por satélite*

Para el SFS se han tomado como hipótesis tres sistemas con las características indicadas en el cuadro I.

CUADRO I

Parámetro correspondiente	Sistema A	Sistema B	Sistema C
Diámetro de la antena, D/λ	60	60	$\geqslant 100$
Ganancia de los lóbulos laterales de la antena (dB)	$34 - 25 \log \theta$	$34 - 25 \log \theta$	$32 - 25 \log \theta$
Modo de transmisión	SCPC digital	SCPC digital	Datos de banda ancha
Anchura de banda de referencia	40 kHz	40 kHz	2 MHz
Temperatura de ruido del sistema de recepción con cielo despejado (K)	200	400	100
Relación portadora/ruido con cielo despejado (dB)	12	16	–
Relación portadora/interferencia(3) (dB)	20,5 (1)	20,5 (1)	–
Relación interferencia/ruido(3) (dB)	–	–	13,5(2)
Nivel admisible de interferencia(3) (dBW)	– 168,1	– 161,1	– 159,0

(1) Este valor se basa en un criterio de interferencia de $C/I = 27,5 + 6 \log \delta$ para la onda de dispersión de frecuencia igual a la «frecuencia de trama» de una portadora video interferente.

(2) Este valor se basa en la presencia exclusiva de ruido interno, térmico, y un aumento de la interferencia procedente de una sola fuente antes de la demodulación del 4%.

(3) Entre dos sistemas del servicio fijo por satélite.

2.2 *El servicio de radiodifusión por satélite*

Para el SRS y a los fines de este estudio se ha supuesto un valor de p.i.r.e. de 63 dBW como representativo de las emisiones en el centro del haz.

Además, puede suponerse, en la mayoría de los casos, que la ganancia de antena del satélite de radiodifusión hacia la «otra Región» puede mantenerse en o por debajo del valor de −30 dB de la «meseta del primer lóbulo lateral» del diagrama de antena de referencia pertinente. En estas condiciones la potencia radiada por el satélite de radiodifusión hacia la «otra Región» será del orden de 33 dBW.

Se hace observar que los diagramas de referencia de la Región 2 no contienen esta «meseta». Mediante el uso de antenas de haces conformados, pueden mejorarse las características de lóbulos laterales de las estaciones espaciales de la Región 2 de modo que satisfaga o rebase ese criterio. En ciertas situaciones, que requieren discriminaciones muy grandes de las antenas en zonas pequeñas, la utilización de bocinas de anulación ha demostrado ser eficaz [CCIR, 1982-86].

En lo que se refiere a la dispersión de energía, el Plan de las Regiones 1 y 3 impone una dispersión de energía mediante una señal triangular «a la velocidad de trama», con excursión de frecuencia cresta a cresta de 600 kHz (lo cual, con la anchura de banda de referencia supuesta en el § 2.1 precedente, da $\delta = 0{,}067$). El Plan de la Región 2 impone una dispersión de energía a fin de conseguir en una anchura de banda cualquiera de 40 kHz, una densidad espectral de flujo de potencia inferior en 12 dB a la potencia de la portadora no modulada. Según las indicaciones del Informe 792, la excursión de frecuencia cresta a cresta de la dispersión de energía es en tal caso de 634 kHz, ligeramente superior al valor utilizado para las Regiones 1 y 3; las reducciones muy débiles de interferencia que se obtienen no se han tomado en cuenta en el resto del estudio.

El cuadro II indica los parámetros pertinentes relativos a las características del servicio de radiodifusión por satélite.

CUADRO II — *Niveles de interferencia producidos por el servicio de radiodifusión por satélite*

Sistema interferido del servicio fijo por satélite	Sistema A	Sistema B	Sistema C
p.i.r.e. del sistema interferente (dBW)	63 – 30	63 – 30	63 – 30
Interferencia producida a los sistemas del servicio fijo por satélite (dBW)	$-138{,}5 - 25 \log \theta$	$-138{,}5 - 25 \log \theta$	$-140{,}5 - 25 \log \theta$

3. Evaluación del potencial de interferencia

El nivel de la interferencia producida a los sistemas del SFS es una función del ángulo topocéntrico de separación entre los satélites del SFS y del SRS. Para evaluar la compatibilidad de las emisiones del satélite de radiodifusión con los sistemas contemplados del SFS, conviene igualar los niveles admisibles de interferencia (véase el cuadro I) con la producida por un satélite de radiodifusión (véase el cuadro II), lo que daría como resultado las siguientes ecuaciones de la separación necesaria entre satélites para los tres sistemas del servicio fijo por satélite:

– Para los sistemas del SFS del tipo A:

$$-138{,}5 - 25 \log \theta = -168{,}1 - M$$
o
$$25 \log \theta = 29{,}6 + M$$

– Para los sistemas del SFS del tipo B:

$$-138{,}5 - 25 \log \theta = -161{,}1 - M$$
o
$$25 \log \theta = 22{,}6 + M$$

– Para los sistemas del SFS del tipo C:

$$-140{,}5 - 25 \log \theta = -159{,}0 - M$$
o
$$25 \log \theta = 18{,}5 + M$$

donde M es un margen entre servicios por debajo del nivel admisible de interferencia procedente de una sola fuente entre redes del servicio fijo por satélite. En la fig. 1 se muestran los ángulos de separación resultantes para los sistemas A, B y C con márgenes M entre +3 dB y +10 dB. Es necesario continuar los estudios para determinar el valor más adecuado de M.

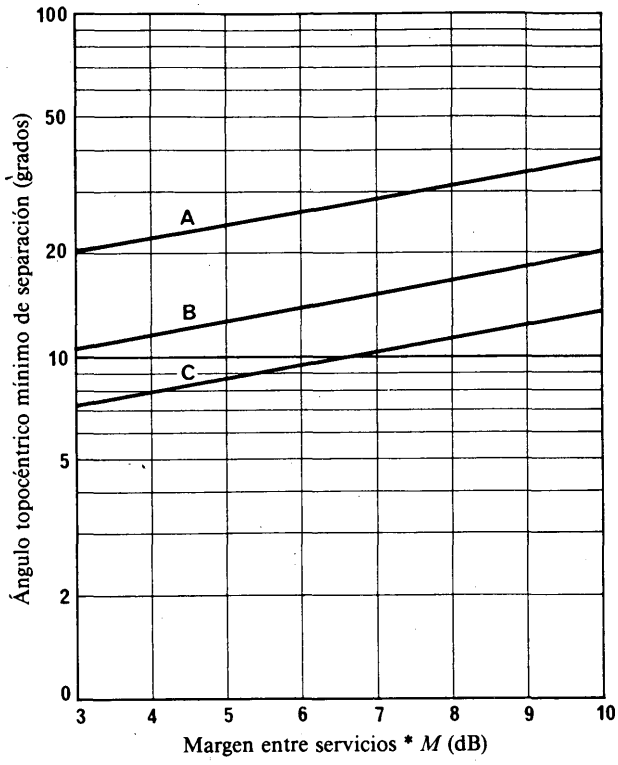


FIGURA 1 — *Ángulos topocéntricos mínimos de separación entre sistemas del servicio de radiodifusión por satélite y del servicio fijo por satélite en función del margen de interferencia admisible entre servicios por debajo del nivel de interferencia procedente de una sola fuente del servicio fijo por satélite*

A: Sistema A
B: Sistema B
C: Sistema C

* Los valores utilizados se han elegido sólo para ilustrar las relaciones. Es necesario continuar los estudios para determinar el valor de M que ha de utilizarse al calcular los ángulos de separación necesarios.

4. Planes para el servicio de radiodifusión por satélite

La consecuencia práctica de la situación de compartición interregional descrita en los puntos que anteceden es que algunas redes del SFS que prestan servicio en una Región experimentarán dificultades para ubicar sus estaciones espaciales en las proximidades o dentro de las secciones de la OSG asignadas sistemáticamente al servicio de radiodifusión por satélite. Estas se deben a que en el Plan del SRS de 1977 para las Regiones 1 y 3 y en el Plan del SRS de 1983 para la Región 2, tienen que explotarse los dos servicios en la misma banda de frecuencias.

Así, por ejemplo, el Plan de radiodifusión por satélite de la Región 1, con sus asignaciones de ubicaciones en la órbita cada 6°, establece un diagrama de interferencia para una estación terrena receptora del SFS ubicada en Recife (Brasil), que ilustra la fig. 2. Esa figura muestra la relación «portadora deseada/señales no deseadas» (C/I) en Recife, en función de la ubicación en la órbita de una estación espacial del SFS que transmita en la banda de 11,7-12,2 GHz. La señal deseada está caracterizada por una p.i.r.e. de 13,2 dBW del satélite, recibida por una estación terrena con ganancia de 49,9 dB, con un diagrama de radiación de los lóbulos laterales de $32 - 25 \log \theta$. Para pequeñas diferencias angulares entre las ubicaciones de los satélites del SRS y del SFS, hay que tener en cuenta que la señal no deseada es recibida a través del haz principal de la antena de la estación terrena del SFS.

En la fig. 3 se muestra un ejemplo similar relativo al Plan del SRS para la Región 2 (1983) y a una estación terrena receptora del SFS ubicada en Lisboa (Portugal). Las ordenadas de la izquierda y derecha muestran las relaciones entre la portadora deseada y la portadora no deseada en la estación terrena del SFS, correspondientes a dos transmisiones deseadas: señales MIC/MDP-4 de 64 kbit/s y 2,048 Mbit/s, respectivamente, en la banda común de frecuencias de 12,5-12,7 GHz.

Existe una situación análoga en la zona del Océano Pacífico, donde el SFS de la Región 2 puede experimentar dificultades con el Plan del SRS de las Regiones 1 y 3, en la banda de 11,7-12,2 GHz; el SFS de la Región 1 con el Plan del SRS de la Región 2, en 12,5-12,7 GHz; y el SFS de la Región 3 con el Plan del SRS de la Región 2, en 12,2-12,7 GHz. La fig. 4 muestra un ejemplo de la situación de interferencia en la zona del Océano Pacífico, entre el Plan del SRS de la Región 2 y el SFS de la Región 3. El punto de cálculo en este caso es.Hong-Kong.

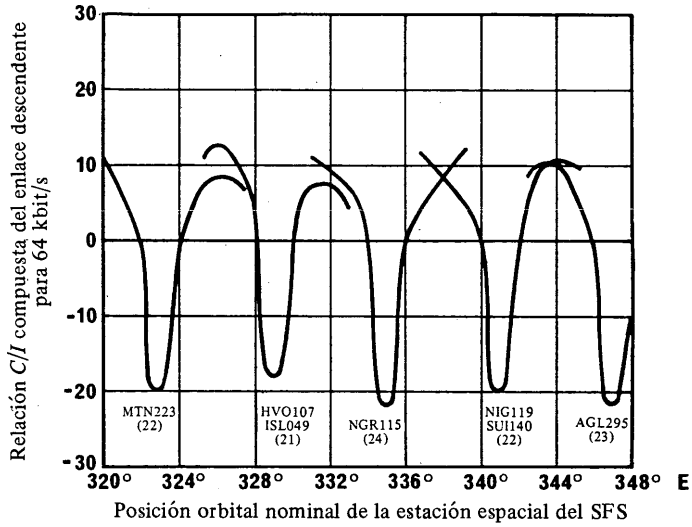


FIGURA 2 – *Variación típica de la relación C/I compuesta del enlace descendente en el canal más desfavorable para portadoras digitales a 64 kbit/s, en función de la posición orbital nominal de una estación espacial de SFS que presta servicio en la Región 2 y funciona en la banda 11,7-12,2 GHz*

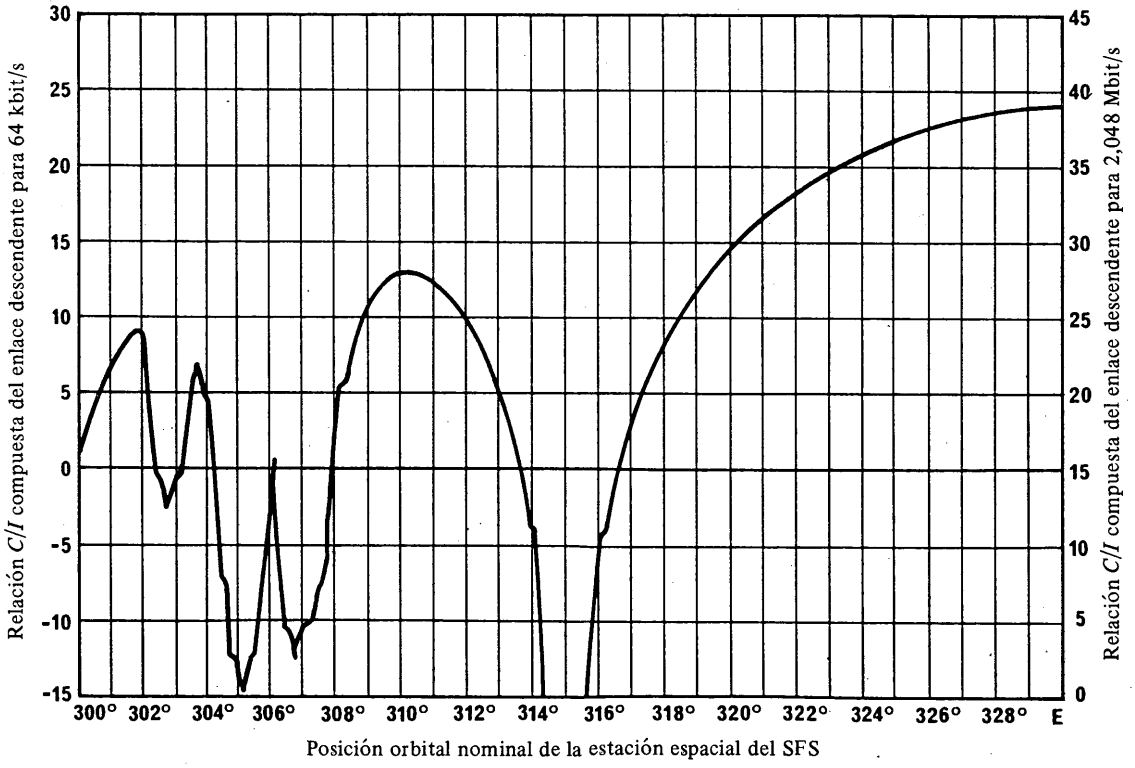


FIGURA 3 – *Variación de la relación C/I compuesta del enlace descendente en el canal más desfavorable para portadoras digitales a 64 kbit/s y 2,048 Mbit/s, en función de la posición orbital nominal de una estación espacial del SFS que presta servicio a la Región 1 en la banda 12,5-12,7 GHz*

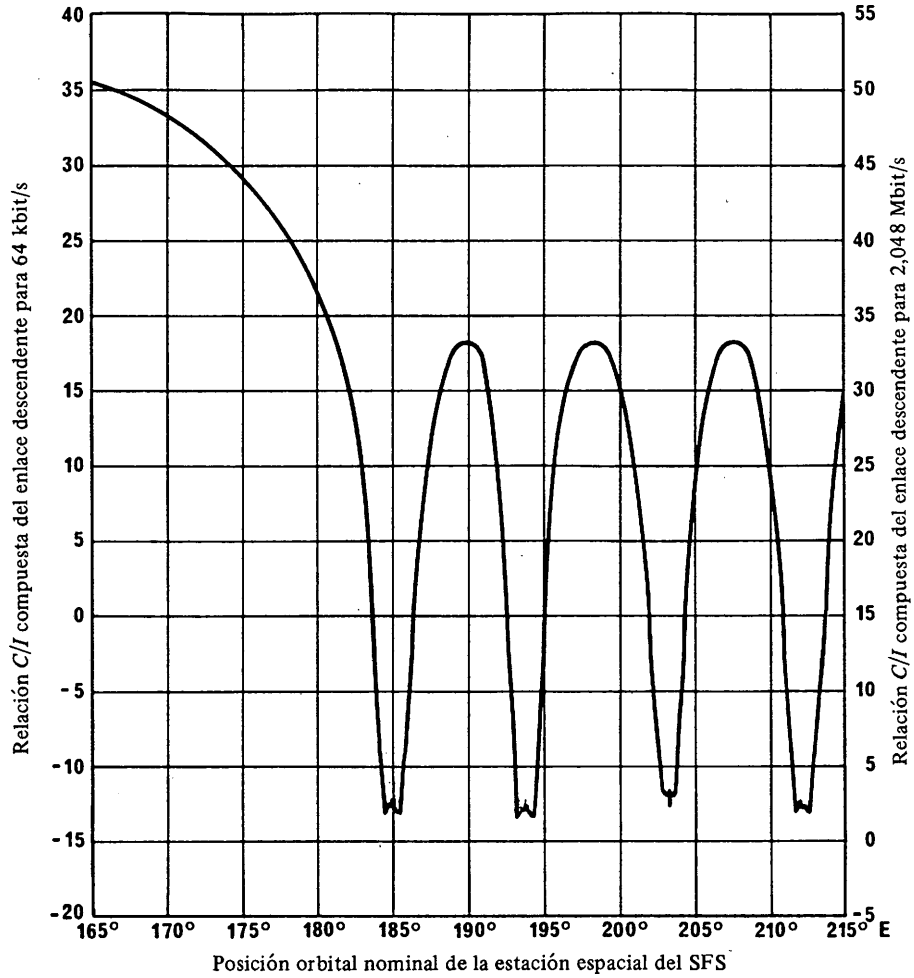


FIGURA 4 – *Variación típica de la relación C/I compuesta del enlace descendente en el canal más desfavorable para portadoras digitales a 64 kbit/s y 2,048 Mbit/s, en función de la posición orbital nominal de una estación espacial del SFS que presta servicio a la Región 3 en la banda 12,2-12,7 GHz*

En las figs. 2, 3 y 4 se observará que, en cada ubicación en la órbita del SRS, no todas las frecuencias de la banda compartida están expuestas a la interferencia máxima que implican las curvas. Por otra parte, los modelos simplificados de zona de cobertura del satélite de radiodifusión y de diagrama de radiación de la antena, utilizados para la elaboración de los planes y el diseño de esas figuras, son, en general, pesimistas, siendo la coordinación con los satélites de radiodifusión existentes considerablemente más fácil que lo indicado en esas figuras, particularmente si en el diseño de la antena del satélite de radiodifusión se ha tenido en cuenta la posible interferencia entre Regiones.

Es evidente que una red del SFS destinada a prestar servicio en la zona del Océano Atlántico, en la Región 1 en 12,5-12,7 GHz y en la Región 2 en 11,7-12,2 GHz, experimentará dificultades. Éstas podrían evitarse temporalmente si los organismos de radiodifusión afectados utilizaran primeramente los canales que no se superpusieran a las frecuencias utilizadas por el SFS. A largo plazo, sin embargo, será necesario recurrir a cierto número de medidas o técnicas paliativas, si son factibles.

Por ello, tanto las empresas de explotación como los planificadores del SFS podrían estar en condiciones de utilizar, si es que son viables, diversas técnicas para reducir el nivel de interferencia recibida de los satélites del SRS:

- escoger ubicaciones en la órbita de los satélites del SFS, teniendo en cuenta las ubicaciones orbitales de las asignaciones al SRS incluidas en el Plan;
- evitar la asignación de portadoras al SFS que sean sensibles a frecuencias de las portadoras TV-MF del SRS;
- utilizar donde sea posible técnicas de compensación de potencia en los transpondendores. Puede asignarse mayor potencia a las frecuencias de las portadoras, con riesgo de mayor interferencia de los canales del SRS;

- utilizar antenas de estación terrena del SFS con un diagrama mejorado de los lóbulos laterales en el plano de la órbita, por ejemplo, $29 - 25 \log \theta$ (para $\theta < 8°$);
- suavizar el criterio de interferencia pertinente para tener en cuenta que las portadoras del SRS no se modulan durante un pequeño porcentaje del tiempo;
- utilizar frecuencias para la explotación del SFS que no tengan probabilidades de ser aplicadas por los organismos de radiodifusión por satélite, durante la duración de explotación del satélite del SFS o durante la vida del Plan.

Por otra parte, las empresas y planificadores del SRS de las tres Regiones sólo pueden emplear un número limitado de técnicas reductoras de la interferencia para disminuir el nivel de la interferencia en la explotación del SFS de otras Regiones. Tales técnicas, si se consideran viables, son las siguientes:

- emplear diagramas mejorados de las antenas transmisoras de satélite del SRS para reducir la cantidad de energía en los lóbulos laterales, por comparación con la indicada en el Plan;
- emplear una dispersión de energía adecuada en ausencia de señal moduladora de programación;
- emplear una p.i.r.e. de satélite del SRS inferior a la especificada en el Plan, siempre que esté conforme con las necesidades del sistema y con posibles interacciones con otras asignaciones al SRS.

5. Conclusiones

Del análisis que antecede se pone de manifiesto que la compartición interregional entre los SFS y SRS en la vecindad de 12 GHz puede crear dificultades para la ubicación y explotación de las estaciones espaciales de algunas redes del SFS. La magnitud de tales dificultades depende de las características técnicas y de explotación específicas de los sistemas de ambos servicios. Dado que el SRS depende de las disposiciones de los dos Planes (Regiones 1 y 3, 1977; Región 2, 1983), sus características están ampliamente establecidas. No obstante, en la realización efectiva de los sistemas del SRS y del SFS, pueden revelarse posibles y útiles ciertas medidas específicas destinadas a atenuar la interferencia.

En el punto anterior se han descrito algunas de esas técnicas y prácticas; no obstante, puede haber otras, y es urgente proseguir el estudio de esta cuestión, insistiendo en las medidas destinadas a mitigar la interferencia y a mejorar las características de radiación de las antenas de estaciones terrenas del SFS, así como las características de radiación de las antenas de las estaciones espaciales de ambos servicios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Documentos del CCIR

[1982-86]: 4/230 (10-11S/141) (Canadá).

INFORME 713-1

EMISIONES NO ESENCIALES PROCEDENTES DE ESTACIONES TERRENAS Y DE ESTACIONES ESPACIALES DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Cuestión 25/4)

(1978-1982)

1. Introducción

Las emisiones no esenciales procedentes de estaciones espaciales del servicio fijo por satélite pueden causar interferencias a las estaciones receptoras de otros sistemas y, en particular, a estaciones destinadas a recibir señales muy poco intensas. Esta interferencia puede ser sobre todo inadmisible en las frecuencias de las bandas atribuidas al servicio de radioastronomía. En la actualidad, el Reglamento de Radiocomunicaciones no define límites para las emisiones no esenciales de transmisores que funcionan en frecuencias superiores a 17,7 GHz, ni tampoco para las transmisiones digitales ni los servicios espaciales en frecuencias superiores a 960 MHz.

Las emisiones no esenciales procedentes de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite pueden también causar interferencia. Estos casos de interferencia por emisiones no esenciales pueden tratarse conforme se presenten y según las circunstancias. Sin embargo, el número de estaciones terrenas del servicio fijo por satélite va aumentando rápidamente y quizás no se consiga en el futuro mantener la separación geográfica entre estaciones terrenas que ha existido hasta ahora. Parece pues, conveniente examinar también el problema de las emisiones no esenciales procedentes de estaciones terrenas y espaciales del servicio fijo por satélite. La Recomendación N.° 66 de la CAMR-79 concede carácter de urgencia a tales estudios.

2. Naturaleza y posible nivel de potencia de las emisiones no esenciales procedentes de estaciones terrenas y espaciales

Se dispone de poca información sobre el nivel de potencia de las emisiones no esenciales procedentes de las estaciones terrenas y espaciales y, por consiguiente, resulta difícil estudiar el problema de una manera realista. A fin de disponer de un punto de partida para el examen, se formula aquí una predicción muy aproximada del orden de magnitud de la potencia de esas radiaciones y de su frecuencia. En el análisis, se utilizan las abreviaturas PD_{WE} y F_{WE} para representar respectivamente la densidad de potencia y la frecuencia de la emisión deseada a la entrada de la estación terrena, mientras que PD_{WS} y F_{WS} representan la densidad de la p.i.r.e. y la frecuencia de la emisión deseada del satélite.

Las emisiones no esenciales suelen ser de las siguientes clases:

- frecuencias armónicas y señales imagen de la emisión deseada;
- frecuencias fundamental y armónica de los osciladores utilizados en el proceso de conversión de frecuencia;
- oscilaciones parásitas;
- productos de intermodulación resultantes de la amplificación no lineal así como de la posible presencia de no linealidades debidas a falta de homogeneidad de los conductores en la cadena de guiaondas-filtro-alimentador de antena, que sigue al amplificador final.

Pueden existir, no obstante, otras fuentes importantes de emisiones no esenciales.

Las frecuencias armónicas de la emisión deseada tendrán una distribución espectral de potencia semejante a la de la emisión deseada. Sus frecuencias serán múltiplos de F_W y su nivel máximo de densidad de potencia puede ser (PD_{WE} − 80) dB(W/MHz) o (PD_{WS} − 50) dB(W/MHz).

Como la frecuencia más baja atribuida al servicio fijo por satélite para transmisiones espaciales es de 2,5 GHz, la emisión armónica será de 5 GHz o más. Es probable que esas emisiones cubran una anchura de banda de muchos MHz, y sus niveles de densidad espectral de potencia pueden caer en la gama de −70 a −60 dB(W/MHz) en el caso de las estaciones terrenas, y presentar una densidad espectral de p.i.r.e. de −10 a −30 dB(W/MHz) en el caso de emisiones procedentes de satélites.

Las señales imagen serán poco más o menos semejantes, pero es probable que su potencia se vea reducida por los filtros paso banda en el transmisor hasta un nivel de unos −90 dB(W/MHz) para las estaciones terrenas, y de unos −60 dB(W/MHz) para las estaciones espaciales.

Cabe esperar que la frecuencia fundamental y las frecuencias armónicas de los osciladores locales de las estaciones terrenas sean del orden de −50 dBW, mientras que cuando se trate de emisiones procedentes de satélites cabe prever una p.i.r.e. máxima del orden de −60 dBW. No obstante, el nivel de potencia real radiada, en cada caso particular, dependerá en gran medida de los detalles de diseño de los osciladores. Por otra parte, como esas emisiones no esenciales no están moduladas, pueden causar importantes interferencias a sistemas sensibles de banda estrecha, incluso si el valor absoluto de la radiación interferente es muy bajo. Los efectos de oscilaciones parásitas pueden ser semejantes en cuanto a su naturaleza, pero su frecuencia será menos previsible y su nivel más importante.

Los productos de intermodulación de la estación terrena presentarán distribuciones espectrales semejantes a las de las emisiones deseadas, ocuparán por lo general una extensa gama de frecuencias, y tenderán a concentrarse cerca de F_W. En los bordes de la banda de frecuencias ocupada, el nivel de los productos de intermodulación puede ser del orden de (PD_{WE} − 30) dB(W/MHz), con un valor absoluto de −20 a −10 dB(W/MHz) aproximadamente.

Los productos de intermodulación del satélite presentarán también distribuciones espectrales semejantes a las de las emisiones deseadas. En los bordes de la banda de frecuencias ocupada por los transpónderes de los satélites, el nivel de los productos de intermodulación puede ser del orden de (PD_{WS} − 20) dB(W/MHz), con un valor absoluto de 0 a −20 dB(W/MHz) aproximadamente.

Estos niveles deberían disminuir considerablemente para las frecuencias separadas del borde de la banda por varios múltiplos de la anchura de banda ocupada.

Las componentes del espectro de las señales debidas a la modulación pero inmediatamente fuera de la anchura de banda necesaria son emisiones fuera de banda y están excluidas, por definición, del término «emisiones no esenciales», pero pueden también constituir una fuente de interferencia, sobre todo cuando la frecuencia portadora esté cerca del extremo de la banda de frecuencias atribuida.

En el caso de las estaciones terrenas, los valores estimados antes indicados se refieren a la potencia de las emisiones no esenciales a la entrada de la antena de una estación terrena transmisora. La p.i.r.e. de la antena dependerá del diagrama de radiación para la frecuencia considerada. Como primera aproximación, se supone que la ganancia de la antena de la estación terrena en una dirección, en lo tocante a las emisiones no esenciales, es la misma que para la emisión deseada. En la mayoría de los casos de interferencia que interesan, puede suponerse que la emisión no esencial se radia en una dirección muy alejada del lóbulo principal de la antena de la estación terrena. En este Informe se ha supuesto una ganancia de 0 dB.

3. Niveles de interferencia admisibles en una estación receptora

Antes de poder determinar límites para la potencia de las emisiones no esenciales de las estaciones terrenas, será necesario referir la potencia de tales emisiones al nivel de interferencia que podría causar a estaciones receptoras típicas de los distintos servicios que puedan resultar afectados; tales niveles de interferencia

y los porcentajes de tiempo en que se producen han de relacionarse a su vez con los niveles de interferencia admisibles procedentes de todas las fuentes. Naturalmente, corresponderá a las Comisiones de Estudio responsables de los servicios afectados determinar esos niveles totales de interferencia y el porcentaje de emisiones no esenciales que pueden comprender. La tarea es importante, ya que los límites para las emisiones no esenciales actualmente establecidos en el apéndice 8 del Reglamento de Radiocomunicaciones no pasan de 17,7 GHz y no incluyen los servicios espaciales ni las transmisiones digitales por encima de 960 MHz. Para estos estudios, será necesario tener en cuenta:

- el número probable de fuentes simultáneas de interferencia debida a emisiones no esenciales procedentes de estaciones de todos los servicios;
- el efecto del espectro de la señal interferente sobre el servicio afectado, comparado con un valor equivalente de ruido térmico;
- la anchura de banda más apropiada a la que pueden referirse los niveles de interferencia;
- la sensibilidad a la interferencia de los servicios que funcionan dentro de la banda, y
- en bandas compartidas, el nivel de la interferencia que resulta como consecuencia de la compartición de la banda de frecuencias.

A fin de que se comprenda mejor el problema, en este Informe se ha supuesto la situación representativa de un servicio que recibe emisiones no esenciales procedentes únicamente de estaciones del servicio fijo por satélite. Los niveles de interferencia admisible se han obtenido de los Informes y Recomendaciones de las correspondientes Comisiones de Estudio del CCIR. Por lo general, se ha supuesto que las componentes no esenciales debieran encontrarse 10 a 20 dB por debajo del nivel de interferencia admisible dentro de la banda. Este margen de valores de interferencia, que resulta de las emisiones no esenciales, se indica sólo a título de ilustración y debe revisarse según se prosigan los estudios para contestar a la Cuestión 25/4. Sin embargo, en aras de la simplicidad, sólo se ha utilizado el valor de 20 dB en los ejemplos que siguen.

3.1 *Interferencia causada a estaciones de radioenlaces por estaciones terrenas*

Las Comisiones de Estudio 4 y 9 del CCIR, como resultado de estudios previos, han definido valores admisibles de potencia interferente, a propósito de la determinación de la posibilidad de interferencias entre estaciones terrenas y estaciones terrenales. En el Informe 448 se indican los niveles admisibles, a largo plazo, para sistemas de relevadores radioeléctricos que funcionan en frecuencias comprendidas entre 1 y 40 GHz. Constituyen valores típicos del nivel admisible a largo plazo, para cada fuente de interferencia, -151 dB(W/4 kHz), para sistemas con modulación analógica que funcionan en 6 GHz, y -134 dB(W/MHz), para sistemas con modulación digital que funcionan en 30 GHz; estos valores son aplicables en condiciones de interferencia presente de una manera continua.

Para definir una atribución razonable de esta interferencia admisible a las radiaciones no esenciales de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite, podría fijarse, por ejemplo, un límite correspondiente a 20 dB por debajo de los valores indicados, con lo que se obtendrían valores próximos a -171 dB(W/4 kHz) en 6 GHz, y a -154 dB(W/MHz) en 30 GHz.

Con estas hipótesis, y suponiendo también que la fuente de interferencia se halle en la dirección de máxima sensibilidad de la antena de la estación de radioenlaces, las emisiones no esenciales cuya densidad de p.i.r.e. no exceda de -80 dB(W/4 kHz) en 6 GHz, o de -54 dB(W/MHz) en 30 GHz, no debieran causar una interferencia superior al nivel admisible en el receptor de una estación de radioenlaces situada a una distancia de 25 km, en las condiciones de propagación en el espacio libre.

3.2 *Interferencia causada a estaciones de radioenlaces por estaciones espaciales*

Estudios anteriores de las Comisiones de Estudio 4 y 9 del CCIR han determinado niveles máximos para la densidad de flujo de potencia (dfp) producida por las portadoras transmitidas por los satélites del servicio fijo que funcionen en bandas de frecuencias compartidas con el servicio terrenal. En la Recomendación 358 figuran los valores admisibles de densidades de flujo de potencia. Para ángulos de llegada a 25°, esos valores de dfp están comprendidos entre -144 dB(W/(m^2 · 4 kHz)) en unos 2 GHz, y -138 dB(W/(m^2 · 4 kHz)) en unos 12 GHz; en 20 GHz, el valor correspondiente es de -105 dB(W/(m^2 · MHz)). Un límite de densidad espectral de p.i.r.e. correspondiente a 20 dB por debajo de esos límites de dfp, puede ser apropiado para definir una atribución razonable de esta tolerancia de ruido interferente procedente de las emisiones no esenciales de un satélite geoestacionario del servicio fijo, obteniéndose así valores de -2 dB(W/4 kHz) en 2 GHz, y de 37 dB(W/MHz) en unos 20 GHz. Esto supone que el diagrama de radiación de la antena de la estación espacial a las frecuencias de la emisión no esencial es similar al que corresponde a la frecuencia fundamental.

3.3 *Interferencia causada a estaciones «transhorizonte» por estaciones terrenas*

Al igual que para los sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa, en el Informe 448 se indican los valores de interferencia admisible para los sistemas transhorizonte. Admitiendo que el nivel de la componente no esencial esté 20 dB por debajo del nivel de interferencia admisible, un valor límite razonable para

la interferencia debida a emisiones no esenciales sería del orden de -160 dB(W/4 kHz), durante el 0,01% del tiempo. Partiendo de esta hipótesis el límite de densidad espectral de p.i.r.e. de la emisión no esencial producida por una estación terrena, necesario para evitar que se rebasen los valores de interferencia admisibles en una estación receptora de un sistema transhorizonte, situada a 100 km de distancia, sería de -74 dB(W/4 kHz). El valor correspondiente para una separación de 250 km es -48 dB(W/4 kHz). Este cálculo y los demás ejemplos de interferencia sobre trayectos terrenales de larga distancia mencionados en el presente Informe se basan en los datos de propagación terrestre sin ningún apantallamiento del emplazamiento (véase el Informe 569).

3.4 *Interferencias causadas a estaciones «transhorizonte» por estaciones espaciales*

En el número 2560 del Reglamento de Radiocomunicaciones, se especifica que la potencia interferente proveniente de una estación espacial, a la entrada del receptor de una estación transhorizonte no debe exceder de -168 dB(W/4 kHz). Este nivel corresponde al de una señal proveniente del transmisor de un satélite del servicio fijo por satélite, con una dfp de -189 dB(W/(m^2 · 4 kHz)) que entrase directamente en el lóbulo principal de la antena del sistema transhorizonte. Se sugiere un límite de dfp de 20 dB por debajo de dicho valor como asignación razonable para el conjunto de todas las emisiones no esenciales procedentes de satélites. Podría necesitarse una pequeña reducción suplementaria a fin de lograr un valor aceptable para las emisiones no esenciales provenientes de un satélite cualquiera, teniendo en cuenta la posibilidad de múltiples fuentes de interferencia, lo que se traduciría en un límite de densidad espectral de p.i.r.e. de alrededor de -50 dB(W/4 kHz).

3.5 *Interferencia causada a estaciones terrenas del servicio fijo por satélite por otras estaciones terrenas*

El Informe 448 contiene información suficiente para el cálculo de las potencias de entrada admisibles de interferencia procedentes de todas las fuentes, exceptuados los valores relativos a la temperatura de ruido de la estación terrena. Partiendo de hipótesis razonables para la temperatura de ruido, se llega a un valor de potencia interferente admisible de unos -146 dB(W/MHz) para frecuencias comprendidas entre 1 y 10 GHz, que se incrementa hasta -140 dB(W/MHz) para sistemas que funcionen en la gama de 15 a 40 GHz, aplicándose estos valores, por ejemplo, al 0,01% del tiempo. Un límite de 20 dB por debajo de estos valores parece representar un margen razonable para las emisiones no esenciales. Según estas hipótesis, las emisiones no esenciales con una densidad de p.i.r.e. no superior a los valores indicados a continuación no debieran causar un nivel de interferencia superior a la admisible en otra estación terrena del servicio fijo por satélite situada a una distancia de 100 km sobre un trayecto terrestre:

para frecuencias próximas a 4 GHz: -35 dB(W/MHz);
para frecuencias próximas a 12 GHz: -29 dB(W/MHz);
para frecuencias próximas a 30 GHz: -6 dB(W/MHz).

3.6 *Interferencia causada a las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite por estaciones espaciales de cualquier servicio*

Las estaciones terrenas que funcionan en el servicio fijo por satélite pueden recibir radiaciones no esenciales de otros satélites por los siguientes trayectos de transmisión:

a) Directamente desde satélites interferentes.

b) Indirectamente desde satélites interferentes, previa retransmisión por el satélite deseado.

c) Indirectamente desde estaciones terrenas de otras redes o desde estaciones terrenales, previa retransmisión por el satélite deseado.

d) Desde el satélite deseado, como emisiones no esenciales originadas ya sea en el satélite deseado o en otras estaciones terrenas de la misma red.

Puede suponerse que *c)* será pequeña y que *d)* puede despreciarse. Además el análisis demuestra que la probabilidad de que se produzca una interferencia importante en una estación terrena por el trayecto *b)* es muy pequeña, por lo que los límites de interferencia obtenidos para el caso *a)* deben ser también aceptables para el *b)* (véase el anexo I).

En casos excepcionales puede ser necesario coordinar la posición de los satélites para controlar la interferencia causada por emisiones no esenciales previsibles de elevado nivel. Uno de estos casos es la interferencia de borde de banda procedente de los satélites de radiodifusión. En el caso general, sin embargo, es deseable un nivel de interferencia tan bajo que pueda ser tolerado sin coordinación. Por ello, se sugiere efectuar una asignación arbitraria del 5% de la cuantía total de interferencia entre redes para cubrir los casos normales *a)* y *b)*, precedentes, es decir, 50 pWp para emisiones analógicas de tipo MDF-MF; no se ha formulado todavía Recomendación alguna sobre la interferencia admisible en las emisiones digitales. Además, es improbable que accedan a un único canal deseado emisiones no esenciales por ambas rutas *a)* y *b)*, de manera que puede asignarse a cada una el 5%.

Dado que la interferencia procedente de emisiones no esenciales puede provenir de un satélite que no utilice las mismas bandas de frecuencias que el satélite deseado, no puede suponerse que los procesos normales de coordinación eviten el acceso de interferencia de emisiones no esenciales a través del haz principal de la estación

terrena. Sin embargo, si el nivel de la densidad de flujo de potencia de emisiones no esenciales en la superficie de la Tierra es tan pequeño que puede tolerarse una interferencia dentro del haz principal en una estación terrena con una antena de elevada ganancia, puede suponerse que cualesquiera otras emisiones no esenciales de intensidad igualmente baja tendrán un efecto despreciable si acceden a través de los lóbulos laterales. Análogamente, es improbable que una antena de estación terrena de elevada ganancia sufra directamente interferencia de emisiones no esenciales procedentes de más de un satélite interferente a la vez. Las estaciones terrenas de baja ganancia pueden experimentar más de una interferencia directa, lo cual no importa cuando el nivel aceptable viene determinado para la protección de las antenas de elevada ganancia.

3.6.1 *Interferencia directa procedente de un satélite interferente (caso a))*

En una primera aproximación al cálculo de los niveles aceptables de las emisiones no esenciales, sería conveniente seguir la norma establecida por la Recomendación 358 y dividir el espectro en 15,4 GHz. Por debajo de 15,4 GHz podrían suponerse las características de las estaciones terrenas existentes que reciben señales MDF-MF a 4 GHz, calculándose el máximo nivel aceptable de densidad espectral de flujo de potencia de interferencia para una anchura de banda de 4 kHz. Por encima de 15,4 GHz sería necesario establecer hipótesis relativas a las características de las futuras estaciones terrenas que reciban a 19 GHz, calculándose el límite de la densidad espectral de flujo de potencia para una anchura de banda de 1 MHz.

Cuando existe interferencia directa en una antena de estación terrena de elevada ganancia, como las de las normas A y C de INTELSAT que reciben señales MDF-MF, la densidad espectral de flujo de potencia de interferencia no deberá exceder de -221 dB(W/(m^2 · 4 kHz)) por debajo de 15,4 GHz. Por encima de 15,4 GHz, el límite podría ser -182 dB(W/(m^2 · 1 MHz)). En el anexo I puede verse la justificación de estos valores.

3.6.2 *Interferencia indirecta procedente de un satélite interferente a través del satélite deseado (caso b))*

La ganancia de una antena de satélite para ángulos muy alejados del haz principal puede suponerse de 0 dB con relación a la isotrópica. Esta suposición es probablemente válida para interferencia recibida en un satélite procedente de otro satélite, suponiendo que la excentricidad orbital se mantiene pequeña.

Con esta hipótesis, una emisión no esencial que se ajuste a los límites del punto 3.1 podría introducir 50 pWp de interferencia en un canal deseado, de acceder a la estación terrena indirectamente a través del satélite deseado y ser la separación entre ambos satélites de unos 4 km (véase el anexo I). Esto corresponde a un ángulo de separación extremadamente pequeño, 0,006°. La probabilidad de que ambos satélites estén tan próximos en más de un breve periodo de tiempo es pequeña. Así pues, el límite de densidad de flujo de potencia obtenido para el caso *a)* es también aceptable para el caso *b)*.

3.7 *Interferencia causada a estaciones de radioastronomía por estaciones terrenas*

El Informe 224 trata de los problemas de interferencia causada a las estaciones terrenas de radioastronomía. En él se indica como objetivo la reducción de la interferencia hasta el punto en que las incertidumbres imputables a la señal interferente no representen más del 10% de las incertidumbres debidas a la fluctuación estadística de la señal astronómica, cuando una y otra señales se integran durante un periodo de 2000 s en una anchura de banda apropiada. Son también pertinentes los considerandos de la Recomendación 314. Aplicando este criterio, el límite de potencia interferente a la entrada del receptor es aproximadamente el siguiente para casos típicos:

- para mediciones de la parte continua del espectro, -207 dBW para una anchura de banda de 10 MHz en la frecuencia de 2,7 GHz, elevándose hasta -192 dBW para una anchura de banda de 400 MHz a 24 GHz;
- para mediciones de rayas espectrales, -222 dBW para 10 kHz de anchura de banda en 1,7 GHz, elevándose hasta -209 dBW para 100 kHz de anchura de banda en 22 GHz.

Si se supone que la ganancia de la antena de la estación de radioastronomía en la dirección de la fuente de interferencia es de 0 dB, las emisiones no esenciales con una densidad de p.i.r.e. no superior a los valores indicados a continuación no debieran ocasionar que los niveles admitidos se rebasen durante más de 0,01% del tiempo en los casos típicos antes mencionados, cuando las estaciones están separadas a intervalos de 100 km o (250 km) sobre un trayecto terrestre:

- para mediciones de la parte continua del espectro, -75 (o -50) dB(W/10 MHz) a una distancia de 100 km (o 250 km) en 2,7 GHz; y -36 (o -2) dB(W/400 MHz) a una distancia de 100 km (o 250 km) en 24 GHz;
- para mediciones de rayas espectrales, -96 (o -71) dB(W/10 kHz) a una distancia de 100 km (o 250 km) en 1,7 GHz; y -53 (o -19) dB(W/100 kHz) a una distancia de 100 km (o 250 km) en 22 GHz.

3.8 *Interferencia causada a estaciones de radioastronomía por estaciones espaciales*

Como en el punto 3.7, son aplicables los criterios de interferencia del Informe 224. Para muchos casos de interferencia, se ha estimado necesario asegurar las normas requeridas de protección sólo cuando la interferencia incida en los lóbulos laterales de la antena de radioastronomía, con una ganancia supuesta de 0 dBi. Sobre la base de este criterio, la densidad espectral de flujo de potencia de una señal interferente no ha de exceder de los valores siguientes en las dos bandas del servicio de radioastronomía que se citan, como ejemplo a continuación:

2700 MHz	-247 dB(W/(m^2 · Hz))
15,4 GHz	-233 dB(W/(m^2 · Hz))

Pueden determinarse valores para otras frecuencias a partir del Informe 224. Se especifican estos valores como necesarios para la protección de mediciones de la parte continua del espectro; para mediciones de rayas espectrales y cuando el tiempo de integración es el mismo, dichos valores pueden reducirse de 10 a 15 dB, pero es corriente utilizar en la medición de rayas espectrales tiempos de integración mucho mayores que reducen la diferencia.

Tomando como ejemplo un transmisor del servicio fijo por satélite en 4 GHz, la dfp máxima en tierra es de -142 dB(W/m^2) en cualquier banda de 4 kHz, para ángulos de elevación superiores a 25°, límite impuesto para la protección de los servicios terrenales en las bandas compartidas (número 2566 del Reglamento de Radiocomunicaciones). Como el nivel de protección recomendado para la radioastronomía en 2700 MHz, por ejemplo corresponde a -211 dB(W/(m^2 · 4 kHz)), para mediciones del continuum, se cumplen los criterios de protección si las emisiones no esenciales en la banda de radioastronomía están 69 dB por debajo de la densidad de flujo de potencia (dfp) máxima admisible de la señal deseada.

Hay que advertir, sin embargo, que aunque los criterios del Informe 224 sean aceptables para la interferencia proveniente de un transmisor terrenal, e incluso para una única fuente de interferencia en el cielo, la posible incidencia de la interferencia proveniente de una serie de satélites distribuidos en la órbita de los satélites geoestacionarios crea una nueva situación. Empleando el diagrama de antena recomendado de la Recomendación 465, puede inferirse que si, individualmente considerados, los satélites satisfacen los criterios del Informe 224, las observaciones de radioastronomía efectuadas en el sector del cielo comprendido entre ± 20° de la órbita de los satélites geoestacionarios, sufrirían interferencia perjudicial de un modo continuo. Está claro que el servicio de radioastronomía tendría gran interés en que se cumpliera un criterio de protección más estricto. Reduciendo la emisión no esencial en 10 dB a partir del valor de -69 dB con relación a la señal principal, reduciría la región prohibida a ± 8°, y otra disminución de 10 dB la reduciría a ± 3°. Es evidente la necesidad de estudiar el modo de que la emisión no esencial sea la mínima compatible con un funcionamiento apropiado del servicio fijo por satélite.

3.9 *Interferencia causada a estaciones terrenas del servicio de investigación espacial por estaciones terrenas*

Para las estaciones terrenas utilizadas en la investigación del espacio lejano, la Recomendación 365-3 (Kyoto, 1978) propone un límite de interferencia de -220 dB(W/Hz) en frecuencias superiores a 1 GHz, no debiéndose exceder este valor durante más de 5 min en un día cualquiera, lo que suele interpretarse como una protección durante el 0,001% del tiempo. Para una señal interferente con espectro aproximadamente uniforme en una banda de 4 kHz, el límite se convierte en -184 dB(W/4 kHz). Por tanto, a 100 km, por ejemplo, la potencia radiada de una fuente posible de interferencia ha de ser inferior a -56 dB(W/4 kHz) en una frecuencia de trabajo de unos 2 GHz.

Para la recepción de las señales provenientes de satélites próximos a la Tierra, puede aceptarse normalmente el mismo grado de interferencia durante el 0,1% del tiempo, lo que permitiría aumentar la p.i.r.e. interferente en unos 3 dB (Recomendación 364). Sin embargo, para misiones tripuladas, los márgenes de seguridad adicionales requeridos necesitan el mismo grado de protección que las misiones en el espacio lejano (Recomendación 364).

3.10 *Interferencia causada a estaciones terrenas del servicio de investigación espacial por estaciones espaciales*

Existe poca información en los textos del CCIR en la que pueda basarse una evaluación de los niveles aceptables de la interferencia debida a los satélites. En el Informe 536, se indica que el nivel de ruido térmico de una estación receptora del espacio lejano sería del orden de -214 dB(W/Hz). Si la interferencia continua causada a esta estación no ha de sobrepasar, por ejemplo, el nivel de 20 dB por debajo del ruido térmico, la p.i.r.e. interferente radiada por un satélite geoestacionario no ha de ser superior a unos -104 dB(W/Hz). Ello implica el empleo de una antena receptora que funcione en unos 2 GHz con una ganancia de 60 dB en la dirección del haz principal.

4. Forma de presentación de los límites

En el apéndice 8 del Reglamento de Radiocomunicaciones se expresan las emisiones no esenciales en términos del nivel de potencia media de cualquier componente no esencial suministrada por un transmisor a la línea de alimentación de la antena. Se indica concretamente el nivel máximo permitido de dos formas: primero, en el caso de cualquier componente no esencial de la emisión, la atenuación mínima necesaria se expresa como la potencia media dentro de la anchura de banda necesaria con relación a la potencia media a la componente no esencial; segundo, la componente no esencial de la emisión no deberá rebasar los niveles especificados de la potencia media absoluta.

La Recomendación N.º 66 de la CAMR-79 recomienda también que todo nuevo nivel máximo permitido de las emisiones no esenciales se expresa en dichos términos. Sin embargo, recomienda también que el CCIR establezca técnicas apropiadas de medición para las emisiones no esenciales, incluyendo el estudio de los niveles de referencia para las transmisiones de banda ancha y la posibilidad de aplicar anchuras de banda de referencia para las mediciones.

Así, la Recomendación N.º 66 de la CAMR-79 señala la necesidad de estudiar las emisiones no esenciales en función de la «potencia media» y de elaborar las Recomendaciones adecuadas del CCIR para facilitar la interpretación y medición de la «potencia media» tal como se aplica a las distintas categorías de emisiones.

5. Conclusiones

5.1 *Emisiones no esenciales procedentes de estaciones espaciales del servicio fijo por satélite*

De este examen preliminar se derivan las siguientes conclusiones provisionales:

- No parece que sea elevada la posibilidad de interferencia causada a las estaciones de los sistemas de relevadores radioeléctricos terrenales por las emisiones no esenciales procedentes de las estaciones espaciales del servicio fijo por satélite, pero deben continuarse los estudios de los niveles de radiación y sus efectos acumulados.
- Puede ser necesario limitar la emisión desde los satélites de productos de intermodulación en las inmediaciones de la banda ocupada, para evitar interferencias significativas a estaciones terrenas del servicio fijo por satélite que utilicen un satélite próximo y ocupen una banda adyacente; estas mismas medidas deberán, tal vez, aplicarse en el caso de servicios transhorizonte que empleen una banda de frecuencias adyacente. En cambio, parece probable que las estaciones de radioastronomía se vean sometidas a una fuerte interferencia debida a la entrada directa de emisiones armónicas y posiblemente de frecuencias imagen, frecuencias armónicas del oscilador local y emisiones parásitas procedentes de estaciones espaciales del servicio fijo por satélite, así como de productos de intermodulación en los casos en que el servicio de radioastronomía y el servicio fijo por satélite utilicen bandas de frecuencias adyacentes. La interferencia que entra por los lóbulos laterales extremos de las antenas de las estaciones de radioastronomía puede dar también lugar a dificultades importantes pero en esos casos parece más fácil encontrar una solución al problema.

5.2 *Emisiones no esenciales procedentes de estaciones terrenas del servicio fijo por satélite*

En varios tipos de estaciones receptoras, pueden observarse niveles de interferencia que exceden de los que se habían considerado admisibles, debido a emisiones no esenciales procedentes de estaciones terrenas del servicio fijo por satélite; ello dependerá, entre otros factores, de la distancia entre la estación que causa la interferencia y la que la sufre. Por ejemplo, la interferencia puede ser importante a distancia de unas docenas de kilómetros en estaciones receptoras de sistemas de relevadores radioeléctricos, y a unos cientos de kilómetros en estaciones receptoras de sistemas transhorizonte y de estaciones de radioastronomía; otras estaciones terrenas del servicio fijo por satélite se sitúan en un lugar intermedio en cuanto a su sensibilidad a la interferencia. Acaso sea necesario también tener en cuenta otros servicios, no estudiados en este Informe, que utilicen estaciones muy sensibles.

5.3 *Consideraciones generales*

Antes de poder formular recomendaciones relativas a la limitación de las emisiones no esenciales procedentes de las estaciones espaciales y terrenas del servicio fijo por satélite, será necesario que las correspondientes Comisiones de Estudio efectúen los estudios adicionales siguientes:

5.3.1 Identificar todos los servicios cuyas estaciones puedan estar expuestas a interferencias causadas por dichas emisiones, y determinar con suficiente precisión los niveles de interferencia que pueden aceptarse y las correspondientes gamas de frecuencias, teniendo presente la posible interferencia de otras fuentes y factores tales como el porcentaje de tiempo durante el cual la interferencia está presente, así como la anchura de banda y el tiempo en que la interferencia debería ser integrada.

5.3.2 Determinar los niveles de las emisiones no esenciales producidos en las distintas bandas de frecuencias por las estaciones espaciales y terrenas del servicio fijo por satélite, y las densidades de p.i.r.e. de las emisiones no esenciales de las estaciones terrenas, en particular en la dirección del horizonte.

5.3.3 Estudiar los límites de la emisión no esencial en función de la separación de frecuencias, especialmente en lo que concierne a las bandas de frecuencias adyacentes.

5.3.4 Considerar si es necesario y, en su caso, en qué medida es técnica y económicamente factible, mejorar los niveles determinados en el punto 5.3.2, en general para todas las frecuencias. Alternativamente, puede ser conveniente determinar límites estrictos para las emisiones no esenciales en bandas de frecuencias atribuidas a servicios que utilicen receptores especialmente sensibles, aplicando límites menos rigurosos en otras frecuencias.

5.3.5 Establecer técnicas apropiadas para la medición de las emisiones no esenciales, incluida la posibilidad del establecimiento de anchuras de banda de medición de referencia y la determinación de niveles de referencia, y estudiar la clasificación de las emisiones no esenciales en función de la potencia media, así como su interpretación en el caso de las diversas clases de emisiones.

Puede ser también conveniente estudiar disposiciones para limitar el nivel de las emisiones fuera de banda para ciertos casos.

ANEXO I

1. Obtención de los valores de la densidad de flujo de potencia aceptable

Para la obtención de los valores de la densidad de flujo de potencia aceptable se han establecido las siguientes hipótesis:

- Para proteger las bandas del servicio fijo por satélite inferiores a 15,4 GHz, se han calculado los valores de la densidad de flujo de potencia para 4 GHz. Para la protección de las bandas del servicio fijo por satélite superiores a 15,4 GHz, se han calculado los valores de la densidad de flujo de potencia para 19 GHz.
- La red de satélites deseada efectúa transmisiones de telefonía MDF-MF con una contribución de ruido térmico en el enlace descendente de 5000 pW0p.
- La máxima interferencia aceptable en un canal telefónico procedente de emisiones no esenciales es de 50 pW0p.
- La ganancia de antena de la estación terrena (G_e) es de 60 dB a 4 GHz y de 64 dB a 19 GHz.
- La temperatura de ruido del sistema de la estación terrena (T_s) es de 60 K a 4 GHz y de 250 K a 19 GHz.
- La anchura de banda de referencia (B) es de 4 kHz a 4 GHz y de 1 MHz a 19 GHz.

Partiendo de estas hipótesis, la máxima densidad de flujo de potencia de interferencia aceptable (dfp_i) debida a radiaciones no esenciales viene dada por:

$$dfp_i = 10 \log kT_sB + 10 \log \frac{50}{5000} - G_e - 10 \log \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

$$= -221 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{4 kHz))}, \text{ a 4 GHz}$$

y $\quad -181{,}6 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}, \text{ a 19 GHz.}$

2. Separación necesaria entre dos satélites geoestacionarios

Según el punto 1 anterior, la densidad espectral de flujo de potencia de interferencia no deberá exceder de -221 dB(W/(m^2 · 4 kHz)) a 4 GHz. Corresponde este valor a una densidad espectral de flujo de potencia de interferencia a la entrada del receptor de la estación terrena de -195 dB(W/4 kHz) y una p.i.r.e. de interferencia procedente de un satélite geoestacionario de -58 dB(W/4 kHz).

Además de las hipótesis del punto 1, se han adoptado las siguientes:

- La ganancia de la antena del satélite deseado en la dirección del satélite interferente es de 0 dB con respecto a la isotrópica.
- La ganancia de transmisión del sistema deseado, desde la entrada del receptor del satélite a la salida de la antena de estación terrena, es de -20 dB.
- La densidad espectral de p.i.r.e. de las emisiones no esenciales, a la frecuencia recibida por el satélite deseado, es de -58 dB(W/4 kHz).

La pérdida a lo largo del trayecto entre los dos satélites es igual a 20 log $4\pi d/\lambda$.

Entonces, si la densidad de potencia de interferencia a la entrada del receptor de la estación terrena puede no exceder de -195 dB(W/4 kHz),

$$-195 \leqslant -58 - 20 - 20 \log \frac{4\pi d}{\lambda}$$

por tanto, $d \geqslant 4$ km.

A 4 GHz el ángulo de separación geocéntrica correspondiente es de $5{,}7 \times 10^{-3}$ grados. A 19 GHz, las distancias mínimas de separación entre satélites serían menores.

INFORME 874

COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE EL SERVICIO ENTRE SATÉLITES CUANDO SE UTILIZA POR EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE Y OTROS SERVICIOS ESPACIALES

(Programa de Estudios 2P/4)

(1982)

1. Introducción

Se espera que los enlaces entre satélites desempeñen una función cada vez más importante en la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios por parte del servicio fijo por satélite. Teniendo esto en cuenta y el hecho de que aunque representan un servicio específico (el servicio entre satélites), la existencia y utilización de estos enlaces se derivan únicamente de la existencia de otros servicios espaciales, impondrán necesariamente sus propias características y limitaciones al servicio o servicios que los utilicen.

En este Informe se investigan los aspectos técnicos y de explotación de la compartición de los enlaces del servicio entre satélites respecto a su utilización en sistemas del servicio fijo por satélite.

2. Compartición con el servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo) y con el servicio de investigación espacial (pasivo)

La CAMR-79 atribuyó las bandas de frecuencias 54,25 a 58,20 GHz, 116,00 a 126,00 GHz y 174,5 a 176,5 GHz al servicio entre satélites y a los servicios de exploración de la Tierra (pasivo) y de investigación espacial (pasivo).

En la medida en que estos servicios espaciales utilicen estaciones espaciales no geoestacionarias, la interferencia causada por un enlace entre satélites geoestacionarios o por uno entre satélites no geoestacionarios será cuestión de estadística de poca importancia, y es probable que las limitaciones de compartición que hayan de imponerse a cualquiera de estos servicios sean muy pocas o nulas. Sin embargo, como es muy poco lo que se ha hecho para evaluar la cuestión de la compartición es necesario realizar un estudio complementario, sobre todo en el caso de que los sistemas interferentes utilicen la órbita de los satélites geoestacionarios.

3. Compartición con el servicio de radiodifusión por satélite

La CAMR-79 atribuyó la banda de frecuencias 22,55 a 23,00 GHz al servicio entre satélites (SES) y al servicio de radiodifusión por satélite (SRS) en las Regiones 2 y 3.

El Informe 951 examina la probabilidad y severidad de la interferencia causada por satélites de radiodifusión de p.i.r.e. relativamente elevada a los receptores del servicio entre satélites que formen parte de un enlace entre satélites geoestacionarios.

En dicho Informe 951 se establecen los siguientes postulados:

3.1 Para el enlace entre satélites:

- anchura del haz de la antena receptora a potencia mitad (haz de sección circular), 1°;
- temperatura de ruido del sistema receptor, 1000 K;
- diagrama de lóbulos laterales de la antena receptora, conforme al compuesto por las curvas A, B y C de la fig. 11 del Informe 558;
- un objetivo de interferencia tal que la relación I/N no sea superior a -10 dB dentro de una anchura de banda de 40 MHz.

3.2 Para el satélite de radiodifusión:

- p.i.r.e. máxima en la dirección del haz principal, 70 dBW;
- anchura del haz de la antena transmisora a potencia mitad (haz de sección circular), 2,5°;
- diagrama de lóbulos laterales de la antena transmisora, conforme a lo estipulado por la CAMR-RS-77.

3.3 Partiendo de los resultados del estudio, se llegó a las siguientes conclusiones:

- es factible la compartición entre el servicio de radiodifusión por satélite y el servicio entre satélites, en la banda de frecuencias de referencia, cuando puedan coordinarse sus posiciones orbitales;
- en el caso de un enlace entre satélites corto (hasta alrededor de 7° de arco) no es factible colocar un satélite de radiodifusión entre las dos estaciones espaciales que comprenden el enlace entre satélites;
- en el caso de enlaces entre satélites más largos, es posible insertar uno o más satélites de radiodifusión, dependiendo de la longitud efectiva del enlace entre satélites;

- cuanto más largo sea el enlace entre satélites mayor será la porción de arco orbital en que podrían colocarse satélites de radiodifusión satisfaciendo el objetivo de interferencia supuesta en el enlace entre satélites;
- en lo que respecta a la interferencia causada al receptor del SRS por emisiones del SES, los enlaces del SES cortos provistos de antenas de seguimiento pueden no producir interferencia; sin embargo, el caso más desfavorable de interferencia puede surgir a partir de enlaces del SES cortos provistos de antenas sin seguimiento para una separación orbital entre los dos satélites del SES inferior a 6°, y entre los dos satélites, del SRS y del SES, aproximadamente igual a 0°; la interferencia causada por los enlaces entre satélites provistos de antenas de seguimiento recíprocas puede ser aceptable cuando las anchuras del haz no son mayores que alrededor del doble de los errores de puntería esperados (véase el cuadro II del Informe 951);
- considerando el limitado arco orbital disponible y la posibilidad de reutilizar varias veces las frecuencias en el servicio entre satélites (véase la fig. 3 del anexo II al Informe 451), existe la posibilidad de que haya conflictos importantes entre las estaciones espaciales de los dos servicios que utilizan el mismo arco de la órbita.

Como quiera que las características del satélite de radiodifusión y del enlace entre satélites pueden diferir de los que se han supuesto como hipótesis, convendría continuar el estudio para proporcionar información suplementaria sobre este asunto.

INFORME 875*

ESTUDIO SOBRE CANCELADORES DE INTERFERENCIA, PARA SU APLICACIÓN EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(Programa de Estudios 2J/4)

(1982)

1. Introducción

Una de las principales limitaciones que dificultan el logro de una mayor utilización del espectro radioeléctrico y de la órbita geoestacionaria por el servicio fijo por satélite, es la interferencia mutua entre redes de satélite que cubren la misma zona geográfica o zonas geográficas adyacentes. En principio, se ha prestado atención a las características de radiación de las antenas de estaciones terrenas con miras a reducir la separación orbital entre los satélites. Entre otras formas de aumentar la capacidad de comunicación cabe mencionar las técnicas de reutilización de frecuencias tales como la transmisión cocanal con polarización cruzada, las técnicas de modulación mejoradas, transmisores de satélite de mayor potencia y receptores con menor nivel de ruido. En el Informe 453 se indican los parámetros técnicos correspondientes.

Algunas de estas técnicas aumentan la susceptibilidad de las redes de satélite a la interferencia mutua, por lo que su eficacia debe medirse por la calidad de funcionamiento global del sistema que se trata de mejorar. No obstante, los efectos nocivos de algunos de estos procedimientos se pueden reducir mediante el empleo de canceladores de interferencia. Esta técnica se ha elaborado durante un largo periodo de tiempo con tecnologías específicas, que implicaban equipos relativamente costosos, debido principalmente, a que sus aplicaciones estaban relacionadas con ambientes de interferencias que se suponían deliberadas y hostiles. Sin embargo, esta situación no se plantea con los sistemas de comunicaciones nacionales o internacionales de carácter comercial, puesto que en este caso se conocen las características básicas en RF de los sistemas potencialmente interferentes. En consecuencia, existe la posibilidad de realizar dispositivos eficaces de cancelación de interferencias. A continuación se presenta un estudio sobre los desarrollos recientes aplicables a los sistemas de comunicación por satélite.

2. Aplicaciones generales

Hay dos fuentes principales de interferencia a las que pueden aplicarse los canceladores. Una de ellas se debe principalmente a factores ambientales, tales como una precipitación intensa que distorsionan las características de la señal de un sistema durante las transmisiones por los enlaces ascendentes y descendentes. Los sistemas que emplean canales con polarización cruzada en la misma banda de frecuencias en particular por encima de 10 GHz, son susceptibles a este tipo de interferencia intrasistema. Las distorsiones se presentan en forma de diferencias de atenuación y de desplazamiento de fase, en las componentes ortogonales de la señal, lo que degrada los niveles originales de aislamiento por polarización. Se han desarrollado dispositivos que corrigen los efectos de la despolarización y que básicamente cancelan los elementos no ortogonales de los canales afectados. Estas técnicas se analizan en el Informe 555, así como en [White y otros, 1975; Chu, 1971; Persinger y otros, 1981; Nouri y Braine, 1980; Pelchat y Baird, 1977].

---

* Este Informe se señala a la atención de la Comisión de Estudio 1.

La otra fuente de interferencias, más conocida, está constituida por los sistemas externos que funcionan en la misma banda de frecuencias dentro del campo de visión del sistema de que se trata. La protección contra la interferencia entre satélites se consigue principalmente mediante la discriminación de la antena de estación terrena, si bien, otras técnicas pueden contribuir a reducir la interferencia o sus efectos.

El principio básico de los canceladores de interferencia, consiste en generar una réplica de la señal interferente tanto en amplitud como en fase y restarla de la señal deseada que, junto con la interferencia, entra en el sistema receptor (véase el Informe 390, anexo I). Se han efectuado y evaluado estudios y experimentos con técnicas de cancelación en banda de base, frecuencia intermedia (FI) y radiofrecuencias (RF) [Pontano, 1980; Pontano y Fuenzalida, 1971; American Nucleonics Corporation, 1974; Horton, 1976; Shklarsky y otros, 1979; White y otros, 1975]. Las técnicas preferidas resultan afectadas por las características de las señales deseada e interferente, el estado actual de la tecnología y el costo de su puesta en práctica. La importancia de los canceladores crecerá, sin duda, a medida que se vaya ocupando el arco orbital por un número creciente de satélites de comunicación.

3. Ejemplos de canceladores de interferencia

A continuación se dan algunos ejemplos de estas técnicas divulgadas recientemente en las publicaciones especializadas. Los distintos investigadores obtuvieron los resultados en ausencia de todo ruido térmico significativo.

3.1 *Canceladores de interferencia en banda de base*

Para portadoras con modulación angular [Pontano, 1980], se ha encontrado un método de cancelación de interferencias en banda de base que consiste en mezclar las señales deseada e interferente RF en el sistema experimental esquematizado en la fig. 1. Hay que subrayar que según este procedimiento, es preciso que la interferencia se reciba directamente como entrada del canal interferente, lo que puede lograrse mediante una antena separada orientada directamente hacia la fuente interferente. La señal interferente, se mezcla con la portadora deseada en RF o en FI. Se ha comprobado que las componentes de baja frecuencia resultantes de este proceso son la réplica de la interferencia en la banda de base. La cancelación se consigue restando esta réplica de la señal demodulada en banda de base más la interferencia. Las pruebas de laboratorio han mostrado que este método reduce la interferencia en 15 dB aproximadamente, para un amplio margen de parámetros de funcionamiento.

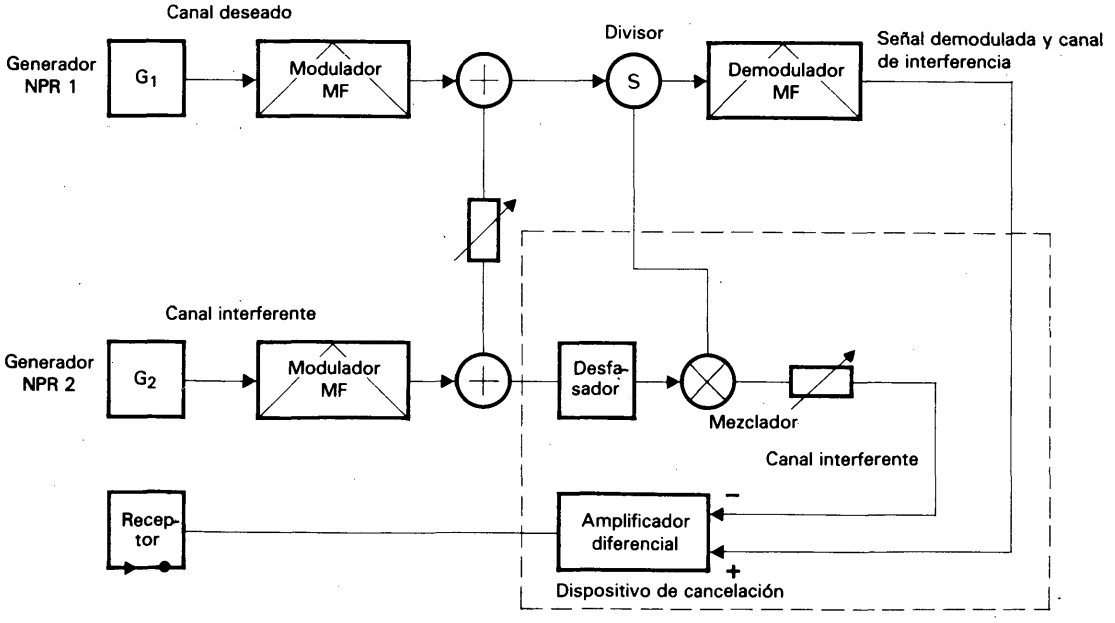


FIGURA 1 — *Diagrama de bloques del sistema experimental*

En aquellos casos en que no se dispone de una señal separada interferente a efectos de referencia o control, se ha propuesto otro procedimiento para señales con modulación angular [Pontano y Fuenzalida, 1971]. De acuerdo con él, se utiliza la información contenida en la envolvente de onda resultante de la combinación de las portadoras deseada e interferente, para reconstruir la interferencia en banda de base. Para una cancelación eficaz deberá separarse la fuente interferente de la portadora deseada mediante la suma de las frecuencias moduladoras más altas. Los análisis y los experimentos han revelado que la envolvente detectada de las portadoras deseada e interferente, es igual a la componente de interferencia demodulada, desfasada en más o menos 90°. Una vez identificada, puede eliminarse la interferencia por sustracción. Se ha logrado una reducción de la interferencia de hasta 15 dB, para un conjunto de parámetros experimentales (separación de frecuencias, relaciones portadora/interferencia e índices de modulación). Los mejores resultados se han obtenido con los índices de modulación más bajos y las mayores separaciones en frecuencia de las portadoras.

Para señales de modulación de frecuencia (MF) en las que la señal interferente es reducida y no puede recibirse separadamente, es posible detectar la interferencia en banda de base con un detector de cuárzo. Una señal pura MF, tiene una envolvente constante; la adición de interferencia da lugar a una modulación de amplitud que puede ser detectada y por tanto, eliminada por sustracción. Sin embargo, con esta técnica sólo se consiguió, en pruebas de laboratorio, suprimir aquellas componentes interferentes que no habían experimentado repliegue espectral. La interferencia debe ser pequeña en comparación con la señal MF deseada, puesto que la cancelación sólo puede garantizarse para la componente de primer orden.

Las componentes de orden superior originan dificultades si la potencia de interferencia es importante. Dichas componentes limitan el grado de cancelación de interferencia alcanzable con un procedimiento de cancelación en banda de base puesto que la relación de fase necesaria para suprimir la componente de primer orden no es la misma que la requerida para suprimir las de orden superior. En estas circunstancias, es preferible cancelar la interferencia en RF o en FI, antes de la demodulación, con lo que se suprimen todas las componentes del espectro de interferencias en la banda de base.

3.2 *Cancelación en FI*

Otro procedimiento investigado para su aplicación a los sistemas MF consiste en restar los espectros de FI o RF de una señal interferente antes del demodulador del receptor, tal como se muestra en el montaje de prueba esquematizado en la fig. 2. Se supone en este caso que se puede disponer separadamente de la señal interferidora. Debe subrayarse que el canal auxiliar (interferencia solamente) ha de experimentar una conversión con reducción de frecuencia y un filtrado, «prácticamente igual» que el canal principal (señal deseada + interferencia). Además, las longitudes eléctricas para las señales interferentes en ambos canales han de ser casi idénticas a fin de que la modulación en las dos señales en el punto de supresión sea coherente. La fase de la señal de supresión se ajusta mediante un desplazador de fase variable. Los resultados de las pruebas efectuadas muestran que el espectro interferente en FI, se reduce 25 a 30 dB aproximadamente a través del filtro de anchura de banda de FI. Las ventajas de este procedimiento son:

- su sencillez;
- cancelación simultánea de las componentes de primer orden y de orden superior;
- posibilidad de cancelación para cualquier valor de la relación C/I; y
- existencia de menor ruido impulsivo en comparación con los métodos de supresión en banda de base.

3.3 *Puente supresor de interferencias*

Otra técnica pasiva, experimentada en laboratorio, utiliza una red en puente para suprimir la señal interferidora en el receptor con una señal auxiliar extraída de un canal de interferencia. En la fig. 3, se ilustra este procedimiento en forma de diagrama de bloques simplificado. Idealmente, el ángulo de fase de la señal a la salida del circuito puente debe ser 180° y su amplitud igual a la interferencia a lo largo de la banda de frecuencias deseada y de un modo continuo. La finalidad de la prueba es determinar la calidad de funcionamiento del sistema con diversos errores de ángulo de fase y de amplitud provocados por el puente.

Se han efectuado pruebas empleando un tono de señal de aproximadamente 3807 MHz y señales interferentes a 3809 ± 4,5 MHz y 3950 MHz. Con este procedimiento se ha conseguido reducir las señales interferentes entre 15 dB y 50 dB, este último valor en el caso de señales interferentes de banda relativamente estrecha y en condiciones de cielo despejado.

3.4 *Sistemas de cancelación adaptables*

Durante muchos años se han desarrollado y explotado sistemas de cancelación activos o servocontrolados capaces de producir reducciones de interferencias del orden de 50 a 60 dB en bandas de frecuencias que van desde la B.Mam (3-30 kHz) a la B.cm (3-30 GHz) [American Nucleonics Corporation, 1974]. Entre sus aplicaciones se encuentra el caso de una interferencia próxima producida por un transmisor cercano de características conocidas y el de una interferencia distante de origen casual o deliberado. Si se trata de un origen lejano, se utiliza una antena auxiliar orientada hacia la fuente interferente para obtener una muestra de referencia de la interferencia. En algunas aplicaciones, es posible obtener esta señal a partir de un lóbulo lateral de la antena principal. Se pueden utilizar, con fines de discriminación, diferentes propiedades de las señales deseada e interferente (tales como

dirección de llegada, amplitud, polarización, modulación, etc.). En la fig. 4, se representa el diagrama de bloques funcional de un sistema adaptable de cancelación. El transmisor de interferencia repite en amplitud la señal interferente, pero con inversión de polaridad. Una disposición a base de servomecanismo de bucle cerrado permite ajustes automáticos de amplitud, retardo de tiempo y fase para compensar las variaciones de estas características debidas a los efectos de la propagación. Un acoplador muestrea la señal de salida hacia el receptor, y si la cancelación es imperfecta, se envía una señal de error a los servomecanismos. Los bucles del servomecanismo, de alta ganancia, ajustan los parámetros del controlador de señal hasta anular el nivel de interferencia residual. Los detectores síncronos limitan la respuesta del bucle de control a las señales que son coherentes con la de referencia o la interferente. El grado de supresión alcanzable depende de la anchura de banda instantánea de la señal interferente. Para señales de banda estrecha puede conseguirse una cancelación de 60 dB. Con anchuras de banda de 5 ó 6 MHz se ha reducido la interferencia distante en 50 ó 60 dB. Se han comunicado cancelaciones de 20 dB aproximadamente, en el caso de señales con características de ruido y anchuras de banda instantáneas de 500 MHz.

En la fig. 5 [Horton, 1976], se ilustra un sistema adaptable de supresión de interferencia cocanal (CISS), desarrollado específicamente para aplicaciones en las comunicaciones por satélite. Una réplica estimada de la señal interferente se sustrae de la combinación de señal deseada e interferencia en el combinador de potencia situado a continuación del amplificador de bajo ruido (LNA) del sistema receptor. La señal de salida (señal de error) contiene la señal deseada más el residuo de la operación de sustracción. Un filtro adaptable en el canal de interferencia ajusta la amplitud y la fase de la señal interferente para producir la réplica de ésta. La adaptación se logra mediante un algoritmo de mínimos cuadrados. El correlador de cuadratura procesa la señal de error y la señal de interferencia (antena auxiliar) produciendo la necesaria correlación de amplitud y fase entre estas dos señales. Las salidas del correlador actúan como tensiones de control que ajustan los atenuadores del filtro adaptable.

Se llega a una situación de equilibrio cuando la correlación alcanza un mínimo. En pruebas de laboratorio se han conseguido supresiones de interferencia de hasta 20 a 30 dB, dependiendo de los valores de la relación *C/I*.

En el Reino Unido se efectuó una de las primeras aplicaciones de las técnicas de cancelación adaptable al sufrir una intensa interferencia en la estación terrena de Goonhilly, producida por una estación de relevadores radioeléctricos situada a una distancia de unos 300 km. Se desarrolló un cancelador sintonizable adaptable, que funcionaba en FI y que entró en explotación a principios de 1975; así se consiguió reducir los efectos de la interferencia a un nivel aceptable [White y otros, 1975].

3.5 *Filtrado adaptable de interferencia de banda estrecha*

Se ha aplicado a un sistema digital de comunicaciones en banda ancha, un procedimiento de supresión de interferencia de banda estrecha siendo la frecuencia de la fuente interferente desconocida (o incluso lentamente variable) [Shklarsky y otros, 1979]. En la fig. 6 se describe, mediante un diagrama de bloque, la realización práctica de este método. El sistema rastrea la frecuencia central de una interferencia y ajusta un filtro de ranura en torno a dicha frecuencia; funciona utilizando las propiedades de transformación de Fourier en tiempo real de los filtros de ondas acústicas de superficie. Se precisan las siguientes condiciones:

- la anchura de banda de la fuente interferente es menor que la de la señal deseada y
- en el dominio de Fourier, la amplitud de la señal interferente es mayor que la de la señal deseada.

Un dispositivo de control automático de ganancia (CAG) permite al sistema el manejo de una amplia gama de señales de entrada. Durante las pruebas efectuadas según este procedimiento, se han obtenido reducciones sustanciales de la interferencia.

4. Conclusiones

Los ejemplos expuestos en este Informe sobre canceladores de interferencia, son solamente una muestra de lo que actualmente se publica sobre este tema. Sin embargo, los canceladores de interferencia como medio de reducir la interferencia interna de los sistemas por satélite, están todavía en las primeras etapas de su desarrollo. Hasta ahora, el método buscado por la UIT y recomendado por el CCIR ha consistido en la imposición de límites a los diagramas de lóbulos laterales de las antenas y a las densidades de flujo de potencia radiada a fin de evitar una interferencia excesiva entre los sistemas. Los canceladores de interferencia se han utilizado en situaciones más bien excepcionales, cuando una estación terrena existente o de reciente construcción sufría interferencias imprevistas, procedentes de una fuente próxima. La necesidad de antenas adicionales y equipo de tratamiento de señales es una carga que cualquier planificador de redes de telecomunicaciones, preferiría evitar. Es preciso avanzar más en la reducción de la complejidad de los equipos y de los costos, antes de que sea factible una aplicación generalizada de los canceladores de interferencia en los sistemas del servicio fijo por satélite.

Por otro lado, se ha puesto en evidencia un gran interés [Chu, 1971; Persinger y otros, 1981; Nouri y Braine, 1980; Pelchat y Baird, 1977; Makino y otros, 1980] en el desarrollo de canceladores de interferencia para aplicaciones intrasistema en relación con las técnicas de polarización cruzada. Puesto que la señal interferente puede ser caracterizada y definida internamente, es probable que los avances en este terreno se materialicen en equipos comerciales en un futuro próximo. Las producciones de estos tipos de canceladores de interferencias facilitarán seguramente el desarrollo de aplicaciones intrasistema.

El CCIR deberá continuar estudiando este tema e informar sobre sus progresos.

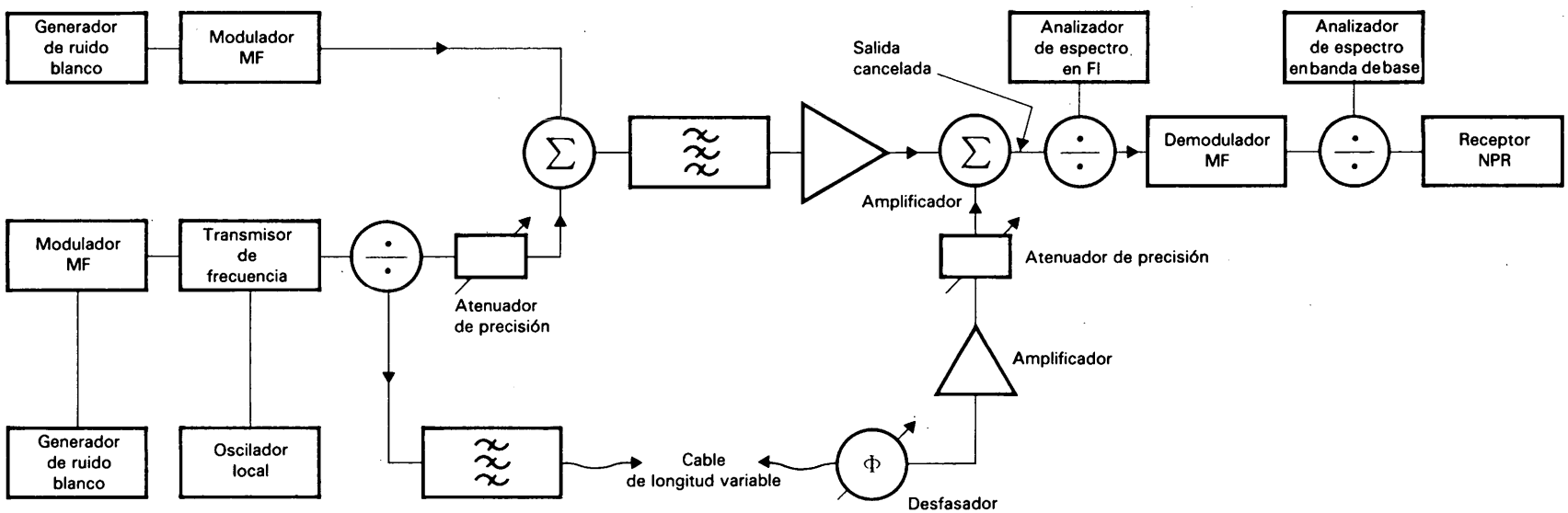
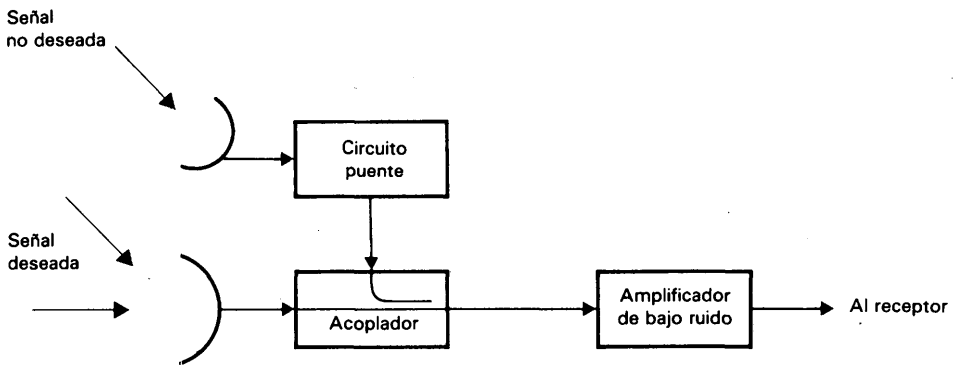
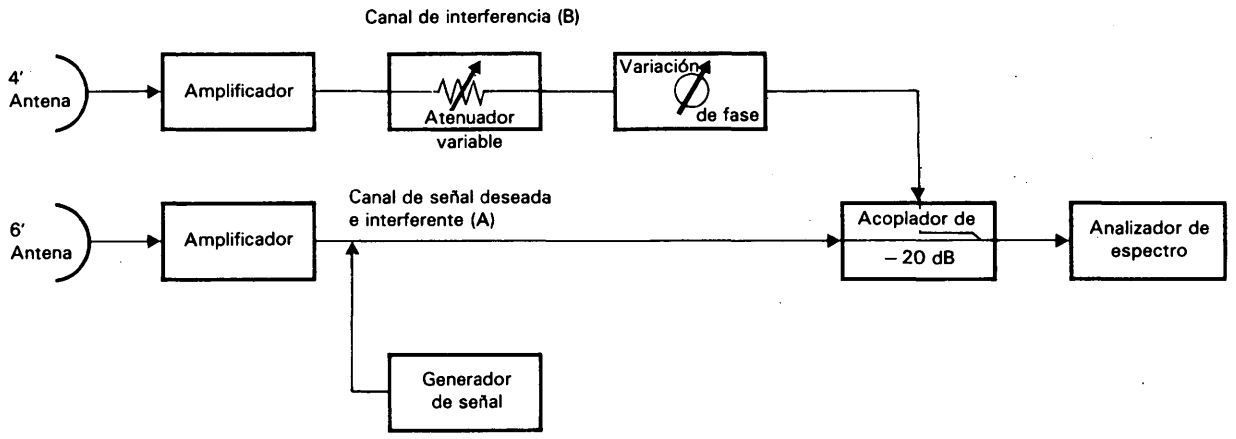


FIGURA 2 — *Sistema de prueba de cancelación en FI*



a) Diagrama del sistema



b) Esquema de prueba

FIGURA 3 — *Sistema de supresión de interferencias por puente*

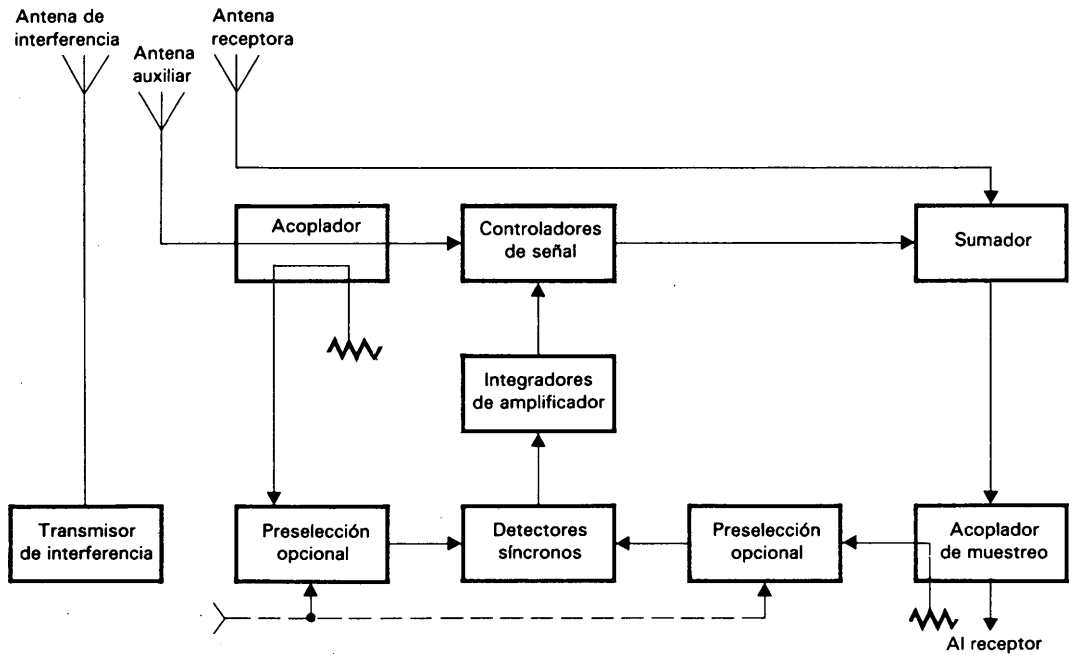


FIGURA 4 — *Sistema adaptable de supresión de interferencia*

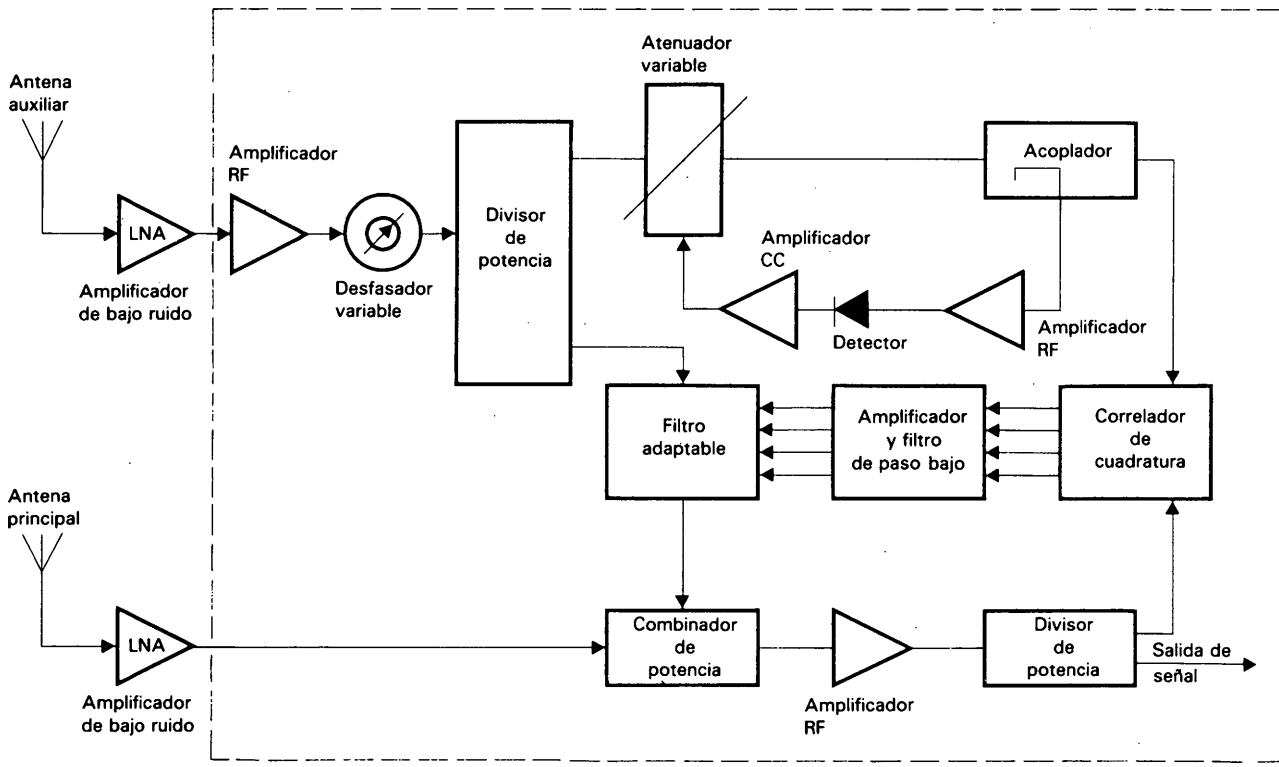


FIGURA 5 — *Diagrama de bloques del sistema de supresión de interferencia cocanal*

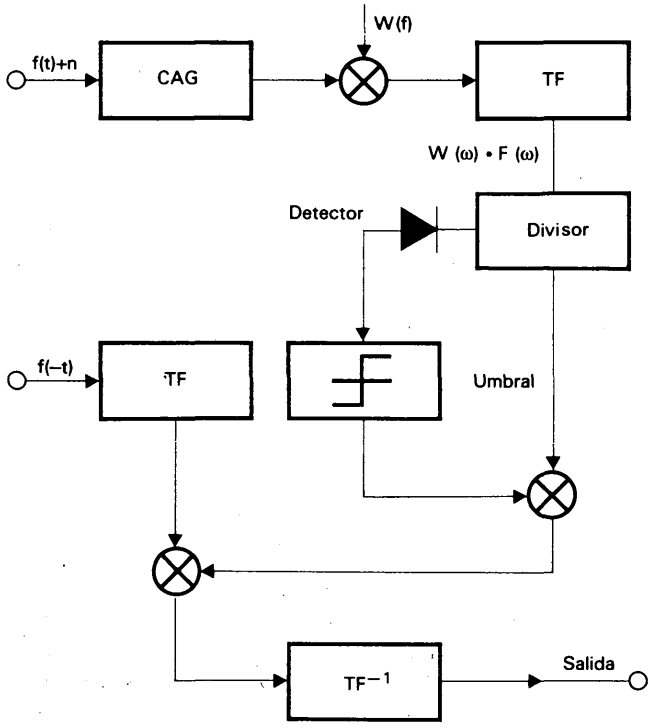


FIGURA 6 — *Diagrama de bloques del sistema adaptable*

CAG: Control automático de ganancia
TF: Transformada de Fourier

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN NUCLEONICS CORPORATION [1974] New system cuts interference and permits closer channelling. *Microwave System News.*

CHU, T. S. [noviembre de 1971] Restoring the orthogonality of two polarizations in radio communication systems – I. *BSTJ*, Vol. 50, **9**, 3063-3069.

HORTON, E. D. [29 de noviembre-1 de diciembre de 1976] An adaptive co-channel interference suppression system to suppress high level interference in satellite communication earth terminals. IEEE National Telecommunications Conference (NTC '76), Dallas, Texas, Estados Unidos de América, Conf. Record, Vol. 1, Session 13, Digital satellite communications, 13.4-1.

MAKINO, H., ORINO, Y., ORUI, S., FUKETA, H. e INOUE, T. [abril de 1980] A new adaptive control system for compensating cross-polarization couplings on the up and/or down path in frequency re-use satellite communication systems. AIAA 8th Communications Satellite Systems Conference, Orlando, Florida, Estados Unidos de América.

NOURI, M. y BRAINE, M. R. [1980] An adaptive interference control system for earth-satellite links above 10 GHz. *Marconi Rev.*, Vol. XLIII, **216**, Primer trimestre, 14-28.

PELCHAT, M. G. y BAIRD, C. A. [26-28 de septiembre de 1977] Simplified techniques for adaptive polarization crosstalk reduction. IEEE Electronics and Aerospace Systems Convention (EASCON-77), Arlington, Va., Estados Unidos de América, Conf. Record, 31-3.

PERSINGER, R. R., GRUNER, R. W., EFFLAND, J. E. y DiFONZO, D. F. [13-16 de abril de 1981] Operational measurements of a 4/6-GHz adaptive polarization compensation network employing up/down-link correlation algorithms. IEE Second International Conference on Antennas and Propagation, Heslington, York, Reino Unido, Conf. Publication No. 195, Part 2: Propagation, 181-187.

PONTANO, B. A. [2 de diciembre de 1980] Methods of interference cancellation for improved orbit and spectrum utilization. IEEE National Telecommunications Conference (NTC '80), 30 de noviembre-4 de diciembre, Houston, Texas, Estados Unidos de América, Conf. Record, Vol. 2, Session 33: Recent activities and techniques in efficient orbit utilization, 33.4.1-33.4.5.

PONTANO, B. A. y FUENZALIDA, J. C. [1971] A study of interference between multichannel angle-modulated signals. COMSAT Tech. Memo CL 22-71.

SHKLARSKY, D., DAS, P. y MILSTEIN, L. B. [29 de noviembre de 1979] Adaptive narrowband interference suppression. IEEE National Telecommunications Conference (NTC '79), 27-29 de noviembre, Washington, DC, Estados Unidos de América, Conf. Record, Session 15: New techniques in spread spectrum communications, 15.2.1-15.2.4.

WHITE, N., BRANDWOOD, D. y RAYMOND, G. [abril de 1975] The application of interference cancellation to an earth station. Satellite communication system technology. IEE Publication No. 126, 233-238.

INFORME 1004*

INTERFERENCIA FÍSICA EN LA ÓRBITA DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

(Cuestión 34/4)

(1986)

1. Introducción

La Cuestión 34/4 solicita la realización de estudios (§ 1 a 4 de la parte dispositiva) referentes a los efectos de la interferencia física provocada por satélites inactivos a la deriva situados en, o cerca de, la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG).

2. Situación actual

En la actualidad existen unos 200 satélites situados en la OSG, tanto en estado de servicio como inactivos, además también hay un gran número de otros artefactos procedentes del lanzamiento de estos satélites. El número de estos últimos artefactos no está muy bien definido puesto que hoy en día los radares no pueden detectar objetos menores de un metro de diámetro. Se han hecho varias estimaciones acerca de la probabilidad actual de colisión, pero los resultados se han presentado en formas diferentes. Cuando se ajustan a los parámetros equivalentes, la mayoría de los estudios estiman que la probabilidad de colisión será aproximadamente de 10^{-6} al año para los satélites actuales. En estos estudios se ha supuesto una distribución uniforme de los satélites en la OSG.

3. Efectos de una colisión en la OSG

La construcción de satélites está basada necesariamente en la producción de estructuras ligeras pero rígidas, lo suficientemente resistentes para soportar las aceleraciones y la vibración que se producen durante el lanzamiento. Aparte del bloque principal de propulsión, la mayoría de los componentes de la estructura están fabricados con materiales de tipo celular ligeros. Las únicas partes pesadas y macizas son varios contenedores de equipos, volantes de inercia y baterías. Las antenas exteriores, las antenas de alimentación y las estructuras de paneles solares tienen generalmente poco peso y en condiciones de gravedad terrestre normalmente serían incapaces de mantenerse a sí mismas.

Una colisión entre fragmentos pequeños y estas partes externas probablemente las cortaría, las taladraría y, en el caso de las antenas y sus alimentadores, las deformaría mecánicamente. También se imprimiría algún tipo de movimiento al propio vehículo espacial. Puede producirse una degradación o pérdida inmediata en la capacidad de comunicaciones, una degradación o pérdida de potencia y una emisión de señales que podrían causar interferencias a otras redes de satélite. Los satélites activos afectados, podrían no quedar completamente incapacitados. Sin embargo, si el fragmento golpease el propio cuerpo del satélite, probablemente se originarían muchos más fragmentos. El resultado sería un aumento de la probabilidad de colisión cuyo valor depende del modelo de fragmentación del satélite. En [Chobotov, 1983; CCIR, 1982-86] puede hallarse un método para calcular las modificaciones y los modelos que pueden aplicarse. Según algunos estudios, los fragmentos se dispersarían alrededor de la órbita a una velocidad que depende de la velocidad dada al fragmento. Sin embargo, los efectos a corto y largo plazo de una colisión deben estudiarse más detalladamente para definir las probabilidades con mayor precisión.

4. Medidas para evitar la colisión

La probabilidad de colisión aumenta al hacerlo la densidad de la población; parece prudente intentar mantener la población lo más constante posible sin perjuicio de prever un aumento del número de satélites. Esto puede hacerse mediante la oportuna retirada de satélites que ya no se utilizan o que no funcionan adecuadamente. Algunos elementos desechables de los vehículos espaciales, tales como las etapas del cohete lanzador, se abandonan en una órbita de transferencia que tiene un bajo valor de perigeo y un apogeo en altitud geosíncrona, por consiguiente, cruzan la OSG al menos una vez cada día. El tiempo de vida de un objeto en una órbita de transferencia depende de la altura inicial del perigeo, de la longitud inicial del nodo ascendente y de la estación del año. Si estos tres parámetros se escogen adecuadamente, entonces la altura de apogeo disminuirá bastante rápidamente y la etapa superior no constituirá un peligro de colisión para los satélites en la OSG [Mueller y Graf, 1979]. El uso de grandes estructuras para la colocación de los satélites en la OSG que se desprenden al llegar a ella, debe hacerse después con precaución puesto que podrían originar nuevos riesgos. Otras técnicas consideradas son: apantallamiento de refuerzo, recuperación y reparación, maniobras de esquiva y desplazamiento a una órbita más baja o más alta (a un «cementerio» de satélites).

---

* Este Informe debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 2, 8, 10 y 11.

Ya se han llevado a cabo algunas maniobras de esquiva y se trata de una técnica operativa que ha sido utilizada por algunas administraciones para reducir el riesgo en cierto tipo de satélites. Esta técnica requiere seguimiento, que es muy costoso en su establecimiento y funcionamiento, no es una técnica disponible para todos los usuarios de la órbita y su precisión es actualmente insuficiente para que llegue a ser una medida eficaz contra colisiones. Tampoco se considera viable hoy día la alternativa de equipo de seguimiento y dispositivo detector de colisiones a bordo del satélite.

Otra posibilidad es utilizar el combustible a bordo de la nave espacial para elevar o bajar la órbita; es decir, colocar la nave espacial en una órbita «cementerio».

Por consiguiente, las órbitas «cementerios» constituyen la mejor opción de las examinadas. La técnica podría consistir en ir encendiendo los propulsores en una secuencia tal que provocaran los cambios necesarios en la velocidad del satélite para alcanzar una nueva órbita de altitud más elevada y de altura suficiente como para evitar cualquier posibilidad razonable de interceptar nuevamente la OSG.

El desplazamiento a una órbita más baja puede considerarse como un medio viable de controlar la población de la órbita; no obstante, el tiempo de descenso es largo y provoca riesgos de colisión con otros satélites que no se encuentran en la OSG, y también con aquellos que se encuentran en la órbita de transferencia a la OSG.

Naturalmente, la cantidad de combustible necesario para esta maniobra depende de la masa del satélite, del poder de propulsión específico del combustible y de la altitud ΔV) requerida. Basados en el satélite Olympus (con una masa de comienzo de vida útil de 1500 kg) y en el satélite ECS (con una masa de comienzo de vida útil de 500 kg) se han realizado algunos cálculos que demuestran que se necesitaría un cambio de altitud mínima absoluta de 80 y 60 km respectivamente, precisando de un total de 1,29 kg y 0,73 kg de combustible para el mantenimiento en posición. En ambos casos se trata de menos del 1% del total de combustible necesario para el mantenimiento de la posición (incluidos ciertos posicionamientos N-S en estos ejemplos) y una pérdida de disponibilidad del servicio de 2 y 3½ semanas, respectivamente (suponiendo unos tiempos de vida de 5 y 7 años).

5. Consideraciones prácticas acerca de la transferencia a un «cementerio» de satélites en una órbita más elevada

Los sistemas de propulsión que en la actualidad llevan a bordo los satélites, normalmente comprenden un motor de apogeo para la inyección orbital y un cierto número de pequeños propulsores para llevar a cabo las maniobras del mantenimiento de la posición durante la vida útil del satélite. A fin de almacenar el combustible necesario para ambos tipos de maniobras, se utiliza generalmente uno o varios depósitos comunes de combustible. Aunque existe una gran variedad de sistemas y técnicas de propulsión, de hecho sólo cuatro pueden aplicarse. Para la primera, no se precisa ninguna modificación del vehículo espacial, sólo es necesario asegurar que existe suficiente disponibilidad de combustible para realizar la maniobra. Las técnicas de medida empleadas hoy en día en los satélites y los regímenes de utilización presentan un nivel de error que es del orden del combustible necesario para el mantenimiento en posición durante seis meses; sin embargo, deberían realizarse mejores sistemas de medida.

Una segunda posibilidad sería incorporar un sistema de propulsión completamente independiente del tamaño adecuado para la operación «cementerio». Esto sería relativamente fácil de lograr, utilizando equipos ya probados, pero presenta algunos inconvenientes en cuanto a la fiabilidad, puesto que no podrían utilizarse o comprobarse durante un tiempo considerable.

La tercera posibilidad consiste en incluir depósitos de combustible separados en el sistema existente, superando de esta manera algunos de los problemas de fiabilidad mencionados y ahorrando algo de peso.

Por último, la incorporación de depósitos de combustible en los propios conductos de conducción del mismo eliminaría aún más los problemas referentes a la fiabilidad, si bien presentaría la exigencia adicional de disponer de un método de comprobación del nivel del depósito de combustible principal (mediante un detector de gas). En cada una de estas posibilidades, existe la necesidad de cortar cualquier orden de maniobra en curso y de iniciar la transferencia al «cementerio» o enviar datos del estado al centro de operaciones.

6. Otros efectos de satélites a la deriva

Sólo hay otro efecto significativo provocado por satélites a la deriva o inactivos, es el de provocar el bloqueo de los enlaces de radiofrecuencia desde y hacia los satélites activos.

Para un análisis del caso más desfavorable [Chobotov, 1983], se produjeron siete casos de este tipo en un periodo de 6 meses, lo que significa un límite superior de 0,039 sucesos por año por grado de anchura de haz, con un valor típico aproximado de $5{,}6 \times 10^{-4}$ por año y grado de anchura de haz.

Los sucesos de esta naturaleza son aproximadamente 1400 veces más probables que las colisiones debidas al área de sección transversal del haz del enlace descendente, que es muy grande en comparación con un satélite.

El efecto sobre la interrupción es bastante pequeño —aún permitiendo 10 segundos por paso completo a una distancia de 10 km— ya que sólo se verá afectado por este mecanismo como máximo el 10^{-7} del servicio en algunas direcciones. En una estación terrena en particular las pérdidas medias serán inferiores como resultado de las consideraciones geométricas.

7. Conclusiones

Las estimaciones actuales sobre la probabilidad de colisión entre satélites activos y satélites a la deriva se consideran aceptablemente bajas. Sin embargo, está claro que estas probabilidades aumentarán con la mayor utilización de la OSG. Se requieren urgentemente estudios para determinar los factores que pueden contribuir a la interferencia física, evaluar el riesgo que puede plantear este fenómeno en el futuro y señalar diversas soluciones y los costos/beneficios factibles asociados. Parece que los efectos de bloqueo de radiofrecuencia de los satélites a la deriva suponen una amenaza muy pequeña o nula para los enlaces de comunicación; sin embargo, el modelo aplicado fue sencillo y pueden ser necesarios ulteriores estudios para tener en cuenta los efectos de difracción y dispersión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHOBOTOV, V. A. [1983] Classification of orbits with regard to collision hazard in space. *J. Spacecraft*, Vol. 20, **5**.

MUELLER y GRAF [25-27 de junio de 1979] A study of the lifetime of geosynchronous transfer orbits. AAS/AIAA Astrodynamics Specialist Conference, Princeton, MA, Estados Unidos de América.

Documentos del CCIR

[1982-86]: 4/246 (Reino Unido).

BIBLIOGRAFÍA

AIAA [23 de enero de 1981] Position Paper, Space debris. Preparado por el AIAA Technical Committee on Space Systems.

BRITISH AEROSPACE [1985] The collision hazard in geostationary Earth orbit and its consequences. British Aerospace Report, TP8196.

CHOBOTOV, V. A. [1981] Collision hazards in space. Aerospace Corporation Report, SD-TR-81-11.

HECHLER, M. The probability of collisions on the geostationary ring. MAO Working Paper. No. 121 ESOC.

HECHLER, M. y VAN DER HA, J. C. [julio-agosto de 1981] Probability of collisions in the geostationary ring. *J. Spacecraft*, Vol. 18, **4**.

CUESTIONES Y PROGRAMAS DE ESTUDIOS, RESOLUCIONES, RUEGOS Y DECISIONES

CUESTIÓN 1-2/4

ANTENAS PARA SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1961-1963-1970-1974)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que las dimensiones de las antenas, tanto de las estaciones terrenas como de las estaciones espaciales, y las restricciones impuestas a la abertura del haz son factores importantes que influyen en la determinación de la gama de frecuencias útil para los sistemas espaciales;

b) que los métodos de construcción y los factores atmosféricos influyen en la ganancia máxima y en las mínimas aberturas angulares de haz que pueden lograrse;

c) que la interferencia plantea problemas importantes, sobre todo desde el punto de vista de la utilización eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios, y de la compartición de bandas de frecuencias con sistemas terrenales;

d) que la reutilización de frecuencias en los sistemas de radiocomunicaciones espaciales sería de gran importancia para la utilización eficaz del espectro radioeléctrico;

e) que no se sabe gran cosa acerca de los campos de radiación en las inmediaciones de las antenas de las estaciones terrenas, y de la forma en que en esos campos influyen el terreno circundante o los fosos que se utilizan para obtener un efecto de pantalla;

f) que es sabido que la conformación del haz de las antenas de los satélites es de especial importancia para el empleo eficaz de la potencia de radiofrecuencia disponible, del espectro de frecuencias y de la órbita de los satélites geoestacionarios,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Cuáles son los efectos de la atmósfera y de los métodos de construcción en la ganancia y en la abertura angular del haz realizables?

2. ¿Cuál es el estado actual de la técnica en materia de concepción y construcción de antenas, especialmente en lo que respecta a la mejora de las características de los lóbulos laterales y del lóbulo posterior?

3. ¿Cuáles son las características de polarización de las antenas, particularmente en la región de los lóbulos laterales y en otros planos que no sean los planos principales?

4. ¿Cuál es el grado de precisión de la orientación que razonablemente es de esperar con antenas de diversas dimensiones y tipos?

5. ¿Cuáles son las características técnicas necesarias de los sistemas de antenas capaces de utilizar simultáneamente las mismas frecuencias dos o más veces en una ubicación determinada?

6. ¿Cuáles son los procedimientos de medida de esas diversas características de antena?

7. ¿Cuáles son las características de radiación en las proximidades de las antenas de estaciones terrenas, particularmente fuera del haz principal, en presencia de obstáculos naturales o de fosos de apantallamiento?

8. ¿Cuáles son las características técnicas de los sistemas de antenas de satélite con conformación del haz a lo largo del eje de propagación o perpendicularmente al mismo?

Nota. — Véase el Informe 390.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 1A-1/4

DIAGRAMA DE RADIACIÓN DE REFERENCIA DE LAS ANTENAS DE LAS ESTACIONES TERRENAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1972-1974)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que, en las bandas de frecuencias compartidas, las características de los lóbulos laterales de las antenas de las estaciones terrenas influirán en el nivel de interferencia entre el servicio fijo por satélite y los sistemas terrenales y también en la eficacia de la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios;

b) que la mayoría de las actuales estaciones terrenas del servicio fijo por satélite emplean antenas con una relación diámetro/longitud de onda (D/λ) elevada y que se dispone ya de datos importantes, aunque incompletos, sobre dichos diagramas de radiación de antena;

c) que en las futuras estaciones terrenas del servicio fijo por satélite tal vez se empleen antenas con una relación D/λ relativamente reducida,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Determinación de un diagrama de radiación de referencia para los estudios de coordinación y el cálculo de la interferencia entre distintos sistemas del servicio fijo por satélite, así como entre estaciones terrenas de esos sistemas y las estaciones de otros servicios (nota 1).

2. Determinación de un objetivo de diseño de las nuevas antenas con miras a lograr lóbulos laterales lo más reducidos posible (nota 2).

Nota 1. – Para llevarlo a cabo de forma adecuada y obtener resultados estadísticamente significativos es preciso disponer de una gran cantidad de información sobre el campo lejano de los lóbulos laterales de las antenas. Esta información debe abarcar una gama representativa de tipos de antenas en una gama también amplia de valores de D/λ y de frecuencias de explotación. Deben comunicarse las condiciones e incertidumbres de las mediciones.

Nota 2. – Dado que una de las principales finalidades es mejorar la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios, reviste especial importancia obtener una atenuación importante de la radiación, a pocos grados fuera del haz principal. El objetivo de diseño deberá basarse:

- en el análisis de las mediciones de las crestas de los lóbulos laterales de las nuevas antenas de las estaciones terrenas en donde éstas muestren un alto grado de reducción de los lóbulos laterales; estas mediciones deberán efectuarse en el campo lejano en una zona adecuadamente desprovista de obstáculos. Deberá notificarse la incertidumbre unida a las mediciones;
- en el análisis de los estudios de que se dispone para los tipos de antena propuestos en los que la finalidad es obtener un alto grado de reducción de los lóbulos laterales.

Nota 3. – Véanse el Informe 391 y las Recomendaciones 465 y 580.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 1B/4

CARACTERÍSTICAS DE RADIACIÓN DE LAS ANTENAS DE SATÉLITES DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1974)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que la eficaz utilización del espectro de frecuencias y de la órbita de los satélites geoestacionarios depende de la calidad de funcionamiento del sistema de antenas;

b) que para la reutilización de frecuencias se requieren sistemas de antenas que puedan emplear simultáneamente las mismas frecuencias dos o más veces en la misma ubicación o para la misma zona de servicio;

c) que pueden utilizarse antenas de haces múltiples para diferentes zonas de servicio, con posible reutilización de frecuencias;

d) que podría lograrse la reutilización de frecuencias con señales de polarización ortogonal;

e) que la conformación del haz permite una utilización más eficaz de la potencia del satélite;

f) que debe evaluarse por medios prácticos las características de funcionamiento de esos sistemas de antenas antes de emplearlos,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Determinación del rendimiento de la polarización ortogonal para todos los ángulos, teniendo especialmente en cuenta el tipo de la antena.

2. Determinación del acoplamiento entre antenas muy próximas y entre haces de antenas de haces múltiples.

3. Determinación de técnicas de conformación del haz, tanto a lo largo del eje de propagación como perpendicularmente al mismo.

4. Determinación de la abertura angular mínima realizable, teniendo en cuenta factores tales como las dimensiones físicas, las tolerancias geométricas que pueden alcanzarse en el caso de las antenas en órbita y la precisión de la orientación de la antena del satélite.

5. Determinación de la abertura angular mínima utilizable teniendo en cuenta la influencia del medio orbital, por ejemplo, el calentamiento, y la influencia de la atmósfera en el trayecto de transmisión.

6. Determinación de las técnicas a utilizar para evaluar las características de estas antenas.

Nota. – Véanse los Informes 555 y 558.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 1C-1/4

CARACTERÍSTICAS DE LAS ANTENAS DE ESTACIONES TERRENAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1974-1978)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que los campos de radiación próximos a las antenas de la estación terrena afectarán al nivel de acoplamiento entre las antenas de estaciones terrenas de los servicios fijos por satélite y las antenas cercanas que utilicen las mismas bandas de frecuencias;

b) que en los campos de radiación de las antenas pueden influir también la utilización de depresiones del terreno que proporcionen un efecto de pantalla;

c) que es posible utilizar antenas de estación terrena con más de un haz, y que su empleo puede preferirse al de varias antenas de un solo haz en una estación terrena;

d) que la reutilización de frecuencias puede lograrse con señales polarizadas ortogonalmente;

e) que la precisión del mantenimiento en posición del satélite y el control de actitud pueden mejorarse como resultado del desarrollo de técnicas de control más avanzadas en los subsistemas de satélite,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Determinación de la relación entre los diagramas de los campos cercano y lejano de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite y las estaciones que utilizan las mismas bandas de frecuencias.

2. Determinación del acoplamiento entre antenas próximas.

3. Determinación de la eficacia de depresiones del terreno u otros dispositivos que proporcionen un efecto de pantalla.

4. Determinación de las características de radiación de cada haz de las antenas de haces múltiples.

5. Determinación de las limitaciones relativas al número de haces que puede generar una sola antena, y determinación de la mínima separación angular que puede lograrse entre los haces.

6. Determinación de la característica de discriminación por polarización de los sistemas de antenas en todos los sectores angulares, especialmente con respecto al tipo de antena.

7. Determinación de los límites deseables de orientabilidad de las antenas de las estaciones terrenas que funcionan con satélites geoestacionarios.

Nota. – Véanse los Informes 555 y 709.

CUESTIÓN 27/4*

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que los sistemas del servicio fijo por satélite, que pueden comprender enlaces entre satélites y enlaces de conexión con satélites de otros servicios de radiocomunicaciones, constituyen un medio importante para las telecomunicaciones regionales y mundiales de los servicios fijo y móvil;

b) que en la elección de las bandas de frecuencias preferidas para esos sistemas intervienen determinados factores, como las características de propagación, los niveles de ruido radioeléctrico, la posibilidad de compartir las frecuencias con servicios terrenales, las aberturas de los haces y las dimensiones de las antenas, los problemas de localización y seguimiento y las restricciones de carga útil;

c) que la multiplicidad de necesidades de frecuencias de estos sistemas, posible causa de congestión en ciertas bandas de frecuencias, puede obligar a utilizar bandas de frecuencias distintas de las consideradas técnicamente óptimas;

d) que en las estaciones terrenas y espaciales se requieren generalmente por lo menos dos bandas de frecuencias (una para la transmisión y otra para la recepción), y que en una estación espacial se pueden necesitar bandas adicionales para la transmisión y la recepción cuando se usan enlaces entre satélites;

e) que el establecimiento de estos sistemas requiere un acuerdo internacional sobre las características técnicas que han de utilizarse, entre ellas las relativas a la banda de base, a la modulación, al acceso múltiple y a las frecuencias radioeléctricas;

f) que cabe esperar que el ruido admisible en un sistema del servicio fijo por satélite dependa de la configuración y de los factores específicos de diseño del sistema, y que puede ser deseable, a los efectos del diseño, especificar circuitos o trayectos digitales ficticios de referencia;

g) que la utilización, con carácter provisional, de estaciones terrenas transmisoras transportables es una opción de explotación deseable, pero que hace inviable la coordinación previa y una evaluación de la interferencia detalladas,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Cuáles son los tipos de órbitas y las características preferidos para los sitemas del servicio fijo por satélite para telefonía multicanal, televisión, radiodifusión sonora, telegrafía y transmisión de datos?

2. ¿Cuáles son las consideraciones técnicas que han de intervenir en la selección de las bandas de frecuencias preferidas para estas aplicaciones?

3. ¿En qué medida los sistemas del servicio fijo por satélite podrían utilizar bandas de frecuencias distintas de las consideradas óptimas, principalmente las bandas de frecuencias por encima de 10 GHz?

4. ¿En qué medida influiría la elección de las características del sistema tales como métodos de modulación y acceso múltiple, técnicas de reutilización de frecuencias o disposiciones de los radiocanales, en la eficacia de utilización del espectro por sistemas del servicio fijo por satélite para las aplicaciones mencionadas en el § 1 anterior?

5. ¿Qué circuitos o trayectos digitales ficticios de referencia y objetivos de calidad asociados son adecuados para el diseño de sistemas del servicio fijo por sátélite, incluidos los que puedan comprender enlaces entre satélites?

6. ¿Cuáles son las consideraciones técnicas que han de tenerse en cuenta en relación con el empleo de estaciones terrenas transmisoras transportables con diámetros de antena relativamente pequeños y de difícil coordinación previa?

Nota. – Véanse las Recomendaciones 352, 353 y 354, los Informes 205, 208, 209 y 386, así como el Manual sobre telecomunicaciones por satélite (servicio fijo por satélite).

---

* Derivada de la antigua Cuestión 2-4/4 (Ginebra, 1982).

PROGRAMA DE ESTUDIOS 27A/4 *

CARACTERÍSTICAS PREFERIDAS DE MODULACIÓN Y DISPERSIÓN DE LA ENERGÍA EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que cada vez se utilizará más el recurso «órbita de los satélites geoestacionarios/espectro radioeléctrico»;

b) que la eficacia con que se utilice la anchura de banda disponible para transmitir la información y el grado en que esta anchura de banda pueda compartirse entre diferentes sistemas del servicio fijo por satélite y de los servicios terrenales, habida cuenta de las posibilidades de las técnicas de reutilización de frecuencias, son de primordial importancia para asegurar la satisfacción de las necesidades;

c) que la eficacia del uso de la anchura de banda y la factibilidad de la compartición de frecuencias están determinadas, en parte, por los métodos de modulación y sus parámetros;

d) que la determinación de la factibilidad de la compartición de frecuencias, descrita en los Informes 209 y 382, depende de que puedan obtenerse valores adecuados de las relaciones de protección entre la potencia de las señales deseada e interferente a la entrada del receptor para una calidad de servicio especificada;

e) que es preciso conocer la relación señal deseada/señal interferente entre cada señal deseada y cada señal interferente, para condiciones adecuadas de modulación y de desvanecimiento de la señal;

f) que la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones, Ginebra, 1979, ha pedido en el § 2.5 de su Recomendación N.° 708 que el CCIR siga estudiando los criterios de interferencia admisible;

g) que la factibilidad de la compartición de frecuencias podría aumentar mucho si se asegurara que los sistemas que comparten frecuencias utilizan una dispersión uniforme de la energía en toda la banda ocupada;

h) que la dispersión de la energía de las señales moduladas en frecuencia y de las señales digitales permite reducir al mínimo la densidad máxima de energía y hacerla prácticamente independiente del contenido de la señal moduladora;

j) que las técnicas de dispersión de energía no deben hacer aumentar indebidamente ni el ruido total del sistema ni la distorsión de la señal, ni la complejidad del sistema o de su utilización,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Características de modulación preferidas para la transmisión Tierra-espacio y espacio-Tierra en el servicio fijo por satélite.

2. Medida en que puede recurrirse a la compresión de las señales o a técnicas de tratamiento de las señales, a fin de emplear la anchura de banda para transmitir información del modo más eficaz posible, teniendo en cuenta las posibilidades que ofrecen las técnicas de reutilización de frecuencias, y determinación de las características preferidas que deberán emplearse cuando se usen tales técnicas.

3. Determinación teórica y experimental de la relación señal deseada/señal interferente requerida para lograr una calidad de servicio especificada, con diversos tipos de señales deseadas e interferentes, en condiciones adecuadas de modulación y codificación, y para diversos tipos de desvanecimiento.

4. Técnicas de transmisión, recepción y modulación que permitirán reducir al mínimo la relación señal deseada/señal interferente requerida para lograr una calidad de servicio especificada.

5. Evaluación teórica y experimental de la forma en que puede mantenerse sensiblemente constante, y uniformemente baja, la densidad espectral de energía de radiofrecuencia de una transmisión telefónica multicanal con modulación de frecuencia, de una transmisión de televisión con modulación de frecuencia y de un sistema de modulación digital, cualquiera que sea el contenido de la señal moduladora; y evaluación de la reducción de la densidad máxima de potencia que permite obtener el empleo de esta técnica.

Nota. – Véanse las Recomendaciones 446 y 464, los Informes 212, 384, 559 y 867 y el Manual sobre telecomunicaciones por satélite (servicio fijo por satélite).

---

* Anteriormente, Programa de Estudios 2D-1/4 (Ginebra, 1982).

PROGRAMA DE ESTUDIOS 27B/4*

CARACTERÍSTICAS PREFERIDAS DE ACCESO MÚLTIPLE EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que los satélites del servicio fijo por satélite son utilizados simultáneamente por muchas estaciones terrenas situadas en distintas ubicaciones;

b) que varias administraciones emplean ya o tienen en proyecto diversos métodos de acceso múltiple, incluido el acceso múltiple por distribución en el tiempo (AMDT);

c) que para asegurar la eficaz utilización del espectro de frecuencias y de las órbitas, puede ser conveniente determinar las características óptimas del acceso múltiple;

d) que quizás sea útil recomendar ciertas características de los sistemas;

e) que las características de transmisión de los sistemas de acceso múltiple en particular los sistemas AMDT pueden ser importantes en su interacción recíproca,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Determinación de los métodos de acceso múltiple preferidos, teniendo en cuenta en particular la naturaleza de la red, los métodos de modulación y las diversas características básicas utilizadas en el servicio fijo por satélite.

2. Identificación de las características de los sistemas de acceso múltiple que puede ser útil recomendar como preferidas y, en su caso, selección de las características de explotación adecuadas.

Nota.– Véase el Manual sobre telecomunicaciones por satélite (servicio fijo por satélite).

PROGRAMA DE ESTUDIOS 27C/4**

UTILIZACIÓN DE LAS BANDAS DE FRECUENCIAS SUPERIORES A 10 GHz PARA LOS SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que para los sistemas del servicio fijo por satélite, regionales o mundiales, se necesitan bandas de frecuencias extensas;

b) que conviene examinar la posibilidad técnica de utilizar las bandas de frecuencias superiores a 10 GHz para los sistemas del servicio fijo por satélite;

c) que la utilización de las bandas de frecuencias superiores a 10 GHz para estos sistemas, planteará problemas técnicos especiales, por ejemplo, la influencia de las nubes y precipitaciones en la calidad de funcionamiento y en la fiabilidad de los sistemas,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Problemas técnicos de la utilización de las bandas de frecuencias superiores a 10 GHz para los sistemas del servicio fijo por satélite.

2. Técnicas especiales que pueden aplicarse para resolver estos problemas (como técnicas de transmisión adaptativas*** o por diversidad).

---

* Anteriormente, Programa de Estudios 2E-1/4 (Ginebra, 1982).

** Anteriormente, Programa de Estudios 2H-3/4 (Ginebra, 1982).

*** Se entiende por «técnicas adaptativas», los medios para modificar la velocidad de información transmitida o la potencia radiada por un enlace, para compensar las variaciones de la atenuación en el trayecto de transmisión.

3. Condiciones en que estas técnicas podrían resultar convenientes.

4. Condiciones en que los sistemas del servicio fijo por satélite podrían compartir con los servicios terrenales las bandas de frecuencias superiores a 10 GHz, y grado en que esta compartición sería posible.

5. Criterios que afectan a la determinación de las zonas de coordinación de estaciones terrenas que emplean técnicas especiales como la diversidad de emplazamientos y el control de la potencia de transmisión.

Nota.— Véanse los Informes 552 y 710.

CUESTIÓN 28/4*

FACTORES TÉCNICOS QUE INFLUYEN EN LA COORDINACIÓN Y EN LA EFICACIA DE UTILIZACIÓN DE LA ÓRBITA DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que la órbita de los satélites geoestacionarios presenta especial interés para las redes de radiocomunicación por satélite;

b) que las necesidades de servicio no son uniformes y pueden traducirse en diferentes características de los sistemas;

c) que, en tales sistemas, la eficacia de utilización del espectro y de la órbita estará determinada principalmente por las características técnicas empleadas, tales como las técnicas de modulación y de acceso múltiple, las técnicas de reutilización de frecuencias y la disposición de las portadoras de radiofrecuencia;

d) que esta órbita sólo puede contener un número limitado de redes de radiocomunicaciones por satélite que comparten las mismas bandas de frecuencias para un conjunto determinado de parámetros técnicos y que algunos arcos de esta órbita pueden suscitar gran demanda;

e) que, en la realización de sistemas de radiocomunicación por satélite, es muy importante prever procedimientos técnicos eficaces para la coordinación de esos sistemas;

f) que pueden requerirse diferentes criterios de interferencia y métodos de cálculo para diferentes combinaciones de portadoras asignadas en la misma banda de frecuencias,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Cuáles son las características técnicas preferidas de los sistemas de radiocomunicación por satélite que utilizan bandas de frecuencias del servicio fijo por satélite que afectan a la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios?

2. ¿Cuáles son los criterios técnicos apropiados para garantizar un desarrollo ordenado conducente a la utilización más eficaz y efectiva posible de la órbita de los satélites geoestacionarios?

3. ¿Hasta que punto sería posible y conveniente adoptar características técnicas preferidas para diferentes satélites geoestacionarios de radiocomunicación y estaciones terrenas diferentes, con el fin de mejorar la eficacia de utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios?

4. ¿Cuáles son los procedimientos y criterios de interferencia apropiados para la coordinación técnica (bilaterales y multilaterales) de los sistemas del servicio fijo por satélite?

Nota. — Véanse las Recomendaciones 466, 483, 484, 523, 524 y 870.

---

* Derivada de la antigua Cuestión 2-4/4 (Ginebra, 1982) y de los Programas de Estudios 2J-3/4, 2R/4 y 2V/4 (Ginebra, 1982).

PROGRAMA DE ESTUDIOS 28A/4*

FACTORES TÉCNICOS QUE INFLUYEN EN LA EFICACIA DE LA UTILIZACIÓN DE LA ÓRBITA DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS POR REDES DE SATÉLITES DE RADIOCOMUNICACIÓN QUE COMPARTEN BANDAS DE FRECUENCIAS ATRIBUIDAS AL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que la mayoría de los sistemas de satélites de radiocomunicación recientes utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios;

b) que aumenta rápidamente el número de los satélites situados en la órbita de los satélites geoestacionarios;

c) que la separación entre estos satélites está determinada por la necesidad de controlar las interferencias y que, si las características de los satélites son diferentes, el número de estos satélites que pueden acomodarse en un segmento determinado depende también de la forma en que estén dispuestos;

d) que pueden producirse interferencias en el enlace ascendente, en el enlace descendente y en el enlace directo entre satélites, y que estas interferencias dependen de cierto número de factores técnicos;

e) que estos factores son interdependientes y que es preciso definir las relaciones existentes entre ellos para poder establecer criterios adecuados que permitan la realización satisfactoria y el uso más racional posible de la órbita de los satélites geoestacionarios;

f) que la utilización de esta órbita será tanto más eficaz cuanto mayor sea la posibilidad de utilizar varias veces las mismas frecuencias en un satélite de radiocomunicación determinado o por varios satélites desde la misma ubicación orbital;

g) que podrían aprovecharse mejor la órbita de los satélites geoestacionarios y el espectro de frecuencias si las redes de satélites utilizasen sistemáticamente pares de bandas de frecuencias para los enlaces ascendente y descendente;

h) que la posibilidad de explotar satélites con pequeñas separaciones angulares puede verse limitada por las características del haz principal de la antena de la estación terrena;

j) que la Recomendación N.° 708 de la CAMR-79 recomienda que el CCIR estudie, o en su caso, siga estudiando los temas incluidos en este Programa de Estudios,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Características técnicas de los sistemas de satélites de radiocomunicación que utilizan bandas de frecuencias del servicio fijo por satélite, que afectan a la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios, y relación entre estas características, algunas de las cuales son las siguientes:

1.1 Características técnicas preferidas de las antenas transmisoras y receptoras para las estaciones terrenas y espaciales, incluida la pureza de la polarización (circular y lineal) que puede obtenerse en todas las partes pertinentes de los diagramas de radiación y la dirección de los planos de polarización en el caso de la polarización lineal, desde el punto de vista de compartición de frecuencias dentro de la misma red y con otras redes, habida cuenta de las características del haz principal y de los lóbulos laterales.

1.2 Valores óptimos de potencia o densidades de potencia que deben utilizarse en los transmisores instalados a bordo de satélites y en las estaciones terrenas, con objeto de facilitar la compartición de frecuencias entre redes.

1.3 Efectos que ejercen las características de la banda de base y de la modulación en la compartición de frecuencias entre redes.

1.4 Medida en que es posible y conveniente reducir los errores del mantenimiento en posición de los satélites y de la dirección de puntería de los haces de las antenas de satélite.

1.5 Medios técnicos que permiten maximizar el arco de servicio de un satélite.

2. Criterios técnicos aplicables para garantizar una realización satisfactoria conducente a la utilización más eficaz y racional de la órbita de los satélites geoestacionarios.

3. Condiciones y medida en que las estaciones espaciales del servicio fijo por satélite que operan en el mismo sistema, o en sistemas diferentes, podrían compartir las bandas de frecuencias preferidas.

---

* Derivado del antiguo Programa de Estudios 2J-3/4 (Ginebra, 1982).

4. Medida en que puede ser posible y conveniente adoptar características técnicas preferidas para satélites geoestacionarios de radiocomunicación diferentes y estaciones terrenas diferentes, con el fin de mejorar la eficacia de la utilización de esta órbita.

5. Características técnicas y principios de utilización recomendables para satélites geoestacionarios aislados que utilicen en los enlaces ascendente y descendente más de un par de bandas de frecuencias (incluido el caso de los satélites destinados a servicios múltiples), con objeto de aprovechar con mayor eficacia la órbita de los satélites geoestacionarios.

6. Medida en que puede ser conveniente utilizar por pares las bandas de frecuencias atribuidas a los enlaces ascendente y descendente del servicio fijo por satélite y, en su caso, recomendar los pares preferibles, a fin de mejorar la utilización general del espectro de frecuencias y de la órbita de los satélites geoestacionarios. Este estudio deberá tener en cuenta las diversas aplicaciones y las distintas atribuciones de frecuencias en las tres Regiones de la UIT.

7. Formas en que sería posible aumentar la eficacia de la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios y del espectro de frecuencias, admitiendo una contribución total de ruido debido a las interferencias procedentes de otras redes por satélite, superior a los valores indicados en la Recomendación 466. En este estudio debe tenerse en cuenta la posibilidad de que, en caso necesario, esta contribución total más elevada de ruido debido a las interferencias podría limitarse a las redes que utilicen satélites situados en las regiones congestionadas de la órbita; el estudio debiera incluir también, tanto la posibilidad de soslayar los problemas de interferencia debidos a la falta de homogeneidad de los parámetros de la red como las repercusiones de la interferencia externa en las redes de satélites en que se aplica una reutilización de frecuencias.

8. Factores que influyen en la utilización múltiple de las mismas frecuencias en un mismo satélite de radiocomunicación.

9. Criterios de compartición que permitirían explotar redes con satélites geoestacionarios y no geoestacionarios sin interferencia inaceptable.

Nota. – Véanse las Recomendaciones 466, 483, 484, 523 y 524 y los Informes 388, 453, 454, 455, 556, 557, 558, 559, 710, 711, 871, 875, 1000, 1001 y 1002.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 28B/4*

MÉTODOS DE COORDINACIÓN TÉCNICA DE LOS SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que el desarrollo de los sistemas de comunicación por satélite está sujeto a dificultades de instalación de nuevos satélites en ciertas partes de la órbita de los satélites geoestacionarios, debido a la creciente probabilidad de aparición de interferencia mutua;

b) que en el Reglamento de Radiocomunicaciones no se especifica un procedimiento técnico de coordinación de los sistemas de comunicación por satélite;

c) que actualmente se desarrollan numerosos métodos técnicos y de organización para aumentar la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios;

d) que no existen procedimientos normalizados para la coordinación técnica de los sistemas de comunicación por satélite;

e) que la CAMR-79 adoptó la Resolución N.º 3 relativa a la «Utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios y planificación de los servicios espaciales que la utilizan»,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Métodos de coordinación técnica de los sistemas de comunicación por satélite para diferentes combinaciones de acceso múltiple, de modulación y de dispersión de energía.

2. Elaboración de procedimientos para la coordinación técnica de los sistemas de comunicación por satélite sobre una base bilateral y multilateral.

Nota. – Véanse los Informes 870, 999 y 1003.

---

* Anteriormente, Programa de Estudios 2R/4 (Ginebra, 1982).

PROGRAMA DE ESTUDIOS 28C/4 *

CRITERIOS DE INTERFERENCIA Y MÉTODOS DE CÁLCULO PARA REDES DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE QUE UTILIZAN LA MODULACIÓN DIGITAL

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que la compartición de bandas de frecuencias entre el servicio fijo por satélite y otros servicios espaciales a quienes están también atribuidas a título primario con iguales derechos, requiere disponer de unos criterios de interferencia adecuados;

b) que la coordinación entre las redes del servicio fijo por satélite requiere la disponibilidad de unos criterios de interferencia adecuados;

c) que para los cálculos de interferencias, es necesario determinar los niveles de la señal interferente antes de la demodulación;

d) que el efecto total de la interferencia puede ser una función compleja de las características y de los niveles de potencia de las señales interferentes antes de la demodulación, de las características del demodulador y de la calidad de funcionamiento en ausencia de interferencia;

e) que los criterios de la Recomendación 523 son provisionales y se refieren a la protección de un sistema digital específico (telefonía MIC de 8 bits), aunque se requieren criterios más generalizados, a fin de abarcar otras señales digitales (por ejemplo, MICDA a 32 kbit/s, datos) y sistemas digitales de transmisión (por ejemplo, regeneración de la señal a bordo);

f) que es aconsejable que los textos del CCIR ofrezcan procedimientos sencillos para la relación entre, por una parte la interferencia o los criterios de interferencia y por otra los niveles de las señales interferentes,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Determinación de los métodos que permitan convertir los niveles de las señales interferentes antes de la demodulación en los efectos o los criterios de interferencia, reconociendo que la interferencia total dependerá de las características y número de las señales interferentes y de la anchura de banda de medición de las mismas y que los criterios de interferencia suelen especificarse para diversos porcentajes de tiempo.

2. Determinación de métodos para evaluar los efectos de una señal interferente, con objeto de establecer y aplicar criterios adecuados para la interferencia producida por una sola fuente.

3. Determinación de métodos para caracterizar las perturbaciones previas a la demodulación, distintas del ruido térmico (por ejemplo, interferencia entre símbolos, no linealidad), que puedan producir la conversión de los niveles de la señal interferente en efectos de interferencia después de la demodulación.

Nota. – Véanse la Recomendación 523 y el Informe 710.

CUESTIÓN 29/4 **

INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SATÉLITES EN LAS REDES DE TRANSMISIÓN DIGITAL

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que, para las redes de satélites, la transmisión digital presenta especial interés desde el punto de vista de la utilización eficaz del espectro de frecuencias;

b) que una conexión por satélite será un elemento importante de la red digital de servicios integrados (RDSI);

c) que, en un trayecto digital internacional de extremo a extremo, podrían preverse también por razones técnicas y de explotación enlaces internacionales y nacionales en cascada (incluido un enlace entre satélites);

---

* Anteriormente, Programa de Estudios 2V/4 (Ginebra, 1982).

** Preparada recientemente refiriéndose a los antiguos Programas de Estudios 2N-1/4 y 2Q/4 (Ginebra, 1982).

d) que, para los diversos servicios digitales pueden requerirse diferentes características de interfaz con las redes terrenales;

e) que el retardo de transmisión y el movimiento del satélite pueden repercutir en el diseño de las redes de transmisión de datos,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Cuáles son las características preferidas de los sistemas de satélites que ofrecen interés para las redes de transmisión digital?

2. ¿Cuáles son las repercusiones de múltiples saltos de satélite y de los enlaces entre satélites en los diversos tipos de servicios digitales?

3. ¿Cuáles son las características óptimas de los interfaces para la transmisión de diversos tipos de tráfico digital (por ejemplo, telefonía, televisión y datos)?

Nota. – Véanse las Recomendaciones 521, 522 y 614.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 29A/4*

CARACTERÍSTICAS DE LOS INTERFACES PARA ENLACES INTERNACIONALES DE TRANSMISIÓN DIGITAL EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que el CCITT sugiere una línea de demarcación entre los estudios de la Comisión de Estudio XVIII del CCITT y la Comisión de Estudio 4 del CCIR, en relación con los enlaces internacionales de transmisión digital;

b) que el CCITT ha establecido una serie de parámetros para los interfaces entre sistemas múltiplex primarios y de orden superior;

c) que los enlaces digitales por satélite deberán formar parte de una red digital internacional plesiócrona, así como de la red digital de servicios integrados (RDSI);

d) que los sistemas de satélite interconectarán con redes digitales en la estación terrena;

e) que las técnicas de interpolación digital de las señales vocales (DSI-«Digital Speech Interpolation») y de codificación a baja velocidad (LRE-«Low Rate Encoding») (por ejemplo, Recomendación G.721 del CCITT) cobran cada vez más importancia en las comunicaciones digitales por satélite;

f) que, para un satélite geoestacionario, el tiempo de transmisión de un extremo al otro del trayecto digital ficticio de referencia puede variar de forma significativa, debido al movimiento del satélite con relación a la Tierra;

g) que podrán necesitarse enlaces por satélite para la transmisión de señales de televisión digital;

h) que, en el futuro, pueden emplearse técnicas de conmutación y de proceso de las señales a bordo del satélite,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Determinar la repercusión que la LRE y la DSI (separadamente o combinadas) pudieran tener sobre las características de las comunicaciones vocales y de datos en los sistemas digitales por satélite.

2. Determinar la mejor manera de introducir las técnicas de LRE y DSI.

3. Identificar los diversos puntos en los cuales los sistemas digitales por satélite pudieran interconectar con una red digital y determinar las características de dichos interfaces.

4. Determinar los criterios de disponibilidad y calidad de funcionamiento (por ejemplo, temblores de fase, deslizamientos, errores digitales agrupados) en los interfaces pertinentes, y los métodos de codificación/decodificación que puedan necesitarse para la corrección de errores, si los hubiere, a fin de cumplir los criterios de calidad de funcionamiento.

---

* Derivada principalmente del antiguo Programa de Estudios 2N-1/4 (Ginebra, 1982).

5. Determinar qué clase de métodos de dispersión de energía (es decir, aleatorización) y/o cifrado son adecuados para los diferentes servicios.

6. Determinar la mejor manera de acomodar una memoria intermedia para compensar las variaciones de tiempo de propagación debidas al desplazamiento del satélite.

7. Determinar los diferentes trayectos digitales ficticios de referencia que resultarían de las características de los interfaces indicados en el § 3 de la parte dispositiva.

8. Determinar la repercusión, si la hubiere, de los servicios de la RDSI sobre el diseño de sistemas de satélites.

Nota. – Véanse las Recomendaciones 521, 522 y 614, los Informes 707 y 997 y el Ruego 56.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 29B/4*

INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DE SATÉLITES EN LAS REDES DE TRANSMISIÓN DE DATOS

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que los enlaces digitales por satélite formarán parte de una red digital internacional plesiócrona, así como de la red digital de servicios integrados (RDSI);

b) que el tiempo de transmisión de un extremo al otro puede tener importantes consecuencias en la calidad de transmisión de una red de datos;

c) que las características peculiares del satélite deben tomarse en consideración en el diseño de nuevas redes internacionales de datos,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Determinar las características de los sistemas de satélites que sean significativas para la transmisión de datos y estudiar las semejanzas y diferencias con las redes terrestres.

2. Repercusiones en las redes o servicios actuales de datos de factores relacionados con los sistemas de satélites, en particular el tiempo de propagación y su variación periódica diaria.

3. Soluciones que pueden adoptarse para paliar los posibles efectos negativos que los sistemas de satélites introduzcan en los servicios de datos ya existentes.

4. Sistemas de corrección de errores más apropiados para la transmisión de datos por satélite (es necesaria la coordinación con la Comisión de Estudio VII del CCITT).

5. Forma de integrar los sistemas de satélites en las redes internacionales de datos.

6. Servicios de alta velocidad que puede proporcinar el satélite y son comparables a las facilidades que ofrecen las redes terrenales.

7. Influencia de las características de los satélites multidestino y de acceso múltiple sobre la topología de las redes de datos.

8. Determinación de la medida en que se pueden tener en cuenta en el diseño de sistemas de satélites los protocolos estratificados de interconexión de sistemas abiertos (ISA).

9. Determinación de la repercusión, si la hubiere, de los servicios de la RDSI sobre el diseño de los sistemas de satélites.

Nota. – Véase la Recomendación 521.

---

* Derivada principalmente del antiguo Programa de Estudios 2Q/4 (Ginebra, 1982).

CUESTIÓN 30/4*

PROVISIÓN DE ENLACES DE CONEXIÓN** ENTRE ESTACIONES TERRENAS FIJAS Y ESTACIONES ESPACIALES DE DIVERSOS SERVICIOS EN BANDAS DE FRECUENCIAS ATRIBUIDAS AL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que actualmente pueden proporcionarse enlaces de conexión entre estaciones terrenas fijas y estaciones espaciales de cualquier servicio de radiocomunicación espacial en bandas de frecuencias atribuidas al servivio fijo por satélite (número 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones sobre enlaces de conexión);

b) que ciertas atribuciones al servicio fijo por satélite en el sentido Tierra-espacio están exclusivamente destinadas a suministrar enlaces de conexión con estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite;

c) que, salvo en lo que respecta al apartado *b)*, en las atribuciones de frecuencias al servicio fijo por satélite no se hace, en general, diferencia alguna entre las diversas aplicaciones posibles de dichas bandas;

d) que, para ciertas aplicaciones, algunos enlaces de conexión deberán establecerse en un solo sentido, por lo que utilizan de manera ineficaz las atribuciones de frecuencias del servicio fijo por satélite para ambos sentidos;

e) que en la planificación de los servicios espaciales hay que prever debidamente los enlaces de conexión;

f) que las características técnicas de los enlaces de conexión pueden ser muy distintas de las de los enlaces propios del servicio fijo por satélite y pueden provocar una falta de homogeneidad en algunas bandas de este servicio;

g) que puede ser aconsejable desde los puntos de vista técnico y de explotación que todos los satélites de un sistema utilicen bandas determinadas de frecuencia para los enlaces de conexión, independientemente de su ubicación orbital o de la fecha de entrada en servicio;

h) que la instalación de grandes estaciones espaciales con integración de diversos servicios puede ser el día de mañana una interesante posibilidad para la utilización del espectro atribuido a los servicios espaciales;

j) que la Recomendación N.º 61 de la CAMR-79 invita al CCIR a que siga estudiando normas técnicas para la evolución de la interferencia perjudicial y a que recomiende criterios técnicos para las bandas de frecuencias superiores a 28 MHz, atribuidas a servicios de radiocomunicación espacial, de radiocomunicación terrenal y de radioastronomía interesados, a fin de que la IFRB y las administraciones puedan ponerlos en aplicación,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Cuáles son las características técnicas de los sistemas de los diversos servicios espaciales que influyen en la anchura de banda necesaria y en la elección de las bandas de frecuencias para los enlaces de conexión, y cuáles son las características técnicas deseables de esos enlaces?

2. ¿Qué ventajas y desventajas técnicas tiene la provisión de enlaces de conexión en bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite y qué disposiciones especiales aumentarían su utilidad cuando se utilizan atribuciones del servicio fijo por satélite?

---

* Esta Cuestión debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 2, 7, 8, 9, 10 y 11. Anteriormente, Cuestión 26-1/4 (Ginebra, 1982).

** Un enlace de conexión puede constar de un enlace ascendente o de un enlace descendente, o de ambos, según las necesidades de cada servicio espacial (véase su definición completa en el número 109 del Reglamento de Radiocomunicaciones).

3. ¿Qué otras disposiciones pueden ser aconsejables o necesarias para los enlaces de conexión y qué factores técnicos podrían influir en una decisión sobre la adaptabilidad del espectro de frecuencias para enlaces de conexión con satélites de algún servicio determinado, por ejemplo:

3.1 dificultades de compartición;

3.2 interferencia de la banda adyacente;

3.3 limitaciones debidas a la propagación?

4. ¿Qué dificultades y ventajas técnicas y de explotación presenta la provisión de enlaces de conexión en relación con la coexistencia de subsistemas de diversos servicios a bordo de la misma estación espacial?

5. ¿Qué otros factores técnicos o de explotación influirán en la provisión concreta de enlaces de conexión en los diversos servicios espaciales o se verán afectados por ella?

Nota. – Véase el Informe 561.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 30A/4*

ENLACES DE CONEXIÓN PARA LAS ESTACIONES ESPACIALES DEL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que, según el Reglamento de Radiocomunicaciones, los enlaces Tierra-espacio utilizados como enlaces de conexión para el servicio de radiodifusión por satélite forman parte del servicio fijo por satélite;

b) que la frecuencia y las características técnicas de estos enlaces de conexión pueden depender de las características técnicas del satélite de radiodifusión, aunque es preciso tener también en cuenta los riesgos de interferencia con satélites del servicio fijo que establecen enlaces entre puntos determinados de la Tierra;

c) que el servicio fijo por satélites tiene atribuidas ciertas bandas de frecuencias para los dos sentidos Tierra-espacio y espacio-Tierra;

d) que las limitaciones impuestas a los sistemas del servicio de radiodifusión por satélite pueden influir en la eficacia con que se utilicen las bandas de frecuencias del servicio fijo por satélite para los enlaces entre estaciones terrenas;

e) que las bandas de frecuencias 10,7 a 11,7 GHz (Tierra-espacio, Región 1), 14,5 a 14,8 GHz (Tierra-espacio, todas las Regiones excepto Europa menos Malta) y 17,3 a 18,1 GHz (Tierra-espacio, todas las Regiones) están destinadas a los enlaces de conexión del servicio de radiodifusión por satélite;

f) que las bandas de frecuencias 10,7 a 11,7 GHz y 17,7 a 18,1 GHz en el sentido Tierra-espacio destinadas a los enlaces de conexión con el servicio de radiodifusión por satélite se comparten con los servicios fijo, móvil y fijo por satélite (espacio-Tierra);

g) que la instalación, en el futuro, de grandes estaciones espaciales que cursen señales de diversos servicios puede ser una interesante posibilidad para la utilización del espectro atribuido a los servicios espaciales;

h) que en las Resoluciones N.os 3, 101, 701 y en la Recomendación N.º 64 de la CAMR-79 se piden nuevos estudios sobre este tema;

j) que en la Recomendación N.º 101 de la CAMR-79 se pide el estudio específico de este tema,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Determinación de la idoneidad desde los puntos de vista técnico y operacional, de las bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite (Tierra-espacio), distintas de las que se indican en el punto *e)* para su utilización como enlaces de conexión con satélites de radiodifusión.

2. Determinación de las características técnicas, por ejemplo, desviación de frecuencia y preacentuación, y los principios de utilización que han de recomendarse para la realización de dichos enlaces de conexión, teniendo en cuenta las exigencias especiales del servicio de radiodifusión por satélite. (Las exigencias del servicio de radiodifusión por satélite se tratan en el Programa de Estudios 2J/10 y 11.)

---

* Este Programa de Estudios se señala a la atención de las Comisiones de Estudio 1, 8, 9, 10 y 11, a las que también se transmitirán las conclusiones. Anteriormente, Programa de Estudios 2K-3/4 (Ginebra, 1982).

3. Determinación de las condiciones y los criterios necesarios para la utilización compartida de bandas de frecuencias entre enlaces de conexión con satélites de radiodifusión y otros enlaces Tierra-espacio o espacio-Tierra del servicio fijo por satélite o con servicios terrenales, teniendo en cuenta las exigencias y limitaciones de los diversos tipos de sistemas.

4. Determinación de las características técnicas y otros aspectos de los enlaces de conexión que facilitarían la coexistencia o integración de los subsistemas de satélites de radiodifusión que los utilizan con subsistemas de otros servicios espaciales, sobre todo subsistemas del servicio fijo por satélite, a bordo de la misma estación espacial.

Nota. – Véanse los Informes 561 y 1006.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 30B/4*

UTILIZACIÓN DE ESTACIONES TERRENAS TRANSMISORAS TRANSPORTABLES EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE, INCLUYENDO LOS ENLACES DE CONEXIÓN CON SATÉLITES DE RADIODIFUSIÓN

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que la introducción de estaciones terrenas transmisoras transportables es necesaria para la explotación de la televisión y constituye una solución técnica satisfactoria a los problemas del reportaje en televisión;

b) que sería conveniente revisar los balances de enlace para los trayectos ascendente y descendente en vista de las restricciones debidas al pequeño tamaño de las antenas de una estación terrena transmisora transportable;

c) que tal vez haya que dar las facilidades necesarias para transmitir simultáneamente señales auxiliares para la explotación de las estaciones terrenas transmisoras transportables, y que dichas señales pueden influir en los problemas de interferencia;

d) que la utilización de estaciones terrenas transmisoras transportables en un lugar determinado tiene carácter ocasional y temporal;

e) que la necesidad de poner las estaciones terrenas transmisoras transportables en servicio rápidamente es incompatible con los larguísimos preavisos normalmente aceptables para la coordinación de estaciones del servicio fijo,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Estudio de la concepción global de enlaces que utilicen estaciones terrenas transmisoras transportables para diversos usos en el servicio fijo por satélite incluyendo reportajes en televisión y enlaces de conexión con satélites de radiodifusión.

2. Determinación de las características y los procedimientos de explotación que se han de recomendar para las estaciones terrenas transmisoras transportables.

3. Problemas de interferencias causados por la transmisión de señales auxiliares que pueden ser necesarias para el funcionamiento de estaciones terrenas transportables.

4. Determinación de las bandas de frecuencia preferidas para el funcionamiento de las estaciones terrenas transmisoras transportables, habida cuenta de que muchas bandas están compartidas con servicios terrenales.

5. Estudio de las posibilidades de reducir la radiación fuera del lóbulo principal para las antenas de pequeño diámetro (D/λ inferior a 150).

6. Determinación, llegado el caso, de los criterios específicos de interferencia, teniendo en cuenta en particular el punto *d)*.

Nota. – Véase también el Programa de Estudios 13G/CMTT.

---

* Este Programa de Estudios debe señalarse a la atención de la CMTT y de las Comisiones de Estudio 9, 10 y 11.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 30C/4*

ENLACES DE CONEXIÓN DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE CON ESTACIONES ESPACIALES DE DIVERSOS SERVICIOS MÓVILES POR SATÉLITE

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que según el Reglamento de Radiocomunicaciones los enlaces Tierra-espacio y espacio-Tierra utilizados para enlaces de conexión entre estaciones terrenas fijas y un satélite de un servicio móvil pueden preverse también en el servicio fijo por satélite (número 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones);

b) que, en vista de la escasa anchura de las bandas de frecuencias atribuidas a los servicios móviles por satélite, es muy probable que para esos enlaces de conexión se utilicen bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo por satélite;

c) que las frecuencias y las características técnicas de tales enlaces de conexión pueden depender de las características técnicas de las redes de los diversos servicios móviles por satélite, pero que deben también tener en cuenta los riesgos de interferencia con las redes del servicio fijo por satélite que aseguran enlaces entre puntos determinados de la Tierra;

d) que las exigencias impuestas al sistema del servicio móvil por satélite de que se trate pueden influir en la eficacia de utilización de las bandas de frecuencias del servicio fijo por satélite para las comunicaciones entre estaciones fijas;

e) que puede resultar interesante, en el futuro, usar grandes estaciones espaciales que integren varios servicios para la utilización del espectro atribuido a los servicios espaciales,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Bandas de frecuencias** atribuidas al servicio fijo por satélite que serían técnicamente apropiadas para los enlaces de conexión con satélites de los servicios móviles y, en caso necesario, frecuencias dentro de esas bandas que pueden considerarse para tal fin.

2. Características técnicas y principios de utilización de esos enlaces sobre la base de las exigencias especiales de los servicios móviles por satélite.

3. Medida en que una banda de frecuencias puede compartirse entre enlaces de conexión de uno o más servicios móviles por satélite y otros enlaces del servicio fijo por satélite, sobre la base de las exigencias y requisitos impuestos a ambos tipos de sistemas y las condiciones de esa compartición de frecuencias.

4. Características técnicas y otros aspectos de los enlaces de conexión que facilitarían la integración de sistemas de comunicaciones de varios servicios móviles por satélite a bordo de la misma estación espacial.

Nota. – Véase el Informe 561.

CUESTIÓN 31/4***

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DEL SERVICIO ENTRE SATÉLITES UTILIZADOS POR EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE Y PROBLEMAS DE COMPARTICIÓN CON OTROS SERVICIOS

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que los enlaces del servicio entre satélites (enlaces entre satélites) podrían utilizarse extensivamente por el servicio fijo por satélite;

b) que el uso de enlaces entre satélites podría facilitar y mejorar la interconexión de estaciones terrenas del servicio fijo por satélite, particularmente en los casos en que fuese difícil o imposible lograr la visibilidad mutua con un solo satélite geoestacionario;

---

* Este Programa de Estudios debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 8. Anteriormente, Programa de Estudios 2M-1/4 (Ginebra, 1982).

** Tales estudios no son necesarios cuando una banda de frecuencias del servicio fijo por satélite está atribuida también a un servicio móvil por satélite.

*** Preparada recientemente refiriéndose sobre todo al antiguo Programa de Estudios 2P-1/4 (Ginebra, 1982).

c) que puede ser conveniente utilizar enlaces entre satélites para la interconexión entre satélites de diferentes redes;

d) que pueden requerirse, en una estación espacial, bandas de frecuencias suplementarias para transmisión y recepción cuando en el servicio fijo por satélite se empleen enlaces entre satélites;

e) que la interferencia es un factor importante, especialmente desde el punto de vista de la eficacia de utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios y de la compartición de bandas de frecuencias con sistemas terrenales;

f) que las tolerancias, aplicables tanto al mantenimiento en posición como al control de actitud del satélite y las características de los diagramas de radiación de las antenas de los enlaces entre satélites influirán en el nivel de interferencia entre los enlaces entre satélites de diferentes redes del servicio fijo por satélite que utilicen las mismas frecuencias;

g) que las características de los enlaces entre satélites variarán con arreglo a las distancias sobre las cuales deban operar y según los fines a que se destinen;

h) que la CAMR-79 otorgó nuevas atribuciones al servicio entre satélites en bandas de frecuencias compartidas con otros servicios;

j) que el informe de la primera reunión para la planificación de la órbita (CAMR-ORB-85), celebrada en virtud de las disposiciones de las Resoluciones N.^{os} 3 y 703, y las Recomendaciones N.^{os} 64 y 61 de la CAMR-79, puede ser útil en el estudio de las características técnicas de los enlaces entre satélites y de los aspectos relativos a su compartición de frecuencias,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Cuáles son las finalidades y condiciones en las que sería necesario o conveniente emplear enlaces entre satélites?

2. ¿Cuáles son las bandas de frecuencias y características preferidas desde el punto de vista técnico, para los enlaces entre satélites (por ejemplo, microondas, ondas milimétricas u ondas ópticas)?

3. ¿Qué modificaciones habría que introducir, en su caso, en los objetivos de calidad del circuito para tener en cuenta la posibilidad de que se utilicen enlaces entre satélites?

4. ¿Qué efectos ejercen el retardo de transmisión adicional y las variaciones del retardo, introducidos por un enlace entre satélites, en las características de los sistemas de transmisión?

5. ¿Qué objetivos debieran establecerse en materia de disponibilidad del circuito para los trayectos de transmisión que incluyen un enlace entre satélites?

6. ¿Qué criterios influyen en la reutilización de frecuencias y en la interferencia entre redes por satélite que utilizan enlaces entre satélites y funcionan en las mismas frecuencias?

7. ¿En qué medida la presencia de un enlace entre satélites afecta a las características de los enlaces espacio-Tierra y Tierra-espacio asociados y, en consecuencia, posibilidad de que resulten afectados de alguna manera los criterios de compartición con otros servicios espaciales y terrenales?

8. ¿Cuáles son las técnicas preferidas de modulación, incluida la regeneración u otro tratamiento de las señales que pueda utilizarse, en los satélites de los sistemas que emplean enlaces entre satélites?

9. ¿Cuáles son los criterios de compartición entre el servicio entre satélites y otros servicios?

10. ¿En qué forma se puede tener en cuenta la presencia de enlaces entre satélites al evaluar la eficacia de utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios?

11. ¿Qué problemas de orientación de las antenas plantean los enlaces entre satélites?

12. ¿Cuáles son las características técnicas preferidas de los enlaces entre satélites para diferentes disposiciones de éstos (por ejemplo, agrupaciones de satélites o satélites muy separados entre sí)?

Nota. – Véanse los Informes 451, 872, 874 y 951.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 31A/4*

COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE EL SERVICIO ENTRE SATÉLITES CUANDO ES UTILIZADO PARA ENLACES DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE Y LOS SERVICIOS DE RADIOCOMUNICACIÓN TERRENALES

(Cuestión 31/4)

(1986)

EL CCIR,

CONSIDERANDO

a) que algunas bandas de frecuencias están atribuidas en régimen de compartición al servicio entre satélites y a algunos servicios de radiocomunicación terrenal;

b) que la CAMR-79, en su Recomendación N.° 710, ha pedido al CCIR que estudie los criterios de compartición aplicables entre el servicio de radiolocalización y el servicio entre satélites en las bandas 59 a 64 GHz y 126 a 134 GHz, en las cuales pueden funcionar los radares a bordo de aeronaves del servicio de radiolocalización a reserva de no causar interferencia perjudicial al servicio entre satélites;

c) que la CAMR-79, en su Recomendación N.° 709, ha pedido al CCIR que estudie los criterios de compartición aplicables entre el servicio móvil aeronáutico y el servicio entre satélites en las bandas 54,25 a 58,2 GHz, 59 a 64 GHz, 116 a 134 GHz, 170 a 182 GHz y 185 a 190 GHz, en las cuales pueden funcionar las estaciones del servicio móvil aeronáutico a reserva de no causar interferencia perjudicial al servicio entre satélites;

d) que la CAMR-79, en su Recomendación N.° 707, ha pedido al CCIR que estudie los criterios de compartición aplicables entre el servicio de radionavegación y el servicio entre satélites en la banda 32 a 33 GHz,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Criterios de compartición de frecuencias entre el servicio de radiolocalización y el servicio entre satélites cuando es utilizado para enlaces del servicio fijo por satélite en las bandas 59 a 64 GHz y 126 a 134 GHz.

2. Criterios de compartición de frecuencias entre el servicio móvil aeronáutico y el servicio entre satélites cuando es utilizado para enlaces del servicio fijo por satélite en las bandas 54,25 a 58,2 GHz, 59 a 64 GHz, 116 a 134 GHz, 170 a 182 GHz y 185 a 190 GHz.

3. Criterios de compartición de frecuencias entre el servicio de radionavegación y el servicio entre satélites cuando es utilizado para enlaces del servicio fijo por satélite en la banda 32 a 33 GHz.

Nota. – Véase el Informe 791.

CUESTIÓN 32/4**

COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE Y DE LOS SERVICIOS TERRENALES

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que, en atención a la conservación del espectro, se han atribuido muchas bandas de frecuencias en régimen de compartición al servicio fijo por satélite y a los servicios terrenales;

b) que, en la mayoría de los casos, esos sistemas podrían compartir bandas de frecuencias eficazmente;

---

* Este Programa de Estudios debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 2 y 8. Anteriormente, Programa de Estudios 2S/4 (Ginebra, 1982).

** Preparada recientemente a partir del antiguo Programa de Estudios 2A-4/4 (Ginebra, 1982).

c) que las posibilidades de realizar y aplicar en el futuro sistemas de ambos tipos de servicio dependen, en gran parte, de la forma en que comparten las bandas de frecuencias;

d) que el empleo de sistemas del servicio fijo por satélite, que pueden incluir enlaces entre satélites y enlaces de conexión con satélites de otros servicios de radiocomunicaciones, entrañará una utilización mucho mayor del espectro radioeléctrico atribuido;

e) que conviene asimismo estudiar las condiciones para una compartición eficaz de frecuencias entre los sistemas de relevadores radioeléctricos y los sistemas del servicio fijo por satélite;

f) que conviene estudiar las condiciones de compartición de frecuencias entre los enlaces entre satélites del servicio fijo por satélite y los servicios terrenales;

g) que en la Resolución N.° 101 de la CAMR-79 se invita al CCIR a estudiar y determinar, con carácter de urgencia, criterios idóneos de compartición entre los servicios fijo y móvil y los enlaces de conexión con satélites de radiodifusión;

h) que la utilización de técnicas de reducción y cancelación de las interferencias puede hacer que la compartición de frecuencias entre el servicio fijo por satélite y los servicios terrenales sea más eficaz,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Bajo qué condiciones y en qué medida pueden los sistemas del servicio fijo por satélite compartir las bandas de frecuencias con los servicios terrenales?

2. ¿Qué criterios influyen en la selección de ubicaciones para las estaciones del servicio fijo por satélite y para las estaciones de servicios terrenales, habida cuenta de las características de las diversas bandas de frecuencias en las que estos servicios comparten, o pueden compartir, atribuciones?

3. ¿Cuáles son las características técnicas preferidas para las antenas transmisora y receptora de las estaciones terrenas situadas en ubicaciones fijas, desde el punto de vista de la compartición de frecuencias con los servicios terrenales de radiocomunicación?

4. ¿Cuáles son los factores que determinan la potencia máxima o densidad de flujo de potencia máxima, que puede radiar una estación terrena en la dirección del horizonte?

5. ¿Qué factores determinan el ángulo mínimo de elevación del haz de la antena de las estaciones terrenas?

6. ¿En qué medida puede aprovecharse, o proporcionarse por medios artificiales, la protección electromagnética entre las estaciones terrenas y las estaciones de otros servicios terrenales de radiocomunicación?

7. ¿Qué criterios son los aplicables para determinar la separación geográfica mínima posible entre las ubicaciones de estaciones de relevadores radioeléctricos y las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite, cuando cualquiera de esas estaciones pueda transmitir y recibir y utilizar cualquier tipo de modulación?

8. ¿Qué factores influyen en la densidad de flujo de potencia máxima admisible en una banda de referencia que pueden producir en la superficie de la Tierra las emisiones de estaciones espaciales del servicio fijo por satélite?

9. ¿Qué criterios son apropiados para la compartición de bandas de frecuencias entre enlaces entre satélites del servicio fijo por satélite y servicios terrenales?

10. ¿Qué criterios son adecuados para la compartición de bandas de frecuencias entre los servicios fijo y móvil terrenales y los enlaces de conexión con satélites de radiodifusión?

11. ¿Qué criterios son aplicables para determinar la p.i.r.e. máxima admisible en la dirección de la órbita de los satélites geoestacionarios, de las estaciones de relevadores radioeléctricos terrenales, con vistas a la compartición con el servicio fijo por satélite?

12. ¿Cuáles son los métodos preferidos para la reducción y cancelación de las interferencias en las estaciones terrenales del servicio fijo por satélite y cuáles son las características técnicas de estos métodos?

Nota. – Véanse las Recomendaciones 355, 356, 357, 359, 406, 558 y 615 y los Informes 209, 382, 385, 387, 388, 393, 448, 449, 709, 790, 791, 792, 793, 876, 877, 1005 y 1006.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 32A/4

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PREFERIDAS Y ELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO DE LAS ESTACIONES TERRENAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE PARA FACILITAR LA COMPARTICIÓN CON LOS SERVICIOS TERRENALES

(1986)

EL CCIR,

CONSIDERANDO

a) que las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite y las estaciones de los servicios terrenales pueden interferirse mutuamente cuando comparten una banda de frecuencias;

b) que la separación física necesaria entre las dos clases de estación es un factor importante para la eficacia de la compartición;

c) que el apantallamiento de la ubicación es un medio eficaz para reducir la separación física necesaria entre las dos clases de estación;

d) que la geometría de puntería de los haces de las antenas y la posición relativa de las estaciones terrenas y terrenales influyen también en la separación entre los dos tipos de estación;

e) que los sistemas terrenales suelen comprender una serie de enlaces en cascada o conectados en nodos y que sus estaciones suelen estar ubicadas sobre elevaciones del terreno,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Técnicas apropiadas y criterios técnicos aplicables para seleccionar las características del emplazamiento de las estaciones terrenas y la naturaleza de las ubicaciones, con objeto de minimizar la separación física entre el emplazamiento de éstas y las estaciones de los servicios terrenales.

2. Técnicas adecuadas para proporcionar y evaluar el apantallamiento artificial de las ubicaciones.

Nota. – Véase el Informe 385.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 32B/4

TÉCNICAS DE SUPRESIÓN Y REDUCCIÓN DE LA INTERFERENCIA PARA LAS ESTACIONES TERRENAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1986)

EL CCIR,

CONSIDERANDO

a) que la interferencia causada por estaciones transmisoras de servicios terrenales a estaciones terrenas receptoras del servicio fijo por satélite influye en la eficacia de la compartición de frecuencias entre los dos tipos de servicio;

b) que la utilización de medios para reducir la interferencia podría mejorar considerablemnte la eficacia de la compartición,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Técnicas adecuadas para reducir, eliminar o hacer menos perjudicial la interferencia recibida en una estación terrena.

2. Condiciones en que esas técnicas tendrían una eficacia máxima, magnitud de la mejora prevista y sus limitaciones.

Nota. – Véase el Informe 875.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 32C/4

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PREFERIDAS DE LAS ESTACIONES ESPACIALES DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE PARA FACILITAR LA COMPARTICIÓN CON LOS SERVICIOS TERRENALES

(1986)

EL CCIR,

CONSIDERANDO

a) que las emisiones procedentes de las estaciones espaciales del servicio fijo por satélite pueden causar interferencia a las estaciones receptoras de los servicios terrenales en las bandas de frecuencias compartidas por ambos tipos de servicio;

b) que no es práctico efectuar la coordinación entre las numerosas estaciones terrenales y estaciones espaciales existentes y que, por tanto, los criterios de compartición deben ser tales que eviten la necesidad de una coordinación detallada;

c) que, al elaborar tales criterios de compartición, deben tenerse en cuenta los requisitos técnicos y de explotación de las redes del servicio fijo por satélite, así como los requisitos de los servicios terrenales y las disposiciones que puedan tomarse en ambos servicios,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Criterios de compartición que proporcionarían a los servicios terrenales protección adecuada contra una interferencia inadmisible de las emisiones de estaciones espaciales del servicio fijo por satélite en las bandas de frecuencia compartidas, de forma que no sea necesaria una coordinación detallada entre las estaciones espaciales y terrenales.

2. Características técnicas de las estaciones espaciales que cumplen tales criterios de compartición, teniendo en cuenta las condiciones técnicas y de explotación de tales estaciones cuando forman parte de redes.

Nota. – Véanse la Recomendación 358 y el Informe 387.

CUESTIÓN 33/4*

COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE Y OTROS SERVICIOS ESPACIALES

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que en diversas bandas de frecuencias se han hecho atribuciones tanto al servicio fijo por satélite como a otros servicios distintos de los terrenales;

b) que la mayoría de los sistemas del servicio fijo por satélite utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios, mientras que algunos de los otros servicios espaciales utilizan principalmente órbitas de satélites geoestacionarios;

c) que las características técnicas de las redes del servicio fijo por satélite pueden ser muy diferentes de las de otros servicios espaciales, especialmente en cuanto a la p.i.r.e. de la estación espacial;

d) que los sensores de los servicios pasivos suelen ser vulnerables a las emisiones interferentes de las estaciones terrenas y espaciales del servicio fijo por satélite;

e) que, aunque en ciertos casos las bandas atribuidas a los servicios espaciales difieren según las Regiones, la órbita de los satélites geoestacionarios es un recurso común de todas las Regiones;

f) que en el número 2613 del Reglamento de Radiocomunicaciones se hace referencia a la compartición entre estaciones espaciales instaladas a bordo de satélites no geoestacionarios y satélites geoestacionarios del servicio fijo por satélite,

---

* Preparada recientemente refiriéndose a los antiguos Programas de Estudios 2T/4 y 2U/4 (Ginebra, 1982).

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Qué criterios influyen en la compartición de frecuencias a la luz del número 2613 del Reglamento de Radiocomunicaciones, entre sistemas del servicio fijo por satélite que utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios y sistemas de otros servicios espaciales que no utilizan dicha órbita?

2. Qué criterios influyen en la compartición de frecuencias entre sistemas del servicio fijo por satélite y otros servicios espaciales cuando unos y otros utilizan la órbita de los satélites geoestacionarios?

3. ¿Cuáles son las características técnicas y de explotación preferidas de los sistemas del servicio fijo por satélite a los efectos de protección contra la interferencia ocasionada por sistemas que utilizan emisiones impulsivas como las del servicio de radiodeterminación por satélite (activa)?

4. ¿Cuáles son los criterios aplicables a la compartición de frecuencias entre sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio de radiodifusión por satélite, incluso en los casos en que dan servicios a diferentes Regiones?

5. ¿Cuáles son las restricciones mínimas y máximas aplicables a los sistemas del servicio fijo por satélite para facilitar la compartición con sensores pasivos?

Nota. – Véanse los Informes 560, 712, 873 y 874.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 33A/4*

COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE Y EL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que la CAMR-79 atribuyó bandas de frecuencias comunes al servicio fijo por satélite y al servicio de radiodifusión por satélite;

b) que algunas de esas atribuciones corresponden a Regiones distintas, pero la órbita de los satélites geoestacionarios es un recurso común, para beneficio de todas las Regiones;

c) que las características técnicas de las redes de los dos servicios pueden diferir totalmente, sobre todo con respecto a la p.i.r.e. de las estaciones espaciales;

d) que en las Resoluciones N.^{os} 700 y 34 de la CAMR-79 se pide que se estudien con carácter de urgencia los aspectos específicos de la compartición entre el servicio fijo por satélite y el servicio de radiodifusión por satélite;

e) que en la Recomendación N.° 708 de la CAMR-79 se pide que se estudien, o que se sigan estudiando, las condiciones de compartición de frecuencias en las bandas atribuidas por dicha Conferencia al servicio de radiodifusión por satélite,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Criterios que influyen en la compartición de frecuencias y en la interferencia entre sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio de radiodifusión por satélite.

2. Características técnicas y de explotación de los sistemas del servicio fijo por satélite que pueden facilitar la compartición entre los dos servicios.

3. Aspectos técnicos y de explotación relativos concretamente al problema de la compartición de frecuencias entre los dos servicios, cuando correspondan a Regiones distintas.

Nota. – Véanse los Informes 809 y 873.

---

* Este Programa de Estudios debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 10 y 11. Anteriormente Programa de Estudios 2T/4 (Ginebra, 1982).

PROGRAMA DE ESTUDIOS 33B/4 *

COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE, EL SERVICIO DE EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE (SENSORES PASIVOS) Y EL SERVICIO DE INVESTIGACIÓN ESPACIAL (SENSORES PASIVOS)

(1986)

EL CCIR,

CONSIDERANDO

a) que en diversas bandas de frecuencias se han hecho atribuciones a los servicios de exploración de la Tierra por satélite y de investigación espacial para el funcionamiento de los sensores pasivos a bordo de vehículos espaciales;

b) que las atribuciones en la banda 18,6 a 18,8 GHz están compartidas con los servicios fijo, móvil (salvo móvil aeronáutico) y fijo por satélite;

c) que la aplicación de los criterios de compartición contenidos en el Informe 694 puede limitar el desarrollo de los servicios fijo, móvil (salvo móvil aeronáutico) y fijo por satélite,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Reexamen del contenido del Informe 694 por todas las Comisiones de Estudio interesadas (sobre todo por las Comisiones de Estudio 4 y 9).

2. Restricciones que podrían aplicarse al servicio fijo por satélite (espacio-Tierra) para garantizar un funcionamiento satisfactorio de los sensores pasivos.

3. Restricciones máximas que puede tolerar el servicio fijo por satélite, sin comprometer el funcionamiento de este servicio.

Nota. – La compartición de frecuencias entre el servicio fijo (sistemas de relevadores radioeléctricos) y los servicios de exploración de la Tierra por satélite y de investigación espacial es objeto del Programa de Estudios 17D/9. Las necesidades de los sensores pasivos en la banda de frecuencias 18,6 a 18,8 GHz se examinan en la nota del § 8 de la Recomendación 595, relativa al servicio fijo (sistemas de relevadores radioeléctricos digitales) que opera en la banda 17,7 a 19,7 GHz.

CUESTIÓN 7-2/4

VARIACIONES DE LA TRANSMISIÓN EN LA BANDA DE BASE, TIEMPO DE PROPAGACIÓN, ECOS Y DISCONTINUIDADES DEBIDAS A CONMUTACIONES EN LOS SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1962-1963-1970-1974-1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que para las telecomunicaciones pueden utilizarse satélites que graviten en órbitas de diferente altitud;

b) que, dadas las distancias recorridas por las señales y la velocidad finita de las ondas radioeléctricas, el empleo de satélites de la Tierra en las telecomunicaciones introduce un retardo en la transmisión;

c) que pueden presentarse también ecos debidos, por ejemplo, a defectos de adaptación de impedancia en los equipos terminales 4/2 hilos exteriores al enlace por satélite;

---

* Este Programa de Estudios debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 2. Anteriormente, Programa de Estudios 2U/4 (Ginebra, 1982).

d) que si son excesivas o demasiado frecuentes las discontinuidad es de tiempo imputables a la conmutación de las señales entre satélites, en el caso de sistemas no sincrónicos, pueden ocasionar dificultades en la transmisión de señales de telefonía, de telegrafía, de televisión, etc.;

e) que los tiempos de propagación admisibles, los niveles de los ecos, las discontinuidades de conmutación y las variaciones de atenuación y de frecuencia debidas, entre otros fenómenos, al efecto Doppler, son puntos sobre los cuales corresponde decidir al CCITT (o a la CMTT en el caso de la televisión);

f) que los valores admisibles del tiempo de propagación pueden ejercer gran influencia en los precios de instalación y mantenimiento de los sistemas del servicio fijo por satélite;

g) que frente al aumento de cobertura que se obtiene con menos satélites de elevada altitud, hay también un aumento de tiempo de propagación, en relación con el uso de satélites de baja altitud;

h) que los futuros sistemas del servicio fijo por satélite pueden utilizar el procesamiento o la regeneración de la señal a bordo del satélite, en cuyo caso son posibles retardos;

j) que es posible que algunos servicios digitales no se vean afectados por el retardo de transmisión a través del satélite y que pueden necesitarse estudios ulteriores,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Qué tiempo de propagación y qué discontinuidades debidas a conmutaciones pueden esperarse con los diferentes tipos de sistemas del servicio fijo por satélite?

2. ¿Qué métodos podrían utilizarse, dentro de un mismo sistema de satélites, para reducir o evitar las variaciones del tiempo de propagación y las discontinuidades debidas a la conmutación en el caso de sistemas de satélites no sincrónicos?

3. ¿Qué variaciones de atenuación y qué variaciones residuales de frecuencia cabe esperar en la banda de base para los distintos tipos de sistemas del servicio fijo por satélite?

4. ¿Cuáles son las órbitas de satélite que más se adaptan a los sistemas del servicio fijo por satélite en lo que concierne a los valores máximos admisibles del tiempo de propagación, del nivel de las señales de eco y de las discontinuidades debidas a la conmutación para señales de telefonía, de telegrafía, de televisión, etc., teniendo en cuenta, según el caso, los puntos de vista del CCITT y de la CMTT?

5. ¿Cuáles son los retardos de transmisión adicionales que deben esperarse en los sistemas de satélites que utilizan el procesamiento y la regeneración de la señal a bordo del satélite?

6. ¿Cuáles son los servicios digitales que pueden no verse afectados por el retardo de transmisión?

Nota. – Véanse los Informes 214 y 383.

CUESTIÓN 13-1/4

FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LA TEMPERATURA DE RUIDO DE UNA ANTENA RECEPTORA DE ESTACIÓN TERRENA

(1965-1970-1974)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que ciertos componentes atmosféricos (tales como la proporción de vapor de agua, las nubes, las precipitaciones) contribuyen a la temperatura de ruido de una antena receptora de estación terrena;

b) que el empleo de un radomo puede introducir una contribución adicional a esta temperatura de ruido;

c) que el efecto de estos factores puede aislarse y estudiarse si se tienen debidamente en cuenta todas las causas, tales como: ruido solar y ruido cósmico, suelo y otras características del medio que rodea a la antena, ruidos artificiales y señales interferentes, ruido térmico engendrado por el sistema receptor o por el sistema de medida del ruido y devuelto a los terminales de la antena;

d) que todas las contribuciones mencionadas dependerán de la frecuencia y del ángulo de elevación,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Cuáles son las contribuciones a la temperatura del ruido de una antena receptora tipo, para estación terrena, con o sin radomo, debidas a los siguientes factores:

1.1 Proporción del vapor de agua presente en la atmósfera.

1.2 Nubes.

1.3 Precipitaciones.

1.4 Otros constituyentes de la atmósfera distintos del vapor de agua.

1.5 La Tierra.

1.6 Ruido solar y ruido cósmico?

2. ¿En qué forma varían dichas contribuciones en función del día y de la estación?

3. ¿Cuál es la variación de las mismas en función del diagrama de directividad de la antena y de la dirección, especialmente del ángulo de elevación?

4. ¿Cuál es la forma de expresar estadísticamente las variaciones de la temperatura de ruido relacionadas con factores meteorológicos?

5. ¿Cuál es la contribución del radomo a la temperatura de ruido, especialmente si está seco o mojado, habida cuenta de sus propiedades de absorción y de dispersión, de la posibilidad de que se produzca un depósito de hielo, acompañado o no de otras sustancias?

6. ¿En qué forma se prevé que estos factores varíen en función de la frecuencia?

Nota. — Véanse los Informes 390 y 868.

CUESTIÓN 20-1/4

EXPLOTACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTACIONES TERRENAS

(1970-1974)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que los rápidos progresos realizados en las telecomunicaciones internacionales por satélite han dado lugar a la construcción de estaciones terrenas en varios países;

b) que sería útil invitar a las organizaciones internacionales, a las empresas privadas de explotación reconocidas y a las organizaciones científicas o industriales interesadas en las telecomunicaciones por satélite, a que contribuyan con su experiencia a los estudios que han de hacerse;

c) que la labor realizada hasta la fecha en esta materia en los distintos seminarios internacionales es, sin lugar a dudas, la contribución inicial más valiosa que ha de tomarse en consideración;

d) que conviene contar con un estudio comparativo de los métodos de medición y de control a distancia, en particular para facilitar el empleo de sistemas automáticos,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Cuáles son los procedimientos experimentales adecuados para la explotación y mantenimiento de una estación terrena?

2. ¿Qué clase de equipos experimentales se necesitan para poner en práctica tales procedimientos?

3. ¿Cuáles podrían ser las características de equipos automáticos de medición y de equipos de control a distancia?

Nota. — Véanse el Informe 553 y las Recomendaciones 481 y 482.

CUESTIÓN 22-1/4*

UTILIZACIÓN DE SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE EN LOS CASOS DE DESASTRES NATURALES, EPIDEMIAS, CONDICIONES DE HAMBRE Y OTRAS SITUACIONES CRÍTICAS ANÁLOGAS PARA AVISOS Y OPERACIONES DE SOCORRO

(1972-1978)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que, para las operaciones de socorro, en los casos de desastres naturales, epidemias, condiciones de hambre y otras situaciones críticas análogas, son fundamentales telecomunicaciones rápidas y seguras;

b) que los sistemas de satélites geoestacionarios pueden facilitar servicios de telecomunicaciones para contribuir a disminuir las pérdidas debidas a estas situaciones críticas;

c) que, por haber sufrido daños u otras causas, los medios normales de telecomunicación en las zonas de siniestros son, con frecuencia, inadecuados para las operaciones de socorro y no pueden restablecerse o completarse rápidamente con los recursos locales;

d) que la Conferencia Administrativa Mundial, Ginebra, 1979, adoptó la Recomendación N.º 1 a este respecto;

e) que la utilización de sistemas de radiocomunicación espacial es uno de los medios de facilitar telecomunicaciones rápidas y seguras para operaciones de socorro;

f) que el costo del equipo necesario para este fin debe reducirse al mínimo, pero que el equipo ha de asegurar distintas funciones, entre otras, avisos verbales en caso de siniestro, información sobre el terreno, recopilación de datos, y coordinación de las operaciones de socorro,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Cuáles son las características y bandas de frecuencias preferidas para las estaciones terrenas transportables del servicio fijo por satélite, con el fin de proporcionar telecomunicaciones de socorro?

2. ¿Cuáles son los criterios para garantizar la compatibilidad entre las estaciones del servicio fijo por satélite y las estaciones para telecomunicaciones de socorro que pueden facilitarse mediante el servicio móvil por satélite o mediante el servicio de radiocomunicaciones terrenales?

Nota. — Véase el Informe 554.

CUESTIÓN 23-1/4

ESTACIONES TERRENAS DE PEQUEÑA CAPACIDAD Y SISTEMAS DE SATÉLITES ASOCIADOS

(1974-1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) la Resolución N.º 25 de la Conferencia de Plenipotenciarios de Nairobi, 1982;

b) la necesidad de diversas administraciones, necesidad que es urgente en el caso de los países en desarrollo, de utilizar estaciones terrenas de pequeña capacidad así como los sistemas de satélites asociados;

c) la necesidad de integrar los sistemas de pequeña capacidad en la red internacional de telecomunicaciones;

d) que para facilitar el establecimiento de estaciones terrenas económicas de pequeña capacidad y de los sistemas de satélites asociados se requiere más información sobre cuestiones técnicas y de explotación;

---

* Véanse también las Cuestiones 22/3, 22/8 y 20/9.

e) que estos sistemas pueden trabajar en las bandas de frecuencia s atribuidas al servicio fijo por satélite,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Qué bandas de frecuencias y qué métodos de modulación, acceso y codificación deben utilizarse preferentemente para sistemas de pequeña capacidad?

2. ¿Qué especificaciones de calidad deben cumplir las estaciones terrenas y las estaciones espaciales de dichos sistemas?

3. ¿En qué criterios han de basarse los sistemas para asegurar la compatibilidad entre sistemas de pequeña capacidad, así como entre ellos y los sistemas actuales del servicio fijo por satélite, incluyendo:

– la interconexión con la red internacional de telecomunicaciones,

– la compartición de frecuencias y el aprovechamiento óptimo de la órbita de los satélites geoestacionarios?

Nota. – Véase el Informe 869.

CUESTIÓN 24-2/4

DISPONIBILIDAD DE LOS CIRCUITOS O DE LOS TRAYECTOS DIGITALES E INTERRUPCIONES BREVES DE LA TRANSMISIÓN EN EL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1974-1982-1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que los circuitos o trayectos digitales del servicio fijo por satélite pueden quedar interrumpidos durante periodos prolongados o breves y que normalmente tales interrupciones se manifiestan en forma de un nivel elevado de ruido en el circuito, de un nivel bajo de la señal deseada, de ráfagas de bits erróneos en el caso de los sistemas digitales o de presencia de señales interferentes;

b) que las causas de la interrupción de los circuitos o de los trayectos digitales comprenden la atenuación o la despolarización producida por los hidrometeoros en los enlaces radioeléctricos, la recepción de un nivel elevado de interferencia o de un ruido de radiofrecuencia, el funcionamiento defectuoso del equipo, el funcionamiento de conmutadores de protección o de diversidad de emplazamientos y los fenómenos transitorios de la fuente de alimentación de energía;

c) que las interrupciones de duración igual o superior a 10 s consecutivos equivalen a una pérdida de la disponibilidad de los circuitos o de los trayectos digitales, mientras que las de duración inferior equivalen a interrupciones breves del circuito;

d) que tanto el grado de disponibilidad de los circuitos o de los trayectos digitales, como los objetivos en materia de interrupciones breves tienen influencia fundamental en el diseño de todo sistema y en el costo de su instalación, explotación y mantenimiento;

e) que las interrupciones breves de la transmisión y las ráfagas de errores pueden causar ua pérdida de sincronización en los sistemas de transmisión digital;

f) que cabe emplear dispositivos de protección para acrecentar la disponibilidad de los circuitos o de los trayectos digitales;

g) que el equipo de las estaciones terrenas puede comprender dispositivos que conmuten los receptores en caso de un nivel elevado de ruido o de una disminución considerable de la potencia de la onda portadora recibida,

h) que tal vez sean necesarios objetivos de disponibilidad diferentes para sistemas o servicios diferentes,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Cómo debería aplicarse la definición de disponibilidad de los circuitos o de los trayectos digitales al servicio fijo por satélite?

2. ¿Cuáles deberían ser los objetivos de los sistemas, o servicios, en cuanto a la disponibilidad de los circuitos o de los trayectos digitales entre puntos definidos por el circuito ficticio de referencia o por el trayecto digital ficticio de referencia?

3. ¿Cuáles deberían ser los objetivos de disponibilidad de los circuitos o trayectos digitales de los sistemas o servicios no incluidos en la Recomendación 579?

4. ¿Cuál es la disponibilidad de los circuitos conseguida actualmente en el servicio fijo por satélite?

5. ¿Cuáles deberían ser los objetivos de los sistemas actuales y futuros en cuanto a la duración y frecuencia de aparición de las interrupciones breves de la transmisión, de las ráfagas de errores de corta duración y de las variaciones bruscas del nivel de la banda de base entre puntos definidos por el circuito ficticio de referencia o por el trayecto digital ficticio de referencia?

6. ¿Cuál es la frecuencia y duración estadísticas de las interrupciones breves de la transmisión, de las ráfagas de errores de corta duración y de las variaciones bruscas del nivel de la banda de base que se obtienen actualmente en los sistemas del servicio fijo por satélite de diseño moderno?

7. ¿Cuáles son los factores importantes que influyen en la disponibilidad de los circuitos o de los trayectos digitales y en las interrupciones breves, como por ejemplo las interrupciones de la transmisión, las ráfagas de bits erróneos y las variaciones del nivel de la banda de base, y, en particular, qué influencia tienen los factores siguientes:

7.1 la confiabilidad de las estaciones terrenas y de los satélites, incluidos los dispositivos de protección;

7.2 la diversidad de emplazamientos de las estaciones terrenas;

7.3 la interferencia solar;

7.4 la atenuación y la despolarización debidas a los hidrometeoros;

7.5 las interrupciones debidas a condiciones meteorológicas extremas;

7.6 la interferencia producida por otras redes de satélites o que se origine en la propia red de satélites;

7.7 la interferencia producida por sistemas de relevadores radioeléctricos terrenales;

7.8 los fenómenos transitorios de la fuente de alimentación de energía?

Nota. — Véanse la Recomendación 579 y el Informe 706.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 24A-2/4

INTERRUPCIONES DEL TRÁFICO EN LOS CIRCUITOS O EN LOS TRAYECTOS DIGITALES DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1978-1982-1985)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que la continuidad del tráfico en los enlaces establecidos vía satélite puede ser interrumpida por avería del equipo o por fenómenos naturales (es decir, interferencias solares, o atenuación debida a hidrometeoros);

b) que las interrupciones pueden dividirse en interrupciones que desaparecen por sí solas (es decir, conmutación de protección, hidrometeoros) y en interrupciones que exigen un cierto tiempo de reparación;

c) que la diversidad de emplazamientos y la conmutación permiten transformar las interrupciones largas en interrupciones muy breves y evitar la interrupción completa del enlace;

d) que las Recomendaciones 353, 354, 522 y 614 autorizan un nivel elevado de ruido o una elevada proporción de bits erróneos durante periodos muy cortos y para un porcentaje muy pequeño de tiempo; que las interrupciones de 10 segundos consecutivos o más, generalmente repercuten en la disponibilidad del circuito o del trayecto digital y que las interrupciones momentáneas del tráfico, inferiores a 10 s, repercuten en la calidad del circuito o del trayecto digital respecto a los objetivos de disponibilidad de la Recomendación 579;

e) que se ha pedido al CCITT que indique el nivel y la duración del ruido, que pueden considerarse equivalentes a una interrupción total, y que dicho organismo está estudiando la frecuencia y duración de las interrupciones breves en la transmisión y de las variaciones bruscas de nivel en un circuito telefónico internacional;

f) que las interrupciones del tráfico pueden manifestarse mediante variaciones bruscas en el nivel de la banda de base, pérdida total de la señal deseada o nivel elevado de ruido; o por ráfagas de errores en el caso de los sistemas de transmisión digital;

g) que es necesario efectuar nuevos estudios sobre las ráfagas de errores;

h) que el CCITT, en su Recomendación G.221, punto *c)*, ha señalado que el ruido, en condiciones de avería, puede provocar un funcionamiento defectuoso, que puede transmitirse a los sistemas subsiguientes, así como que el equipo de las estaciones terrenas puede comprender dispositivos de conmutación de los receptores en condiciones extremas de ruido;

j) que, al proyectar un enlace por satélite, deben preverse márgenes de protección para las señales en recepción y tomarse decisiones respecto a la diversidad de emplazamientos, conmutación de protección, etc., de las cuales depende en gran medida tanto la disponibilidad del enlace como el costo de establecimiento de éste;

k) que aplicaciones diferentes de los servicios pueden imponer distintos requisitos de disponibilidad (aplicaciones tales como telefonía con asignación por demanda, transmisión de datos, televisión);

l) que la duración de algunas interrupciones puede depender de la configuración de la red por satélite, así como de otras circunstancias tales como que las estaciones terrenas estén atendidas en permanencia o puedan no estar atendidas al comienzo de una interrupción y del hecho de que las antenas de las estaciones terrenas puedan o no orientarse fácilmente para pasar de un satélite a otro;

m) que los términos y definiciones necesarios en relación con estos estudios deben basarse, en el mayor grado posible, en expresiones internacionalmente aceptadas,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Frecuencia y duración de las interrupciones, que se subsanan por sí mismas o de otra índole, que pueden preverse en sistemas modernos por satélite entre los puntos definidos por el circuito o trayecto digital ficticio de referencia.

2. Para enlaces vía satélite, con o sin protección asegurada por la diversidad de emplazamientos, proporción (en frecuencia y en duración) de las interrupciones debidas a los efectos de propagación que contribuirían a los objetivos de disponibilidad e indisponibilidad.

3. Características preferidas (es decir, tiempo de conmutación) para los dispositivos de protección del equipo.

4. Para enlaces vía satélite, con dispositivos de protección y/o conmutación de diversidad de emplazamientos, proporción (en frecuencia y en duración) de las interrupciones breves en la transmisión debidas a la conmutación de protección y de diversidad.

5. Proporción de interrupciones debidas al mantenimiento, con inclusión de los errores humanos.

6. Características preferidas de los dispositivos destinados a impedir el mal funcionamiento de otros sistemas conectados en tándem en banda de base.

7. Lista de términos y definiciones utilizados actualmente en documentos de los diversos organismos internacionales interesados en terminología y que son aplicables a estos estudios, así como de términos y definiciones adicionales que puedan ser necesarios.

Nota 1. – Al estudiar las interrupciones desde el punto de vista de la disponibilidad, puede ser útil distinguir entre las redes por satélite en que las estaciones terrenas están atendidas en permanencia y las antenas son fácilmente orientables, y otras redes por satélite en que no se den estas condiciones.

Nota 2. – Véanse las Recomendaciones 353, 354, 522, 579 y 614, y los Informes 706 y 997.

CUESTIÓN 25-1/4*

EMISIONES NO DESEADAS RADIADAS Y RECIBIDAS POR LAS ESTACIONES TERRENAS Y ESPACIALES DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE

(1976-1982)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que la radiación de emisiones no deseadas por estaciones espaciales o terrenas del servicio fijo por satélite puede causar interferencias a otros servicios;

b) que la radiación de emisiones no deseadas por otros servicios puede causar interferencias a estaciones espaciales y/o terrenas del servicio fijo por satélite;

---

* Esta Cuestión debe señalarse a la atención de las Comisiones de estudio 1, 2, 7, 8, 9, 10 y 11.

c) que las radiaciones no deseadas procedentes de estaciones espaciales o terrenas del servicio fijo por satélite pueden causar interferencias a otras estaciones de este servicio;

d) que la reducción de las radiaciones no deseadas a niveles muy bajos, en particular las procedentes de estaciones espaciales, puede entrañar problemas técnicos importantes;

e) que la sensibilidad a la interferencia de las estaciones de los diversos servicios radioeléctricos difiere sensiblemente de un servicio a otro;

f) que el apéndice 8 del Reglamento de Radiocomunicaciones especifica los niveles máximos admisibles de las emisiones no esenciales para las bandas de frecuencias por debajo de 17,7 GHz;

g) que el CCIR no ha formulado aún Recomendaciones adecuadas relativas a las emisiones no deseadas en frecuencias por encima de 960 MHz;

h) que no se dispone de información sobre emisiones no deseadas de estaciones que emplean técnicas de modulación digital en bandas de frecuencias por encima de 960 MHz;

j) que la Recomendación N.° 66 de la CAMR-79 pide que se continúe el estudio intensivo de los niveles máximos admisibles de las emisiones no esenciales en todas las bandas de frecuencias, incluyendo servicios y técnicas de modulación a los que no se aplica actualmente el apéndice 8 del Reglamento de Radiocomunicaciones, y específicamente los servicios espaciales;

k) que la Recomendación N.° 507 de la CAMR-79 pide que se estudie el problema específico de la interferencia que puede ser producida por las emisiones no esenciales de las estaciones del servicio de radiodifusión por satélite a los servicios que tienen atribuidas bandas de frecuencias adyacentes;

l) la Recomendación N.° 61 de la CAMR-79 invitando al CCIR a que estudiando normas técnicas para la evaluación de la interferencia perjudicial y a que recomiende criterios técnicos para las bandas de frecuencias superiores a 28 MHz, atribuidas a servicios de radiocomunicación espacial, de radiocomunicación terrenal y de radioastronomía interesados, a fin de que la IFRB y las administraciones puedan ponerlos en aplicación,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner urgentemente a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Qué límites deben fijarse a la potencia de las radiaciones no deseadas procedentes de las estaciones espaciales y terrenas del servicio fijo por satélite en las diversas bandas de frecuencias, para proteger éste y otros servicios, habida cuenta de los § 1 y 3 de la parte dispositiva de la Recomendación N.° 66 de la CAMR-79?

2. ¿Cuáles son los valores de densidad de flujo de potencia resultante de las radiaciones no deseadas procedentes de estaciones de otros servicios, aceptable para las estaciones espaciales y terrenas del servicio fijo por satélite, y cuáles son los aspectos técnicos y de explotación derivados de la presencia de emisiones no deseadas procedentes de estaciones de otros servicios, especialmente de estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite, teniendo en cuenta la Recomendación N.° 507 de la CAMR-79?

Nota. — Véanse los Informes 712 y 713.

CUESTIÓN 34/4*

INTERFERENCIA FÍSICA EN LA ÓRBITA DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

(1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que la continuidad del tráfico en los enlaces por satélite establecidos puede interrumpirse en caso de colisión o de bloqueo físico de los haces de las antenas de los satélites a causa de una deriva incontrolada de satélites inactivos;

b) que conviene que la probabilidad de interferencia física debida a satélites inactivos permanezca baja;

c) que es probable que continúe aumentando el número de objetos incontrolados que permanecen en la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG) o que la cruzan;

---

* Esta Cuestión debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 2, 8, 10 y 11.

d) que probablemente aumentará el tamaño de los satélites en la OSG;

e) que algunas organizaciones interesadas han preparado ya, para sus propios satélites directrices encaminadas a reducir la probabilidad de interferencia física;

f) que la reducción al mínimo de riesgos innecesarios redundaría en beneficio de todos los usuarios, reales y potenciales, de la OSG,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Cuál es la probabilidad de interferencia física en los supuestos de que se deje a los satélites inactivos errar en la OSG, de que se retiren dichos satélites a órbitas que no crucen la órbita de los satélites geoestacionarios y de que se puedan utilizar otros medios para minimizar la interferencia física en la OSG?

2. ¿Cuál es la probabilidad de que los satélites dejen de ser normalmente controlables antes o durante su desplazamiento previsto fuera de la OSG?

3. ¿Cuál es la mejor forma de minimizar la interferencia física innecesaria en la OSG?

4. ¿Cuáles son las dificultades prácticas, incluida una eventual reducción de la vida útil de funcionamiento, que conlleva a retirar los satélites de la OSG?

5. ¿En qué condiciones la interferencia física repercutirá desfavorablemente en la explotación de los satélites geoestacionarios?

6. ¿Cuáles son los efectos de una colisión en la OSG, incluido el efecto en la probabilidad de interferencia física?

Nota. – Véase el Informe 1004.

RUEGO 56-1 *

DELIMITACIÓN DE RESPONSABILIDADES ENTRE LA COMISIÓN DE ESTUDIO 4 DEL CCIR Y EL CCITT EN LO QUE CONCIERNE A LAS RECOMENDACIONES RELATIVAS A LA RED DIGITAL

(1978-1986)

El CCIR,

CONSIDERANDO

a) que el trayecto digital ficticio de referencia (TDFR) del servicio fijo por satélite forma parte de una conexión ficticia de referencia global;

b) que incumbe al CCITT elaborar Recomendaciones relativas tanto a la conexión ficticia de referencia global como a algunos TDFR que forman parte de la misma;

c) que incumbe a la Comisión de Estudio 4 del CCIR elaborar Recomendaciones relativas al TDFR por satélite,

RUEGA, POR UNANIMIDAD:

1. Que el punto de delimitación de competencias entre la Comisión de Estudio 4 del CCIR y el CCITT debe ser el repartidor digital, que representa el interfaz del TDFR por satélite con la red terrenal (véase la Recomendación 521).

---

* Este Ruego debe señalarse a la atención del CCITT.

CUESTIÓN 35/4*

COORDINACIÓN ENTRE UNA ESTACIÓN TERRENA Y ESTACIONES MÓVILES DE LOS SERVICIOS MÓVILES

(1987)

La Junta Internacional de Registro de Frecuencias (IFRB),

CONSIDERANDO

a) las disposiciones del número 326 del Convenio Internacional de Telecomunicaciones (Nairobi, 1982);

b) que el actual apéndice 28 al Reglamento de Radiocomunicaciones no contiene los criterios de compartición que deben utilizarse para la coordinación entre una estación terrena del servicio fijo por satélite, del servicio móvil marítimo por satélite, del servicio móvil aeronáutico por satélite o del servicio móvil terrestre por satélite, por una parte, y una estación móvil del servicio móvil terrestre, del servicio móvil marítimo o del servicio móvil aeronáutico, por otra;

c) que la Junta, en su aplicación cotidiana de las disposiciones del Reglamento de Radiocomunicaciones, encuentra casos en los que intervienen estaciones de los servicios espaciales y terrenales mencionados en b), por lo que necesita urgentemente orientación del CCIR sobre un método que pueda utilizarse para determinar la zona de coordinación en tales casos,

PIDE AL CCIR que estudie urgentemente la siguiente Cuestión:

1. ¿Qué características deben utilizarse para las estaciones móviles terrenales (terrestres, marítimas o aeronáuticas) a fin de determinar una zona de coordinación correspondiente a esas estaciones?

2. ¿Qué método debe utilizarse para identificar las administraciones cuyos servicios pueden ser afectados cuando operan en la misma zona estaciones móviles terrenales (de barco o aeronave o de un vehículo en tierra) y estaciones terrenas de barco, estaciones terrenas de aeronave o estaciones terrenas de sistemas terrestres?

CUESTIÓN 36/4**

UTILIZACIÓN DE HACES PUNTUALES ORIENTABLES POR ESTACIONES ESPACIALES SITUADAS EN LA ÓRBITA DE LOS SATÉLITES GEOESTACIONARIOS

(1987)

La Junta Internacional de Registro de Frecuencias (IFRB),

CONSIDERANDO

a) las disposiciones del número 326 del Convenio Internacional de Telecomunicaciones (Nairobi, 1982);

b) la insuficiencia de orientación técnica adecuada para considerar el potencial de interferencia creado por la utilización de haces puntuales orientables de una estación espacial situada en la órbita de los satélites geoestacionarios;

c) la urgente necesidad de que la IFRB disponga de dicha orientación para permitirle tratar casos de haces puntuales orientables utilizados por dichas estaciones espaciales en el marco del apéndice 29 al Reglamento de Radiocomunicaciones,

PIDE AL CCIR:

Que estudie urgentemente el método que ha de utilizarse para calcular la interferencia entre redes de satélites en las que las estaciones espaciales situadas en la órbita de los satélites geoestacionarios utilicen haces puntuales orientables.

---

* Se atribuye un texto idéntico a la Comisión de Estudio 8 como Cuestión 78/8.

** Se atribuye un texto idéntico a la Comisión de Estudio 8 como Cuestión 79/8.

CUESTIÓN 37/4*

COMPARTICIÓN ENTRE EL SERVICIO DE EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE O EL SERVICIO DE METEOROLOGÍA POR SATÉLITE, POR UN LADO, Y OTROS SERVICIOS ESPACIALES O EL SERVICIO DE AYUDAS A LA METEOROLOGÍA, POR OTRO

(1987)

La Junta Internacional de Registro de Frecuencias (IFRB),

CONSIDERANDO

a) las disposiciones del número 326 del Convenio Internacional de Telecomunicaciones (Nairobi, 1982);

b) que la Cuestión 12-2/2 y los Programas de Estudios 12A-2/2, 12B-1/2, 12C/2, así como los Informes y Recomendaciones conexos, no proporcionan la información necesaria para aplicar los apéndices 28 y 29 del Reglamento de Radiocomunicaciones a las notificaciones de asignación de frecuencias a estaciones espaciales o terrenas en el servicio de exploración de la Tierra por satélite y el servicio de meteorología por satélite cuando la Junta ha de examinarlas con respecto a las disposiciones de los números 1060 y 1107 del Reglamento de Radiocomunicaciones, así como en aquellos casos en que la Junta ha de aplicar otros procedimientos, como el procedimiento del artículo 14, a esas notificaciones;

c) que en vista de la urgencia de tratar las notificaciones de asignaciones de frecuencias concernidas, la Junta adoptó reglas de procedimiento provisionales en estos casos (véase la nota);

d) que, para que la Junta elabore sus normas técnicas, es preciso que disponga de la información requerida mediante las Recomendaciones apropiadas del CCIR (véase el número 1582 del Reglamento de Radiocomunicaciones),

PIDE AL CCIR:

Que estudie los parámetros que han de utilizarse en la aplicación de los apéndices 28 y 29 del Reglamento de Radiocomunicaciones cuando el servicio de exploración de la Tierra por satélite o el servicio de meteorología por satélite comparte las mismas bandas de frecuencias con el servicio de ayudas a la meteorología o con otros servicios espaciales.

Nota. – Las reglas de procedimiento provisionales han sido publicadas en los Documentos 2/39, 4/129, 8/27, 9/136, IFRB (1986-1990).

---

* Se atribuye un texto idéntico a la Comisión de Estudio 2 como Cuestión 26/2, a la Comisión de Estudio 8 como Cuestión 80/8.

CUESTIÓN 38/4*

ZONA DE COORDINACIÓN DE UNA ESTACIÓN TERRENA DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE QUE COMPARTE LA MISMA BANDA DE FRECUENCIAS QUE EL SERVICIO DE RADIONAVEGACIÓN

(1987)

La Junta Internacional de Registro de Frecuencias (IFRB),

CONSIDERANDO

a) las disposiciones del número 326 del Convenio Internacional de Telecomunicaciones (Nairobi, 1982);

b) que la Cuestión 17-1/9, la Cuestión 32/4 y los Programas de Estudios conexos 17E/9 y 17F/9 y 32A/4, 32B/4 y 32C/4, así como los Informes y Recomendaciones del CCIR conexos, no proporcionan información que permita aplicar el método del apéndice 28 al Reglamento de Radiocomunicaciones para calcular la zona de coordinación de una estación terrena del servicio fijo por satélite que comparte la misma banda de frecuencias que el servicio de radionavegación;

c) que, en vista de la urgencia de tratar las notificaciones de asignaciones de frecuencias concernidas, la Junta adoptó reglas de procedimiento provisionales en estos casos (véase la nota);

d) que para que la Junta elabore sus normas técnicas es preciso que disponga de la información requerida mediante las Recomendaciones apropiadas del CCIR (véase el número 1582 del Reglamento de Radiocomunicaciones),

PIDE AL CCIR:

Que estudie la situación de la compartición a que se hace referencia anteriormente y proporcione cuanto antes los parámetros del servicio de radionavegación que han de tenerse en cuenta al aplicar el método descrito en el apéndice 28 al Reglamento de Radiocomunicaciones, en tal caso.

Nota. – Las reglas de procedimiento provisionales han sido publicadas en los Documentos 4/130, 8/28, 9/137, IFRB (1986-1990).

---

* Se atribuye un texto idéntico a la Comisión de Estudio 8 como Cuestión 81/8.

CUESTIÓN 39/4*

CRITERIOS TÉCNICOS QUE SE HAN DE UTILIZAR EN LOS EXÁMENES SOBRE PROBABILIDAD DE INTERFERENCIA PERJUDICIAL EFECTUADOS POR LA JUNTA Y REQUERIDOS POR LAS DISPOSICIONES DE LOS NÚMEROS 1354, 1506 Y 1509 DEL REGLAMENTO DE RADIOCOMUNICACIONES

(1989)

La Junta Internacional de Registro de Frecuencias (IFRB),

CONSIDERANDO

a) lo dispuesto en el número 326 del Convenio Internacional de Telecomunicaciones (Nairobi, 1982);

b) que, según lo dispuesto en los artículos 12 y 13 del Reglamento de Radiocomunicaciones, la IFRB ha de efectuar exámenes, entre otras cosas sobre la probabilidad de interferencia perjudicial entre estaciones terrenales y estaciones terrenas (números 1354 y 1509) así como sobre la probabilidad de interferencia perjudicial entre estaciones de redes de satélites geoestacionarios (número 1506);

c) que la Junta necesita, para la elaboración de sus normas técnicas, disponer de la requerida información en Recomendaciones adecuadas del CCIR (véanse los números 1001, 1454 y 1582 del Reglamento de Radiocomunicaciones);

d) que en el Reglamento de Radiocomunicaciones se distingue entre la interferencia perjudicial (número 163) y la interferencia admisible (número 161);

e) que en la Cuestión 45-2/1, el CCIR decidió estudiar los términos «interferencia admisible» e «interferencia perjudicial», así como los problemas relativos a los valores máximos admisibles de interferencia y los porcentajes de tiempo correspondientes en términos generales, aplicables a todos los servicios de radiocomunicación;

f) que los Informes y Recomendaciones actuales del CCIR contienen criterios para diferentes situaciones de compartición entre servicios terrenales y espaciales pero no existe ningún Informe o Recomendación del CCIR en que se establezca los límites de la interferencia perjudicial que la Junta puede tener en cuenta cuando establezca las normas técnicas que se utilizarán para los exámenes mencionados sobre probabilidad de interferencia perjudicial,

PIDE AL CCIR que estudie la siguiente Cuestión:

¿Qué criterios se han de recomendar a la IFRB en relación con los niveles de interferencia perjudicial para uso en los exámenes que la Junta efectúa sobre la probabilidad de interferencia perjudicial, en particular en los exámenes previstos en los números 1354, 1506 y 1509 del Reglamento de Radiocomunicaciones, y en qué condiciones y durante qué porcentaje correspondiente de tiempo se aplican?

---

* Parte de esta Cuestión relativa a los números 1354 y 1509 del Reglamento de Radiocomunicaciones se estudia conjuntamente con la Comisión de Estudio 9. Se atribuye un texto idéntico a la Comisión de Estudio 9 como Cuestión 39/9.

DECISIÓN 2-6

COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE SATÉLITES DE RADIOCOMUNICACIÓN

Consideraciones técnicas que influyen en la utilización eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios

(Programa de Estudios 28A/4)

(1970-1974-1976-1978-1980-1981-1984-1985)

La Comisión de Estudio 4 del CCIR,

CONSIDERANDO

a) que hay que estudiar con urgencia los factores técnicos de que depende la utilización eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios, habida cuenta de la congestión previsible en ciertas partes de esa órbita;

b) que la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones, Ginebra, 1979 (CAMR-79), en su Recomendación N.° 708, pidió que se iniciaran o prosiguieran con prioridad estudios sobre cierto número de aspectos relacionados con esta cuestión;

c) que se ha encargado además al CCIR el estudio, en el periodo entre la primera y segunda reuniones de la Conferencia sobre la órbita (CAMR-ORB), de los temas identificados en el anexo a fin de proporcionar orientación a la segunda reunión de la CAMR-ORB prevista para 1988,

DECIDE:

1. Que se mantenga el Grupo Interino de Trabajo 4/1, creado por iniciativa de la Reunión Intermedia de Ginebra, 1968, con el siguiente mandato con respecto al servicio fijo por satélite:

1.1 Fomentar la recopilación (cuando sea necesario) y el análisis crítico de los datos necesarios para realizar una síntesis de las opiniones en cuanto a los medios técnicos que permiten asegurar el uso eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios (véase el Programa de Estudios 28A/4).

1.2 Celebrar nuevas reuniones en las fechas que se establezcan.

1.3 Examinar y estudiar las contribuciones recibidas para las reuniones del Grupo Interino de Trabajo y presentar informes sobre las mismas en la forma más adecuada para facilitar los trabajos de la Comisión de Estudio 4 sobre la manera de obtener una utilización eficaz de la órbita de los satélites geoestacionarios.

2. Con carácter urgente, celebrar reuniones en 1986 y 1987, en periodos compatibles con los calendarios de las actividades correspondientes, con objeto de proporcionar el análisis crítico necesario para obtener la orientación pedida para la segunda reunión de la CAMR-ORB y:

2.1 Presentar informes, sobre los resultados obtenidos en los temas identificados en el anexo I, a la Comisión de Estudio o directamente al Grupo Interino de Trabajo Mixto que coordine el trabajo entre reuniones de la CAMR-ORB, si tal Grupo Interino de Trabajo Mixto se estableciese y sus reuniones precedieran a las de la Comisión de Estudio.

3. Que este Grupo Interino de Trabajo 4/1 esté integrado por representantes designados por las Administraciones de los siguientes países (un representante por administración): Argelia, Alemania (República Federal de), Australia, Brasil, Canadá, Chile, China (República Popular de), Colombia, Estados Unidos de América, Francia, Guinea, India, Indonesia, Irán (República Islámica del), Iraq, Italia, Japón, Papua Nueva Guinea, Países Bajos, Polonia (República Popular de), República Democrática Alemana, Reino Unido, Suecia, Suiza, Turquía, U.R.S.S., Yugoslavia (República Socialista Federativa de), así como observadores de la Unión Europea de Radiodifusión, la Agencia Espacial Europea, EUTELSAT, INTELSAT y la IFRB.

4. Que la Administración del Reino Unido se encargue de coordinar la labor del Grupo Interino de Trabajo, que deberá llevarse a cabo, en la medida de lo posible, por correspondencia, y asuma su presidencia.

5. Que las actividades de este Grupo Interino de Trabajo no entrañen para la UIT más gastos que los normales.

ANEXO I

TEMAS PARA ESTUDIO POR EL GRUPO INTERINO DE TRABAJO 4/1*

1. Atenuación de las exigencias (véase el § 3.4.2.1.4 c)

La demanda de redes de satélite variará según los diferentes pares de bandas de frecuencias y, dentro de un par dado de bandas de frecuencias, en diferentes arcos de la órbita de los satélites geoestacionarios. Por ello, cuando hay que imponer limitaciones a las características de las redes de satélite tal vez puedan fijarse limitaciones menos rigurosas en algunas bandas de frecuencias y arcos orbitales en los que la demanda sea reducida y, en los casos en que ésta sea importante, aplicar limitaciones más rigurosas. Se necesitan estudios entre reuniones para determinar cómo puede lograrse esa solución, para aliviar en particular a las redes de capacidad y complejidad escasas.

2. Interferencia y armonización

- Estudiar el papel de la «fuente única de interferencia admisible» en una situación de limitación de interferencia y determinar la utilidad de un margen de interferencia de una sola fuente en los sistemas MDF-MF, que sea adecuado para un valor de interferencia total de 2500 pW0p. Conviene estudiar también la necesidad de revisar el umbral de $\Delta T/T = 4\%$ del apéndice 29 al Reglamento de Radiocomunicaciones, a la vista de cualquier modificación propuesta del valor de la interferencia causada por una sola fuente que pueda resultar conveniente en el curso de los estudios entre reuniones.

  Debe también estudiarse la posible necesidad de revisar los niveles de interferencia admisible en los sistemas digitales, así como la compatibilidad de estos nuevos valores para la telefonía MDF-MF con los correspondientes niveles para televisión MF análogica que se indican en la Recomendación 483 del CCIR (véase el § 3.4.3.2.8).

- Identificar las posibles ventajas de la segmentación del espectro y la mejor manera de realizar esas ventajas (véase el § 3.4.3.4.4.7).

- Estudiar la noción de distribución de la carga, incluidas la interferencia equitativa y la reubicación, a fin de determinar la medida en que es posible reajustar los parámetros en un periodo de tiempo (véase el § 3.4.3.5.3.4).

- Evaluar las ventajas y los problemas técnicos, de explotación y económicos resultantes de la necesidad de una flexibilidad en la posición orbital y estudiar qué medidas normativas podrían convenir. Estos estudios deben considerar dos situaciones; em primer lugar, aquélla en que el orden relativo de los satélites en la órbita permanece inalterado, pero se modifica su separación angular respectiva y, en segundo lugar, cuando se cambia el orden (véase el § 3.4.3.4.2.7).

3. Parámetros generalizados

Identificar y evaluar diversas series de parámetros generalizados para planificación y coordinación (véase el § 3.4.4.1.3).

En esta evaluación, el estudio debe incluir la posibilidad de utilizar antenas de estación terrena que no se ajusten a la Recomendación 580 del CCIR en planes basados en parámetros generalizados que dan por sobreentendida la conformidad con dicha Recomendación (es decir, en bandas de frecuencias y arcos orbitales donde no se hayan determinado las necesidades especiales de los países en desarrollo) (véase el § 3.4.4.2).

4. Antenas de estación terrena (véase el § 3.4.4.2).

Establecer un diagrama de radiación de referencia de los lóbulos laterales, adecuado para las antenas de estación terrena con D/λ menor de 150, que sirva de base para elaborar los criterios generalizados de calidad de funcionamiento que se utilizarán en el primer periodo de planificación en las bandas de frecuencias y arcos orbitales en que no se hayan determinado las necesidades especiales de los países en desarrollo.

---

* Los puntos citados corresponden al Informe de la CAMR-ORB-85 a la segunda reunión de la Conferencia.

5. **Criterios para los haces de satélite** (véase el § 3.4. 4.3).

Determinar los criterios necesarios para los haces de satélite, incluidos:

- los diagramas de radiación de referencia para haces elípticos y conformados;
- un tamaño de haz requerido mínimo adecuado, en función de la frecuencia;

y estudiar si:

- son deseables unas limitaciones de la puntería del haz más estrictas que las fijadas en el artículo 29 del Reglamento de Radiocomunicaciones.

6. **Determinación de la necesidad de coordinar las redes de satélite** (véase el § 3.4.3.3.5).

Considerar la posible revisión del contenido técnico del apéndice 29 del Reglamento de Radiocomunicaciones a fin de:

- aumentar la exactitud con la que se determina la necesidad de coordinación, reduciendo la probabilidad de resultados afirmativos injustificados sin introducir un riesgo considerable de no detección de una necesidad real de coordinación;
- simplificar la aplicación del proceso.

7. **Examen de los aspectos técnicos de los apéndices 3 y 4 al Reglamento de Radiocomunicaciones** (véase el § 3.4.3.3).

Examinar la información técnica requerida por los apéndices 3 y 4 en su forma actual y determinar si alguna parte significativa de la misma no reviste valor así como cualquier otra parte que sea necesario incluir a los efectos de los artículos 11 y 13 teniendo en cuenta las directrices contenidas en el § 3.4.3.3.

8. **Discriminación por polarización entre redes** (véase el § 3.4.2.7.5).

Deben realizarse estudios entre las reuniones para comprobar los beneficios que pueden obtenerse de la discriminación por polarización:

- entre satélites situados en la misma posición nominal, que utilizan una sola polarización y dan servicio a zonas de cobertura distintas,
- entre satélites adyacentes que tal vez den servicio a la misma zona de cobertura, pero que tienen también una sola polarización.

DECISIÓN 62

REORGANIZACIÓN DE ALGUNAS CUESTIONES Y DE LOS CORRESPONDIENTES PROGRAMAS DE ESTUDIOS Y POSIBLE REDUCCIÓN DE ALGUNOS TEXTOS

(1984)

La Comisión de Estudio adoptó esta Decisión durante la reunión intermedia, pero se canceló ulteriormente durante la reunión final porque el trabajo se había terminado. El texto completo de la Decisión puede verse en el Documento 4/216-S, fascículo de las Conclusiones de la reunión intermedia.

DECISIÓN 64

PUESTA AL DÍA DEL MANUAL SOBRE TELECOMUNICACIONES POR SATÉLITE

(Servicio fijo por satélite)

(1985)

La Comisión de Estudio 4 del CCIR,

CONSIDERANDO

a) que el Manual sobre telecomunicaciones por satélite (servicio fijo por satélite) se ha preparado para facilitar a las administraciones y organizaciones un documento didáctico que facilite la preparación de sus programas y la instrucción de su personal;

b) que los avances en la tecnología de las comunicaciones por satélite y la evolución prevista de los reglamentos y de la planificación justifican una actualización del Manual sobre telecomunicaciones por satélite;

c) que el método adecuado para preparar una versión actualizada consiste en establecer un Grupo que pueda actuar aplicando métodos similares a los utilizados en la elaboración del presente Manual, a saber, por correspondencia y mediante algunas reuniones periódicas;

d) que el procedimiento de actualización y el contenido deben, en la medida de lo posible, armonizarse con las ediciones vigentes del Volumen IV,

DECIDE:

1. Que se establezca un Grupo responsable de la actualización del Manual sobre telecomunicaciones por satélite bajo la responsabilidad de la Comisión de Estudio 4.

2. Que este Grupo (Grupo del Manual) prepare una versión adecuadamente actualizada del Manual, tal vez en forma de suplemento, que se publicaría en 1987-1988.

3. Que, a reserva del acuerdo de la Reunión Intermedia de la Comisión de Estudio 4, el Grupo del Manual contemple la posibilidad de proceder a una revisión completa del Manual para su publicación después de la XVII Asamblea Plenaria del CCIR en 1990.

4. Que el Presidente del Grupo sea el Sr. J. Salomon (Francia).

5. Que el Grupo se componga de representantes de las Administraciones y Organizaciones Internacionales siguientes: Alemania (República Federal de), Brasil, Canadá, China (República Popular de), Estados Unidos de América, Francia, India, Italia, Japón, Reino Unido, Suiza, URSS, EUTELSAT e INTELSAT.

DECISIÓN 70

ESTABLECIMIENTO DE SISTEMAS DIGITALES DE SATÉLITES

(1985)

La Comisión de Estudio 4 del CCIR,

CONSIDERANDO

a) que el CCITT está estudiando nuevos servicios digitales de telecomunicación especialmente en el sector de la red digital de servicios integrados (RDSI), donde está surgiendo una amplia gama de necesidades de usuario de extremo a extremo;

b) que esta evolución puede imponer distintas exigencias a los sistemas de transmisión, incluidos los satélites, que se utilizan en las redes digitales;

c) que la Comisión de Estudio 4, en coordinación con el CCITT, deberá llevar a cabo intensos estudios, a fin de que los sistemas de satélites se desarrollen de manera que satisfagan estas exigencias;

d) que el programa de reuniones de la Comisión de Estudio 4 no siempre se adapta convenientemente al de las Comisiones de Estudio del CCITT,

DECIDE:

1. Que el Grupo Interino de Trabajo 4/2, establecido por iniciativa del Director del CCIR y el Relator Principal de la Comisión de Estudio 4 en el periodo de estudios 1982-1986, continúe con el siguiente mandato en relación con el servicio fijo por satélite:

1.1 Llevar a cabo estudios detallados sobre los sistemas digitales por satélite y elaborar textos de nuevos Informes y Recomendaciones, apropiados para que los sistemas de satélites satisfagan las nuevas exigencias de estos servicios digitales en desarrollo.

1.2 Celebrar nuevas reuniones en las fechas que se convenga.

1.3 Estudiar los documentos más recientes del CCITT de interés para la Comisión de Estudio 4 y responder prontamente al CCITT cuando el programa de reuniones de éste y del CCIR difieran.

1.4 Estudiar y examinar las contribuciones presentadas a las reuniones del Grupo Interino de Trabajo, y presentar informes de sus actividades a la Comisión de Estudio 4.

2. Que el Grupo Interino de Trabajo esté integrado por representantes de las Administraciones y Organizaciones Internacionales siguientes: Canadá, Estados Unidos de América, Francia, Italia, Japón, Reino Unido, Suecia, URSS, EUTELSAT e INTELSAT.

3. Que de la coordinación de la labor del Grupo Interino de Trabajo y de su presidencia se encargue un representante de la Administración de los Estados Unidos de América.

4. Que las actividades del Grupo Interino de Trabajo no impongan a la UIT más gastos de los normales.

DECISIÓN 73

ESTUDIOS QUE DEBE REALIZAR EL CCIR EN EL PERIODO ENTRE REUNIONES PARA LA SEGUNDA REUNIÓN DE LA CAMR-ORB-88

(1985)

Las Comisiones de Estudio 1, 2, 4, 5, 8, 9, 10 y 11 adoptaron esta Decisión durante las reuniones finales de 1985. La Asamblea Plenaria revisó y sustituyó el texto de esta Decisión por la Resolución 90 que figura en el Volumen XIV.

ÍNDICE ALFABÉTICO DE TÉRMINOS (PALABRAS CLAVE) DEL VOLUMEN IV

A

Acceso múltiple (I.384, I.552, I.554, I.707, I.869)
- acceso múltiple por distribución en el tiempo (AMDT) (I.552, I.707)
- asignación por demanda (I.869)
- conmutación en el satélite, AMDT-CS (I.707)
- dispersión de energía, AMDT (I.384)
- estación terrena transportable (I.554)
- estaciones terrenas de pequeña capacidad (I.869)
- interfaz digital AMDT (I.707)
- sistema SPADE (SCPC con asignación por demanda) (I.869)
- un solo canal por portadora (SCPC) (I.869)

Altitud del apogeo (perigeo) (defn) (I.204)

Anchura de banda y espectro (I.384, I.552, I.561, I.711)
- dispersión de energía, técnicas (I.384)
- enlaces de conexión (I.561)
- frecuencias por encima de 10 GHz (I.552)
- modulación de frecuencia (MF) (I.384, I.561)
- modulación digital (I.384)
- sistemas analógicos (I.384)
- telefonía multicanal (I.384)
- televisión (I.384)
- utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios, criterios de eficacia (I.711)

Angulo exocéntrico (defn) (I.204)

Angulo geocéntrico (defn) (I.204)

Angulo topocéntrico (defn) (I.204)

Antenas, estaciones terrenas (Rc.465, Rc.524, Rc.580, I.390, I.391, I.453, I.552, I.553, I.554, I.555, I.711, I.868, I.869, I.998, I.1001)
- antena de gran abertura, características de banda ancha (I.390)
- antenas de haz orientable (I.390)
- antenas multibanda (I.390)
- campos de radiación cerca de la antena (I.390)
- Cassegrain (I.390, I.391)
- crestas de los lóbulos laterales, ganancia (Rc.580, I.391)
- densidad de p.i.r.e. fuera del eje (Rc.524, I.1001) (véase también bajo Densidad de p.i.r.e. fuera del eje)
- diagramas de radiación (Rc.580, I.390, I.391, I.453, I.555) (véase también bajo Diagramas de radiación)
- diagramas de radiación de referencia (Rc.465, I.390, I.391)
- diagramas de radiación del alimentador (I.390)
- difracción (I.390)
- discriminación por polarización (I.390)
- estación transportable (I.554)
- estaciones de pequeña capacidad (I.869)
- factor de calidad (G/T) del sistema (I.390)
- factor de protección del emplazamiento (I.390)
- frecuencias por encima de 10 GHz (I.552)
- iluminación de la abertura (I.390)
- mantenimiento (I.553)
- medición de la temperatura de ruido (I.868)
- mediciones de los diagramas de radiación (I.390)
- nivel de los lóbulos de radiación (Rc.465, Rc.580, I.390, I.391, I.453)
- nivel de radiación de seguridad (I.390)
- objetivos de diseño (Rc.580, I.391)
- orientación y seguimiento, características (I.390)
- pantalla alámbrica (I.869)
- polarización cruzada (I.552, I.555)
- polarización ortogonal (I.390, I.555)
- protección contra los factores climáticos (I.390)
- riesgos de radiación (I.390)
- temperatura de ruido del sistema (I.390, I.555, I.868)
- zona de Fresnel (I.390)

Antenas, riesgos de radiación (I.390)
- densidad de flujo de potencia de seguridad (I.390)
- densidades máximas de flujo de potencia (I.390)
- reflexiones en tierra (I.390)

Antenas, satélites (I.451, I.453, I.552, I.555, I.558)
- antena de lente de haces múltiples (I.558)
- capacidad de orientación, antenas de haz estrecho (I.558)
- conformación del haz, técnicas (I.558)
- corrección de la polarización (I.555)
- diagrama de ganancia de los lóbulos laterales (I.453, I.558)
- diagramas de radiación (I.558) (véase también bajo Diagramas de radiación)
- diagramas de referencia, modelos (I.558)
- discriminación por polarización (I.555) (véase también bajo Discriminación por polarización)
- diseño, objetivos (I.558)
- enlaces entre satélites (I.451)
- envolvente de los lóbulos laterales, efectos (I.558)
- errores de puntería, antenas de enlaces entre satélites (I.451)
- frecuencias por encima de 10 GHz (I.552)
- haces circulares, diagrama de referencia (I.558)
- haces conformados (I.558)
- iluminación de la abertura (I.558)
- lóbulos laterales en coma (I.558)
- mediciones, antenas de haz conformado (I.558)
- polarización cruzada (I.453, I.555) (véase también bajo Discriminación por polarización)
- reflector parabólico con alimentadores múltiples (I.558)
- satélite Olympus, diagrama de radiación (I.558)
- utilización de la órbita (I.558)

Antenas, temperatura de ruido (I.390, I.552, I.554, I.712, I.868, I.869, I.873)
- absorción atmosférica (I.390)
- antena receptora de estación terrena (I.868)
- Casiopea A, fuente estelar de medición (I.390)
- Cisne A, fuente estelar de medición (I.390)
- estación terrena transportable (I.554)
- estaciones terrenas, bandas de unos 12 GHz (I.712, I.873)
- estaciones terrenas, bandas superiores a 10 GHz (I.552)
- estaciones terrenas de pequeña capacidad (I.869)
- interferencia debida al ruido solar (I.390)
- medición de la relación G/T (I.390)
- mediciones del ruido de la antena (I.868)
- método del factor y (I.868)
- radiación cósmica de fondo en microondas (I.868)
- radiación de la Tierra (I.390, I.868)
- radiómetros (I.868)
- Tauro A, fuente estelar de medición (I.390)
- temperatura cenital del cielo (I.868)

Antenas de estación terrena, lóbulos laterales (Rc.465, Rc.524, Rc.580, I.390, I.391, I.453, I.552, I.555, I.998, I.1001)
- antena asimétrica (alimentador descentrado) (I.390, I.391, I.998)
- antena axisimétrica (I.390, I.998)
- antena Cassegrain, alimentador descentrado (I.390)
- antena Gregorian descentrada (I.390)
- bandas de frecuencias superiores a 10 GHz (I.552)

Antenas de estación terrena, lóbulos laterales *(cont.)*
bloqueo y difracción, influencia (I.390, I.998)
canceladores de interferencia (I.390)
características de polarización (I.998)
crestas de los lóbulos laterales, distribución (I.391)
datos estadísticos (I.391)
desbordamiento (I.390)
diagramas de radiación (Rc.465, Rc.580, I.390, I.391, I.453, I.555)
diagramas de radiación de referencia (Rc.465, Rc.580, I.390, I.391)
distorsión de fase, diagrama de radiación del alimentador (I.390)
estaciones terrenas A y B de INTELSAT (I.391)
factor de protección del emplazamiento (I.390)
iluminación de la abertura (I.390, I.998)
interferencia producida por el ruido solar (I.390)
órbita de los satélites geoestacionarios (I.453)
p.i.r.e. fuera del eje (Rc.524, I.1001) (véase también bajo Densidad de p.i.r.e. fuera del eje)
polarización cruzada (I.555)
precisión de la superficie de los reflectores (I.390)
radiación dispersada por los soportes del reflector secundario (I.390)
reflector descentrado (I.391)
utilización del recurso órbita/espectro (I.555)

Apoápside (defn) (I.204)

Apogeo (defn) (I.204)

Arco de servicio (defn) (I.204)

Arco visible (defn) (I.204)

Atenuación debida a la lluvia (I.552, I.866) (véase también el Vol. V)

B

Banda de frecuencias, selección (I.205, I.390)
absorción atmosférica (I.205) (véase también el Vol. V)
atenuación debida a hidrometeoros (I.205) (véase también el Vol. V)
centelleo ionosférico (I.205) (véase también el Vol. VI)
rotación de Faraday (I.205) (véase también el Vol. VI)
ruido por absorción (I.205) (véase también el Vol. V)
ruido solar (I.205, I.390)

Bandas de frecuencias superiores a 10 GHz, SFS (I.208, I.552, I.710, I.868, I.869) (véase también bajo Enlaces de conexión)
antena de la estación terrena, abertura circular (I.552)
atenuación en el enlace ascendente (I.552)
atenuación producida por la lluvia (I.552, I.868, I.869)
códigos correctores de errores (I.552)
compartición de frecuencias con sistemas terrenales (I.552)
condiciones climáticas (I.552)
control de potencia en el enlace ascendente (CPEA) (I.208, I.552)
distribución de la interferencia (I.710)
diversidad equilibrada (I.552)
elección de frecuencias (I.552)
enlace de interconexión, recepción por diversidad (I.552)
explotación con diversidad de emplazamientos (I.208, I.552)
interrupciones incluidas por la lluvia (I.552)
método de CPEA, bucle cerrado (I.552)
métodos de CPEA, bucle abierto (I.552)
operación de conmutación, diversidad de emplazamientos (I.552)
retardo diferencial de propagación (I.552)
transmisión de información a velocidad variable (I.552)

C

Canceladores de interferencia (I.875)
cancelación en FI (I.875)
canceladores en banda de base (I.875)
filtrado adaptable de interferencia de banda estrecha (I.875)
puente supresor de interferencias (I.875)
sistema adaptable de supresión de interferencia cocanal (I.875)
sistemas de cancelación adaptables (I.875)

CCITT (Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico) (Rc.353, Rc.482, Rc.521, Rc.522, Rc.614, I.208, I.214, I.383, I.451, I.553, I.707, I.997)

Circuito ficticio de referencia (Rc.352, Rc.353, Rc.354, Rc.579, I.208)
anchura de banda de la señal de video (Rc.352, I.208)
atenuación debida a la lluvia (I.208)
estaciones terrenas con diversidad de emplazamientos (Rc.352)
objetivo de disponibilidad (Rc.579)
objetivos en materia de ruido, circuitos telefónicos (Rc.353, I.208)
potencia de ruido admisible, MF-MDF (Rc.353, I.208)
telefonía MDF (Rc.352, Rc.353, I.208)
televisión (Rc.352, Rc.354, I.208)
temperatura de ruido, sistema receptor (I.208)
transmisión analógica (Rc.352)

Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) (I.553)

Compartición de frecuencias, enlaces entre satélites del SFS y el servicio de radionavegación a 33 GHz (I.872)
densidad de flujo de potencia (I.872)
enlaces entre satélites, 32-33 GHz (I.872)
interferencia causada por el servicio de radionavegación (I.872)
interferencia procedente de los enlaces entre satélites (I.872)
p.i.r.e. máxima (I.872)

Compartición de frecuencias, redes del servicio fijo por satélite (I.455) (véase también bajo Reutilización de frecuencias y Utilización del recurso órbita-espectro)
cálculo de los niveles de interferencia (I.455)
coordinación (I.455)
interferencia procedente de una sola fuente, criterios (I.455)
interferencia total admisible y contribuciones individuales, relación (I.455)
niveles admisibles de interferencia (I.455)
portadoras AMDT, protección (I.455)
portadoras MDF-MF, protección (I.455)
portadoras MDP-SCPC, protección (I.455)
portadoras MF-SCPC, protección (I.455)
relación señal/interferencia después del demodulador (I.455)
relaciones entre $\Delta T/T$ y los criterios de interferencia procedente de una sola fuente (I.455)
relaciones portadora deseada/portadora interferente, cálculo (I.455)
separación entre satélites en el espacio y en el tiempo (I.455)
transmisiones de televisión MF (I.455)
transmisiones digitales (I.455)
transmisiones telefónicas MDF-MF (I.455)

Compartición de frecuencias, servicio entre satélites (SFS) y otros servicios (I.872, I.874)
enlaces entre satélites, 32-33 GHz (I.872)
interferencia (I.872, I.874)

Compartición de frecuencias, servicio entre satélites (SFS) y otros servicios *(cont.)*
servicio de exploración de la Tierra por satélites (pasivo) (I.874)
servicio de investigación espacial (pasivo) (I.874)
servicio de radiodifusión por satélite (I.872, I.874)
servicio entre satélites (I.872, I.874)

Compartición de frecuencias, servicio fijo por satélite con otros servicios en la banda de 14 a 14,4 GHz (I.560)
densidad de flujo de potencia por transmisor (I.560)
fuentes simultáneas de interferencia (I.560)
interferencia procedente de los satélites de radionavegación (I.560)
interferencia procedente de los transmisores del servicio de radionavegación (I.560)
protección de los receptores de las estaciones espaciales (I.560)
radares de silbidos (I.560)

Compartición de frecuencias, utilización simultánea de la banda para los enlaces ascendente y descendente (I.557)
antenas de satélite de haz de cobertura restringida (I.557)
asignaciones comunes en las mismas direcciones (I.557)
asignaciones invertidas de frecuencias (I.557)
aumento de la capacidad de la órbita (I.557)
discriminación por polarización (I.557)
interferencia con servicios terrenales (I.557)
interferencia entre estaciones casi antípodas (I.557)
interferencia entre estaciones terrenas (I.557)
relación portadora/interferencia (I.557)

Compartición de frecuencias con sistemas terrenales (I.385) (véase también la Parte 2, Vols. IV y IX)
criterios de interferencia (I.385)
factores de seguridad (I.385)
factores geográficos (I.385)
factores logísticos (I.385)
fuentes de interferencia (I.385)
precauciones al elegir la ubicación (I.385)

Coordinación (Rc.465, Rc.466, Rc.523, I.451, I.452, I.453, I.454, I.455, I.870, I.871, I.999) (véase también la Parte 2, Vols. IV y IX)
aislamiento por polarización (I.454)
ámbitos de interferencia (I.870)
cálculo de $\Delta T/T$ (I.454)
concepto de aislamiento (I.870)
coordinación bidireccional sobre el circuito máximo (I.999)
coordinación multilateral (I.870) (véase también bajo Coordinación multilateral entre redes de satélites)
criterios de interferencia (I.454, I.870)
diagrama de radiación de referencia (Rc.465)
dispersión por la lluvia, zona bidireccional (I.999)
distancias de coordinación (véase también la Parte 2, Vols. IV y IX)
estado de realización del sistema de satélites (I.870)
Junta Internacional de Registro de Frecuencias (IFRB) (Rc.466, Rc.523, I.870)
método de densidad de potencia (I.870)
método de la potencia de la portadora (I.870)
métodos de cálculo (I.452, I.870) (véase también bajo Interferencia, método de cálculo para determinar si se requiere coordinación)
proceso de coordinación (I.870)
recurso a computadores (I.870)
reducción de la interferencia (I.870)
servicio entre satélites (I.451)
servicio fijo terrenal (véase la Parte 2, Vols. IV y IX)
técnicas de optimización de la órbita (I.453, I.870)
temperatura de ruido equivalente de un enlace por satélite (I.454, I.455, I.870, I.871)
zona de coordinación bidireccional (I.999)

Coordinación multilateral entre redes de satélites (I.453, I.1000, I.1003)
agrupamientos subregionales (I.1003)
aislamiento (I.453, I.1003)
Arco Orbital de Coordinación (AOC) (I.1003)
armonización multilateral con tres elementos (armonización M3) (I.1003)
aumentos normalizados de la temperatura de ruido equivalente (I.453, I.1003)
flexibilidad máxima en el emplazamiento de los satélites (I.1003)
flexibilidad máxima en el emplazamiento inicial (I.1003)
metodologías de utilización del espectro (I.1000, I.1003)
optimización de las posiciones orbitales con interferencia equitativa (I.1003)
parámetros A, B, C, D (I.453, I.1003)
parámetros generalizados (I.453, I.1003)
reubicación de los satélites en servicio (I.1003)
separación orbital característica (I.453, I.1003)
técnicas de cálculo de la interferencia (I.1003)
técnicas de coordinación multilateral (I.1003)
variaciones del método A, B, C, D (I.453, I.1003)

D

Densidad de la p.i.r.e. fuera del eje, estaciones terrenas (I.1001)
banda 6 GHz, límite (I.1001)
banda 10-15 GHz, límite (I.1001)
diámetros de antena requeridos en las estaciones terrenas (I.1001)
ganancia de lóbulos laterales de la estación terrena (I.1001)
interferencia, objetivo (I.1001)
margen de lluvia (I.1001)
separación entre satélites (I.1001)
tipo de portadora interferente (I.1001)
tipo de portadora interferida (I.1001)
zonas de cobertura del satélite interferido (I.1001)

Diagramas de radiación (Rc.465, Rc.580, I.390, I.391, I.558) (véase también bajo Antenas, estaciones terrenas y Antenas, satélites)
antena Cassegrain (I.390, I.391)
antena de reflector con alimentador descentrado (I.391)
crestas de los lóbulos laterales (Rc.580)
diagrama de radiación de referencia, antenas de satélite (I.558)
diagrama de referencia para las estaciones terrenas, coordinación en 2-30 GHz (Rc.465)
diagramas medidos (I.390)
ganancia, primeros lóbulos laterales (I.390, I.391)
lóbulos laterales, métodos estadísticos (I.391)
normas A y B de INTELSAT (I.391)
objetivos de diseño, antenas de satélite (Rc.580, I.558)
polarización (I.390, I.391)
protección del emplazamiento (I.390)
soportes del reflector secundario, radiación dispersada (I.390)

Discontinuidades por conmutación de satélite (véase bajo Efecto Doppler y discontinuidades por conmutación)

Discriminación por polarización (I.390, I.391, I.453, I.555)
antenas de estaciones terrenas (I.390, I.391, I.555)
antenas de los satélites (I.555)
atenuación diferencial y desplazamiento de fase diferencial (I.555)
corrección de la polarización (I.555)
crestas de los lóbulos laterales, polarización cruzada (I.555)
despolarización (I.555)
diagrama de radiación de polarización cruzada (I.555)

Discriminación por polarización *(cont.)*
estaciones terrenas, efectos de los lóbulos laterales (I.391)
medición de la despolarización en recepción (I.555)
medición de la despolarización en transmisión (I.555)
método de la antena de referencia (I.555)
órbita de los satélites geoestacionarios, utilización eficiente (I.453)
polarizadores de las estaciones terrenas (I.555)
polarizadores de los satélites (I.555)
precipitaciones (I.555)
relación axial de la polarización (I.555)
rotación de Faraday (I.555)
satélites adyacentes, órbita de los satélites geoestacionarios (I.453)
seguimiento de la polarización (I.555)

Dispersión de energía, sistemas analógicos con MF (Rc.446, I.384)
control automático de la excursión de frecuencia (I.384)
dispersión artificial de la energía (I.384)
dispersión mediante banda de ruido de baja frecuencia (I.384)
dispersión sinusoidal (I.384)
dispersión triangular (I.384)
señales de dispersión (I.384)
sistemas para telefonía multicanal (I.384)

Dispersión de energía, sistemas de televisión (Rc.446, I.384, I.867)
dispersión por transformación de la señal de video (I.384)
fenómenos de intermodulación (I.384)
fijación del nivel del negro (I.384)
onda en diente de sierra (I.384)
onda triangular simétrica (I.384)
realimentación de frecuencia (I.384)
señal compuesta de dispersión, frecuencias de trama y de línea (I.384, I.867)
señal de dispersión a la frecuencia de línea (I.384)
supresión de la señal de dispersión (I.384)

Dispersión de energía, sistemas digitales (Rc.446, I.384)
autoseudoaleatorizador (I.384)
factor de dispersión de energía, sistemas AMDT (I.384)
restaurador (I.384)
secuencia de código seudoaleatorio (I.384)
señales digitales con MDP (I.384)
seudoaleatorizador (I.384)

Disponibilidad (Rc.579, I.706, I.997)
circuito ficticio de referencia (Rc.579) (véase también bajo Circuito ficticio de referencia)
disponibilidad del equipo (I.706)
en los dos sentidos de la transmisión, circuitos (I.706)
factor de disponibilidad (I.706)
indisponibilidad, definiciones (Rc.579)
indisponibilidad debida a la propagación (Rc.579)
interrupciones (I.706)
medición de la disponibilidad de los circuitos (I.706)
propagación, efectos (I.706)
trayecto digital ficticio de referencia (Rc.579) (véase también bajo Trayecto digital ficticio de referencia)

Distancia de coordinación (véase bajo Coordinación)

Distribución de la interferencia, sistemas en frecuencias superiores a 10 GHz (I.710)
atenuación debida a la lluvia (I.710)
balances de ruido de los enlaces ascendente y descendente (I.710)
control de potencia adaptativo en el enlace ascendente (I.710)
correlación de los desvanecimientos (I.710)
diversidad en el espacio (I.710)
explotación AMDF con múltiples portadoras (I.710)
explotación con una sola portadora por transpondedor (I.710)
fuentes (externas) de interferencia entre sistemas (I.710)
fuentes (internas) de interferencia intrasatélite (I.710)
márgenes de interferencia a corto plazo (I.710)
propagación, desvanecimiento (I.710)
relaciones portadora/ruido más interferencia [C/(N + I)] total (I.710)
sistemas con modulación analógica (I.710)
sistemas con modulación digital (I.710)

E

Eco (véase bajo Tiempo de propagación y eco)

Efecto Doppler y discontinuidades por conmutación (I.214)
compensación de alta precisión (I.214)
compensación de precisión media (I.214)
medios de compensación (I.214)
telefonía (I.214)
telefotografía (I.214)
telegrafía (I.214)
televisión (I.214)
transmisión de datos de banda ancha (I.214)

Elementos de una órbita (defn) (I.204)

Emisiones no esenciales, estaciones terrenas y espaciales (I.713)
ángulo de separación geocéntrica (I.713)
densidad máxima de flujo de potencia de interferencia (I.713)
frecuencias armónicas (I.713)
interferencia a estaciones de investigación espacial (I.713)
interferencia a estaciones de radioastronomía (I.713)
interferencia a estaciones de radioenlaces (I.713)
interferencia a estaciones terrenas del SFS (I.713)
interferencia a estaciones transhorizonte (I.713)
nivel de potencia de las emisiones no esenciales (I.713)
osciladores locales, frecuencia fundamental y armónicas (I.713)
productos de intermodulación (I.713)
señales imagen (I.713)

Emplazamientos de los satélites, flexibilidad (I.1002)
antenas de la estación terrena (I.1002)
antenas del satélite (I.1002)
arco de servicio, limitaciones (I.1002)
consumo de combustible (I.1002)
eclipse solar (I.1002)
interrupción del servicio (I.1002)
reubicación de los satélites (I.1002)

Enlaces de conexión (I.561)
atribuciones del SFS (espacio-Tierra) para enlaces de conexión, SRS (I.561)
atribuciones del SFS (Tierra-espacio) para enlaces de conexión, SRS (I.561)
discriminación por polarización (I.561)
modulación de banda estrecha (I.561)
problemas de interferencia (I.561)
reducción de la anchura de banda (I.561)
relación de protección (I.561)
relación portadora/interferencia (I.561)
reutilización de frecuencias (I.561)
separaciones entre satélites (I.561)
servicio de radiodifusión por satélite (SRS), banda de 12 GHz (I.561)
sistemas integrados sonido-video (I.561)

Enlaces entre satélites, servicio fijo por satélite (I.451, I.453, I.872, I.874)
ángulo de separación (I.451)
asignaciones de frecuencias en direcciones contrarias (I.451)
asignaciones de frecuencias en la misma dirección (I.451)
compartición de frecuencias con otros servicios (I.872, I.874)
enlaces cortos (I.451)
enlaces largos (I.451)
enlaces no idénticos (I.451)
enlaces sin seguimiento (I.451)
errores de puntería (I.451)
interferencia y coordinación (I.451)
órbita de los satélites geoestacionarios (I.453)
relación portadora/ruido antes de la detección (I.451)
reutilización de frecuencias (I.451)
tecnología de los dispositivos (I.451)
tiempo de propagación (I.453)
utilización de la órbita (I.451, I.453)

Errores, corrección (véase bajo Sistemas digitales por satélite)

Estaciones terrenas (véase también bajo Antenas, estaciones terrenas)

Estaciones terrenas transportables (I.554)
amplificador de potencia (I.554)
antena de la estación (I.554)
peso y volumen (I.554)
p.i.r.e. de la estación terrena (I.554)
receptor de bajo ruido (I.554)
relación G/T del sistema (I.554)

Estaciones terrenas y sistemas de satélites de pequeña capacidad (I.869)
acceso múltiple con asignación por demanda (DAMA) (I.869)
antenas de las estaciones terrenas (I.869)
bandas de frecuencias (I.869)
características topográficas (I.869)
control centralizado (I.869)
control distribuido (I.869)
energía primaria, bajo consumo (I.869)
estación espacial, forma del haz de la antena (I.869)
estación espacial, p.i.r.e. (I.869)
haz de la antena del satélite, exactitud de puntería (I.869)
interferencia con sistemas de relevadores radioeléctricos (I.869)
interferencia entre redes de satélites (I.869)
mantenimiento en posición del satélite, exactitud (I.869)
modulación y acceso múltiple, métodos (I.869)
portadoras monocanal (SCPC) (I.869)
posición del satélite (I.869)
propagación (I.869)
sistema ANIK-B de Canadá (I.869)
sistema "bush" existente en Alaska (I.869)
sistemas de satélites nacionales rurales (I.869)
temperatura de ruido de la estación terrena (I.869)
transmisores de estado sólido (I.869)
transpondedor, sensibilidad y ganancia (I.869)

F

Factor de calidad (G/T) (I.390, I.453, I.552, I.554, I.868, I.869) (véase también bajo Antenas, temperatura de ruido)
absorción atmosférica (I.390)
Casiopea A (I.390)
Cisne A (I.390)
densidad de flujo de potencia de las fuentes radioeléctricas estelares (I.390)
efectos de la polarización de la fuente (I.390)
estaciones terrenas de pequeña capacidad (I.869)
estaciones terrenas transportables (I.554)
evaluación de los errores (I.390)
factores de corrección (I.390)
flujo de fuentes estelares, variación con el tiempo y la frecuencia (I.390)
frecuencias superiores a 10 GHz (I.552, I.868)
fuentes radioeléctricas estelares, extensión angular (I.390)
método de medición mediante fuentes radioeléctricas estelares (I.390)
ondas radioeléctricas provenientes de los planetas (I.390)
Tauro A (I.390)
temperatura de ruido de la antena (I.390, I.868)
utilización eficaz de la órbita y del espectro (I.453)

Frecuencias, criterios de compartición (véase bajo Compartición de frecuencias)

I

IFRB (Junta Internacional de Registro de Frecuencias) (Rc.466, Rc.523, I.870)

Inclinación de la órbita (defn) (I.204)

INTELSAT (Organización Internacional de Telecomunicaciones por Satélite) (I.207, I.451, I.553, I.554, I.555, I.556, I.558, I.561, I.706, I.709, I.712, I.713, I.867)

Interfaces digitales, redes de satélites y terrenales (Rc.521, I.707)
conexión plesiócrona (I.707)
conmutación digital (I.707)
conversión analógico-digital (I.707)
enlaces digitales internacionales (I.707)
equipo de interfaz digital directa (I.707)
memorias intermedias elásticas (I.707)
múltiplex MIC primarios (I.707)
redes nacionales analógicas con conmutación (I.707)
ritmos de reloj (I.707)
señalización y supervisión (I.707)
sistemas AMDT con conmutación a bordo del satélite (CS) (I.707)
sistemas AMDT-DSI (I.707)
técnica de deslizamientos de trama (I.707)
técnicas de justificación (I.707)
televisión digital (I.707)
temporización del enlace por satélite (I.707)
transmisión de alarmas (I.707)
transmisiones múltiplex de orden superior (I.707)
transmultiplexores (I.707)
trayecto digital ficticio de referencia (Rc.521)

Interferencia, canceladores (véase bajo Canceladores de interferencia)

Interferencia, del servicio de radiodifusión por satélite en el SFS (I.873) (véase también bajo Protección del SFS contra satélites de radiodifusión)
compartición interregional (I.873)
evaluación del potencial de interferencia (I.873)
margen entre servicios (I.873)
p.i.r.e. (I.873)
planes para el SRS (I.873)
separación entre satélites (I.873)

Interferencia, distribución (véase bajo Distribución de la interferencia, sistemas en frecuencias superiores a 10 GHz)

Interferencia, en transmisiones monocanal por portadora (SCPC) (Rc.466, Rc.523, I.384, I.867)
compresión-expansión silábica (I.867)
criterio para una sola fuente de interferencia (Rc.466, Rc.523, I.867)

Interferencia, en transmisiones monocanal por portadora (SCPC) *(cont.)*
dispersión de la señal de TV, efecto sobre la interferencia en sistemas SCPC (I.384, I.867)
modulación delta, sistemas SCPC (I.867)
pruebas de ruido impulsivo, interferencia de señales de TV (I.867)
transmisiones TV/FM (I.867)

Interferencia, en un canal de televisión MF (Rc.483)
ganancia de las estaciones terrenas receptoras (Rc.483)
potencia de ruido de interferencia, nivel máximo (Rc.483)

Interferencia, enlaces entre satélites (I.451, I.872, I.874)

Interferencia, método de cálculo para determinar si se requiere coordinación (I.454, I.999) (véase también bajo Coordinación)
aislamiento por polarización (I.454)
potencia interferente máxima admisible, uso bidireccional de las frecuencias (I.999)
redes que comparten la misma banda de frecuencias en direcciones opuestas (I.454, I.999)
temperatura de ruido equivalente del enlace (I.454)
transpondedores que efectúan un proceso de la señal (I.454)

Interferencia, telefonía con codificación MIC (Rc.523)
ganancia de las antenas de las estaciones de recepción (Rc.523)
interferencia de una sola fuente (Rc.523)
niveles máximos de potencia de ruido debido a la interferencia (Rc.523)
proporción de bits erróneos (Rc.523)
reutilización de frecuencias (Rc.523)

Interferencia, telefonía multicanal MDF/MF (Rc.466)
ganancia de las antenas de las estaciones en recepción (Rc.466)
interferencia máxima admisible en un canal telefónico (Rc.466)
interferencia máxima admisible procedente de una sola fuente (Rc.466)
reutilización de frecuencias (Rc.466)

Interferencia física en la OSG (I.1004)
bloqueo de los enlaces de radiofrecuencia (I.1004)
efectos de una colisión (I.1004)
probabilidad de colisión (I.1004)
satélites inactivos a la deriva, órbita de los satélites geoestacionarios (I.1004)
transferencia a un cementerio de satélites en una órbita más elevada (I.1004)

Intermodulación (I.384, I.710, I.713)
fuente de emisiones no esenciales (I.713)
fuente de interferencia (I.710)
linealidad del canal de transmisión (I.384)

M

Mantenimiento de las estaciones terrenas (I.553)
ajuste por computador, equipo necesario (I.553)
compatibilidad de las frecuencias (I.553)
compatibilidad de procedimientos de medida y de equipos (I.553)
equipo automático de medida (I.553)
equipos de medida (I.553)
estaciones explotadas sin supervisión (I.553)
filtros para mediciones, características (I.553)

Mantenimiento en posición de los satélites (defn) (I.204)

Mantenimiento en posición de los satélites (Rc.484, I.453, I.556, I.869)
errores en la determinación de los parámetros orbitales (I.556)
excentricidad de la órbita (I.556)
inclinación de la órbita (I.556)
mantenimiento de la posición en longitud (Rc.484, I.556)
periodo orbital, variación (I.556)
sistemas de pequeña capacidad (I.869)
utilización eficiente de la órbita (I.556)

Mediciones, sistemas para telefonía MDF (Rc.481, Rc.482)
calidad de funcionamiento, frecuencias de corte de los filtros limitadores de banda (Rc.482)
frecuencias centrales de los canales de medida del ruido (Rc.481)
frecuencias y anchuras de banda de los canales de medida de la calidad de funcionamiento (Rc.482)
ruido en condiciones de tráfico real (Rc.481)
señal de espectro continuo uniforme (ruido blanco), medición de la calidad de funcionamiento (Rc.482)

Metodologías de utilización del espectro (I.1000, I.1003)
armonización de la utilización del espectro (I.1000)
macrosegmentación (I.1000)
método del valor de los parámetros (I.1000)
microsegmentación (I.1000)
procedimiento de clasificación de las portadoras (I.1000)
segmentación de las bandas (I.1000)
utilización flexible (I.1000)

Modulación (Rc.464, Rc.466, Rc.522, Rc.523, I.208, I.367, I.384, I.453, I.552, I.559, I.561, I.707, I.866, I.867) (véase también bajo Acceso múltiple y Repetidores de satélites)
dispersión de energía (I.384)
eficacia de utilización de la órbita (I.453, I.559)
enlaces de conexión (I.561)
frecuencias superiores a 10 GHz (I.552)
funciones generalizadas que representan la eficacia de utilización de la órbita (I.559)
influencia del índice de modulación (I.559)
interfaz digital (I.707)
modulación de fase con señales digitales (I.559)
modulación de frecuencia (MF) (I.559, I.866)
modulación delta, sistemas SCPC (I.867)
modulación por desplazamiento de fase (MDP) (I.367, I.384)
modulación por impulsos codificados (MIC) (Rc.522, Rc.523, I.707)
multiplaje por distribución de frecuencia (MDF) (Rc.464, Rc.466, I.208)
preacentuación, MF (Rc.464)
relación anchura de banda radioeléctrica/anchura de banda de información (I.559)
relación portadora/ruido (C/N) (I.559)
sistema monocanal por portadora (SCPC) (I.867)
sistemas de anchura de banda limitada (I.559)
televisión (I.384)
transmisión de la velocidad de información variable (I.552)
utilización de la órbita, efecto (I.453)

N

Nodo ascendente (descendente) (defn) (I.204)

O

Operaciones de socorro (I.554)
banda de frecuencias (I.554)
calidad de los circuitos (I.554)
capacidad de canales necesaria (I.554)
estación terrena transportable (I.554)
métodos de modulación (I.554)

Orbita (defn) (I.204)

Orbita circular (I.204)

Orbita de los satélites geoestacionarios (defn) (I.204)

Orbita de los satélites geoestacionarios (OSG), utilización eficaz (véase bajo Utilización del recurso órbita-espectro)

Orbita directa (retrógrada) (defn) (I.204)

Orbita ecuatorial (I.204)

Orbita elíptica (defn) (I.204)

Orbita-espectro, utilización (véase bajo Utilización del recurso órbita-espectro y bajo Metodologías de utilización del espectro)

Orbita inclinada (defn) (I.204)

Orbita no perturbada (de un satélite) (defn) (I.204)

Orbita polar (defn) (I.204)

P

Periápside (defn) (I.204)

Perigeo (defn) (I.204)

Periodo anomalístico (defn) (I.204)

Periodo de revolución (defn) (I.204)

Periodo de revolución sideral (defn) (I.204)

Periodo nodal (defn) (I.204)

Periodo orbital (de un satélite) (defn) (I.204)

P.i.r.e. (potencia isótropa radiada equivalente) (Rc.524, I.552, I.554, I.561, I.712, I.869, I.873, I.874)
- densidad de p.i.r.e. fuera del eje (Rc.524)
- estaciones terrenas transportables (I.554)
- satélites de radiodifusión (I.561, I.712, I.873, I.874)
- sistema de satélites de pequeña capacidad (I.869)
- sistemas en frecuencias superiores a 10 GHz (I.552)
- sistemas MDP-SCPC para telefonía con accionamiento por la voz (Rc.524)
- sistemas MF-SCPC para telefonía con activación por la voz (Rc.524)

Plano de la órbita (defn) (I.204)

Polarización cruzada (véase bajo Discriminación por polarización)

Preacentuación, telefonía multicanal con MF y televisión (Rc.464, I.212)
- característica de preacentuación (Rc.464)
- redes de preacentuación y de desacentuación (Rc.464)
- televisión (I.212)

Proporción de bits erróneos admisible, telefonía MIC (Rc.522, Rc.579, I.383, I.552, I.869) (véase también bajo Trayecto digital ficticio de referencia)
- balance de errores, sistema AMDT (I.552)
- códigos correctores de errores (I.552)
- corrección de errores, método ARQ (I.383)
- interrupciones breves (Rc.522)
- sistemas de pequeña capacidad (I.869)
- telefonía MIC (Rc.522)
- trayecto digital ficticio de referencia (Rc.522)

Protección del SFS contra satélites de radiodifusión (I.712)
- densidad espectral de flujo de potencia (I.712)
- emisiones no deseadas procedentes de los satélites de radiodifusión en 12 GHz (I.712)
- satélites muy próximos (I.712)
- separación angular (I.712)
- separación de frecuencias (I.712)

Puntería del haz de la antena del satélite (I.453, I.869)

R

Radiocomunicaciones espaciales, términos y definiciones (I.204)

Repetidores de satélites (I.384, I.713, I.867, I.869) (véase también bajo Modulación y Acceso múltiple)
- dispersión de energía (I.384)
- emisiones no esenciales (I.713)
- sistemas de pequeña capacidad (I.869)
- transmisiones SCPC (I.867)

Reutilización de frecuencias (Rc.466, Rc.523, I.451, I.453, I.555, I.561)
- discriminación por polarización (I.555)
- enlaces de conexión (I.561)
- enlaces entre satélites (I.451)
- interferencia máxima admisible (Rc.466, Rc.523)
- órbita de los satélites geoestacionarios, eficacia de utilización (I.453)
- red de satélites con reutilización de frecuencias (defn) (I.204)

Riesgos de las radiaciones (I.390)

Ruido admisible, telefonía MDF-MF y televisión (Rc.353, I.208) (véase también bajo Circuito ficticio de referencia)
- circuito ficticio de referencia (Rc.353, I.208)
- objetivos en materia de ruido (I.208)
- sistemas en 14/11 GHz (I.208)
- telefonía MF-MDF (Rc.353, I.208)
- televisión, transmisión analógica (I.208)
- temperatura de ruido del sistema receptor (I.208)

S

Satélite de actitud estabilizada (defn) (I.204)

Satélite en fase (desaconsejado) (defn) (I.204)

Satélite estacionario (defn) (I.204)

Satélite geoestacionario (defn) (I.204)

Satélite geosíncrono (defn) (I.204)

Satélite sincrónico (defn) (I.204)

Satélite sincronizado (defn) (I.204)

Satélite subsincrónico (supersincrónico) (defn) (I.204)

Servicio de radiodifusión por satélite (véase bajo Enlaces de conexión, Compartición de frecuencias, servicio entre satélites (SFS) y otros servicios y Utilización del recurso órbita-espectro)

Servicio fijo por satélite en frecuencias superiores a 10 GHz (véase bajo Bandas de frecuencias superiores a 10 GHz, SFS)

Sistema canadiense Anik-B (I.869)

Sistema rural "bush" de Alaska (I.869)

Sistemas de satélites y estaciones terrenas de pequeña capacidad (véase bajo Estaciones terrenas y sistemas de satélites de pequeña capacidad)

Sistemas digitales por satélite (Rc.521, Rc.522, Rc.579, I.338, I.383, I.384, I.452, I.455, I.502, I.552, I.707, I.710) (véase también bajo Interfaces digitales, redes de satélites y terrenales y bajo Modulación)
- compartición de frecuencia (I.455)
- concentración digital de conversaciones (DSI) (I.707)
- corrección de errores (I.338, I.502, I.552)
- disponibilidad, objetivos (Rc.579)
- distribución de la interferencia (I.710)
- frecuencias superiores a 10 GHz (I.552)

Sistemas digitales por satélite *(cont.)*
interfaces digitales (I.707)
proporción de bits erróneos, valores admisibles (Rc.522)
técnica de dispersión de energía (I.384)
tiempo de propagación, influencia (I.383)
trayecto digital ficticio de referencia para telefonía MIC (Rc.522)
trayecto digital ficticio de referencia para transmisiones digitales (Rc.521)

T

Temperatura de ruido de las antenas (véase bajo Antenas, temperatura de ruido)

Temperatura de ruido equivalente del enlace por satélite y ganancia de transmisión (I.871)
relación ganancia de transmisión/temperatura de ruido equivalente del enlace (I.871)
transpondedores con un solo cambio de frecuencia (I.871)

Términos y definiciones, radiocomunicaciones espaciales (I.204)
cuerpo primario (para un satélite) (defn) (I.204)
satélite (defn) (I.204)
satélite activo (defn) (I.204)
satélite reflector (defn) (I.204)
sonda espacial (defn) (I.204)
vehículo espacial (defn) (I.204)

Tiempo de propagación y eco (I.383, I.552)
circuitos de prolongación terrenales (I.383)
compensadores de eco (I.383)
conexiones con varios saltos (I.383)
conexiones de un solo salto (I.383)
contrastes en el tiempo de propagación (I.383)
corrección de errores por petición de repetición (ARQ) (I.383)
deformación de sesgado, telefotografía (I.383)
dispositivos de protección contra el eco (I.383)
funcionamiento en diversidad (I.383)
servicio fijo por satélite en frecuencias superiores a 10 GHz (I.552)
supresores de eco digitales (I.383)
telefonía (I.383)
telefotografía (I.383)
telegrafía y transmisión de datos (I.383)
televisión (I.383)
tiempo de propagación diferencial (I.383)
tiempo medio de propagación en un sentido (I.383)

Trayecto digital ficticio de referencia (Rc.521, Rc.522, Rc.579, Rc.614, I.706, I.997)
atribuciones de calidad de funcionamiento, CCITT (Rc.614, I.997)
características de errores, cálculos y modelos (I.997)
conexión a la RDSI (Rc.614)
disponibilidad (Rc.579, I.706, I.997)
equipo múltiplex digital (Rc.521)
estaciones terrenas con diversidad de emplazamientos (Rc.521)
interrupciones breves (Rc.522)
modelo de atenuación (I.997)
modulación por impulsos codificados, telefonía (Rc.522)
objetivos de características de error (Rc.614)
perturbaciones debidas a la propagación (I.997)
probabilidad de bits erróneos (PBE), modelos (I.997)
proporción de bits erróneos (BER), valores admisibles (Rc.522)
ráfagas de errores, mecanismos (I.997)
repartidor digital, interconexión con la red terrenal (Rc.521)
segundos con muchos errores (Rc.614, I.997)
tiempo de indisponibilidad (I.997)
tiempo disponible (Rc.522, Rc.614)
transmisión digital (Rc.521)

U

Utilización del recurso órbita-espectro (Rc.353, Rc.465, Rc.466, Rc.483, Rc.484, Rc.523, Rc.524, Rc.580, I.390, I.391, I.453, I.455, I.555, I.556, I.557, I.558, I.559, I.561, I.711, I.712, I.867, I.869, I.871, I.872, I.874, I.998, I.999, I.1000, I.1001, I.1002, I.1003) (véase también bajo Interferencia, Coordinación y Compartición de frecuencias, redes del servicio fijo por satélite)
aislamiento (I.453, I.1003)
antena del satélite, diagrama de radiación (I.558)
antena del satélite, discriminación (I.453)
arco de servicio (I.453)
arco visible (I.453)
área prohibida (I.711)
armonización de la red (I.453)
asignación de frecuencias invertida (I.453, I.557)
bandas de frecuencias, agrupación por pares (I.453)
capacidad de acceso (I.453)
capacidad teórica de la Orbita de los Satélites Geoestacionarios (OSG) (I.453)
características de modulación, efecto (I.453, I.559)
condiciones de propagación, efecto (I.453)
configuración del tráfico, influencia (I.453)
densidad de flujo de potencia procedente de satélites de radiodifusión (I.712)
densidad de la p.i.r.e. fuera del eje (I.453. I.1001) (véase también bajo Densidad de la p.i.r.e. fuera del eje)
discriminación por polarización (I.453, I.555) (véase también bajo Discriminación por polarización)
dispersión de energía (I.453)
disposiciones de redes de satélites con haces cruzados (I.453)
eficacia de utilización de la órbita y de la anchura de banda (I.711)
enlaces de conexión (I.453, I.561)
enlaces entre satélites (I.453, I.711, I.872, I.874)
estación terrena, diagramas de radiación (Rc.465, Rc.580, I.390, I.391, I.998)
estación terrena, discriminación de la antena (I.453)
estaciones terrenas de pequeña capacidad (I.869)
evaluación numérica, telefonía MDF-MF (I.711)
factor de utilización del arco (I.711)
factores geográficos (I.453)
frecuencia de traslación, satélites (I.453)
haces restringidos (puntuales) (I.711)
interferencia, compensación (I.453) (véase también Cancelladores de interferencia)
interferencia, margen (I.453)
interferencia admisible, nivel en un canal de televisión (Rc.483, I.455, I.867)
interferencia admisible, nivel en un canal telefónico (Rc.353, Rc.466, I.455)
interferencia admisible, sistemas SCPC (I.867)
interferencia admisible, telefonía MIC (Rc.523)
interferencia admisible, transmisión digital (I.455, I.867)
interferencias, cálculos para sistemas de satélites adyacentes (I.453)

Utilización del recurso órbita-espectro *(cont.)*

linealización del transpondedor (I.453)

mantenimiento en posición de los satélites (Rc.484, I.453, I.556) (véase también bajo Mantenimiento en posición de los satélites)

medidas de economía en la utilización de la órbita (I.453)

medidas de utilización del recurso órbita-espectro (I.711)

método del par idéntico (I.711)

metodologías de utilización del espectro (I.453, I.1000, I.1003) (véase también bajo Metodologías de utilización del espectro)

niveles de ruido aceptable, normas (I.453)

nuevas bandas de frecuencias, utilización (I.453)

ocupación de la órbita (I.711)

optimización de la posición de los satélites, modelo (I.453)

optimización de la utilización inhomogénea de la órbita (I.453)

optimización de las asignaciones de frecuencias (I.453)

orientación de la polarización (I.453)

orientación del haz, precisión (I.453)

parámetros de red A, B, C, D (I.453, I.1003)

pares múltiples de bandas de frecuencias (I.453)

p.i.r.e. fuera del eje, nivel admisible (Rc.524)

polarización ortogonal (I.453)

portadora cocanal (I.453)

portadoras, tipos (I.453)

portadoras intercaladas (I.453)

puntería de la antena del satélite, precisión (I.453)

red de satélites, parámetros generalizados (I.453, I.1003)

regeneración a bordo (tratamiento de la señal a bordo) (I.453)

reutilización de frecuencias (I.453)

ruido en la banda de base debido al ruido térmico y a la interferencia (I.711)

satélites geosíncronos en órbitas inclinadas (I.453)

segmentación de la órbita (I.453)

separación entre satélites (I.453)

separación orbital (I.453)

separación orbital característica (SOC) (I.453, I.1003)

sistema homogéneo (I.453, I.711)

sistemas de servicio zonal (I.453, I.1002) (véase también bajo Emplazamientos de los satélites, flexibilidad)

técnicas de computador, optimización de asignaciones de frecuencias (I.453)

técnicas de conservación de la órbita (I.453)

temperatura de ruido equivalente, aumentos normalizados (I.453, I.1003)

temperatura de ruido equivalente del enlace por satélite (I.871)

trayectos ascendente y descendente, uso de la misma banda (I.453, I.557)

umbrales de $\Delta T/T$ (I.453)

utilización inhomogénea de la órbita (I.453)

variantes de los parámetros A, B, C, D (I.453, I.1003)

zona de coordinación bidireccional (I.999)

Z

Zona de coordinación (véase bajo Coordinación)

ISBN 92-61-02723-7