



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.

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

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.

COMITÉ CONSULTIVO INTERNACIONAL DE RADIOCOMUNICACIONES

C. C. I. R.

XII ASAMBLEA PLENARIA

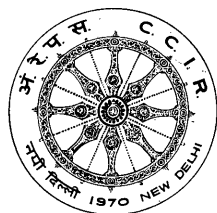
NUEVA DELHI, 1970

VOLUMEN II

PARTE I

PROPAGACIÓN EN MEDIOS NO IONIZADOS

(COMISIÓN DE ESTUDIO 5)



Publicado por la
UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES
GINEBRA, 1970

COMITÉ CONSULTIVO INTERNACIONAL DE RADIOCOMUNICACIONES

C. C. I. R.

XII ASAMBLEA PLENARIA

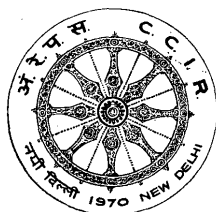
NUEVA DELHI, 1970

VOLUMEN II

PARTE I

PROPAGACIÓN EN MEDIOS NO IONIZADOS

(COMISIÓN DE ESTUDIO 5)



Publicado por la
UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES
GINEBRA, 1970



Depósito legal M. 24000.-1970.-(II.-1.ª parte)

E. Giménez, S. A.—Huertas, 14 y 16.—Madrid.

**PROPAGACIÓN EN MEDIOS
NO IONIZADOS**

RECOMENDACIONES E INFORMES

5 A: Propagación, predicciones y curvas, y problemas de interferencia

5 B: Radiometeorología

5 C: Efectos debidos al terreno

5 D: Propagación de la onda de superficie

CUESTIONES Y PROGRAMAS DE ESTUDIOS

RESOLUCIONES Y RUEGOS

(Comisión de estudio 5)

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

DISTRIBUCIÓN DE LOS TEXTOS DE LA XII ASAMBLEA PLENARIA DEL C. C. I. R. ENTRE LOS VOLUMENES I A VII

— Todos los textos del C. C. I. R. vigentes en la actualidad están contenidos en los Volúmenes I a VII de la XII Asamblea Plenaria.

1. Recomendaciones, Informes, Resoluciones y Ruegos.

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.

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.

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 VII.

1.2 Recomendaciones.

Número	Volumen	Número	Volumen	Número	Volumen
45	VI	265, 266	V	374-376	III
48, 49	V	268	IV	377-379	I
77	VI	270	IV	380-393	IV
80	V	275, 276	IV	395-406	IV
100	I	279	IV	407-421	V
106	III	283	IV	422-423	VI
139, 140	V	289, 290	IV	427-429	VI
162	III	302	IV	430, 431	III
166	I	304-306	IV	432, 433	I
182	I	310, 311	II	434, 435	II
205	V	313	II	436	III
214-216	V	314	IV	439-441	VI
218, 219	VI	325-334	I	442, 443	I
224	VI	335-340	III	444-446	IV
237	I	341	I	447-451	V
239	I	342-349	III	452, 453	II
240	III	352-359	IV	454-461	III
246	III	361	VI	462-466	IV
257, 258	VI	362-367	IV	467-474	V
262	V	368-373	II	475-478	VI

1.3 Informes.

Número	Volumen	Número	Volumen	Número	Volumen
19	III	226	IV	341-344	II
32	V	227-231	II	345-357	III
42	III	233-236	II	358, 359	VI
79	V	238, 239	II	361	VI
93	VI	241	II	362-364	III
106, 107	III	244-251	II	366	III
109	III	252	(*)	367-373	I
111	III	253-256	II	374-393	IV
112	I	258-266	II	394	VI
122	V	267	III	395-397	IV
130, 137	IV	269-271	III	398-401	V
176-194	I	272, 273	I	403-407	V
195	III	275-282	I	409-412	V
196	I	283-290	IV	413-415	(*)
197, 198	III	292-294	V	416-423	I
200, 201	III	297-308	V	424-432	II
202	I	311-316	V	433-439	III
203	III	318-320	VI	440	(*)
204-214	IV	321	III	441	III
215	V	322	(*)	442-456	IV
216	VI	324-334	I	457-498	V
218, 219	IV	335	III	499-515	VI
222-224	IV	336-339	II	516	V
		340	(*)		

(*) Publicados por separado.

1.4 Resoluciones.

Número	Volumen	Número	Volumen	Número	Volumen
2-4	II	21-23	III	39, 40	VII
7, 8	II	24	VII	41-44	I
10	II	26, 27	VII	45-51	II
12, 13	II	30	II	52-54	III
14	III	33	VII	55, 56	IV
15, 16	I	36, 37	VII	57, 58	V
20	VI	38	V		
			VII		

1.5 Ruegos.

Número	Volumen	Número	Volumen	Número	Volumen
2	I	22, 23	II	32-35	I
11	I	24	VI	36, 37	III
13, 14	IV	26-28	III	38-41	V
15, 16	V	29, 30	I	42, 43	VI

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 que indica el número de revisiones a que se ha sometido el texto. 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. Por ejemplo:

- Programa de estudios 1A/10, para la versión original del Programa que se deriva de la Cuestión 1/10.
- Programa de estudios 1A-1/10, para la primera revisión del Programa que se deriva de la Cuestión 1/10.
- Programa de estudios 3-1A/10, para la versión original del Programa que se deriva de la Cuestión 3-1/10 revisada.
- Programa de estudios 3-1A-1/10, para la primera revisión del Programa que se deriva de la Cuestión 3-1/10 revisada.
- Programa de estudios 3-1B-1/10, para la primera revisión del segundo Programa de estudios que se deriva de la Cuestión 3-1/10 revisada.

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, no se hallará ninguna Cuestión que corresponda a dicho número.

Además, el número de la Cuestión que corresponde a su última revisión se utiliza para la composición del número del Programa de estudios. Esto facilita la consulta de los Volúmenes, pero excluye la posibilidad de que el Programa de estudios se haya establecido antes de la última versión de la Cuestión.

2.2 *Clasificación de Cuestiones y Programas de estudios.*

El plan que figura en la página 00 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.

**PLAN DE LOS VOLUMENES I A VII
DE LA XII ASAMBLEA PLENARIA DEL C. C. I. R.**

(Nueva Delhi, 1970)

VOLUMEN I	Utilización del espectro y comprobación técnica de las emisiones (Comisión de estudio 1).
VOLUMEN II (Parte 1)	Propagación en medios no ionizados (Comisión de estudio 5).
VOLUMEN II (Parte 2)	Propagación ionosférica (Comisión de estudio 6).
VOLUMEN III	Servicio fijo en frecuencias inferiores a unos 30 MHz (Comisión de estudio 3). Frecuencias patrón y señales horarias (Comisión de estudio 7). Vocabulario (CIV).
VOLUMEN IV (Parte 1)	Servicio fijo: Sistemas de relevadores radioeléctricos (Comisión de estudio 9). Coordinación y compartición de frecuencias entre los sistemas de telecomunicación por satélite y de relevadores radioeléctricos terrenales. (Asuntos comunes de las Comisiones de estudio 4 y 9).
VOLUMEN IV (Parte 2)	Servicios fijos con satélites de telecomunicación (Comisión de estudio 4). Investigación espacial y radioastronomía (Comisión de estudio 2).
VOLUMEN V (Parte 1)	Servicio de radiodifusión (sonora) (Comisión de estudio 10). Problemas comunes de la radiodifusión sonora y la televisión (Asuntos comunes de las Comisiones de estudio 10 y 11).
VOLUMEN V (Parte 2)	Servicio de radiodifusión (televisión) (Comisión de estudio 11). Transmisión a larga distancia de señales de radiodifusión sonora y de televisión (CMTT).
VOLUMEN VI	Servicios móviles (Comisión de estudio 8).
VOLUMEN VII	Informaciones relativas a la XII Asamblea Plenaria. Estructuras del C. C. I. R. Listas de los textos del C. C. I. R.

Nota.—Para facilitar las referencias, la numeración de las páginas de cada volumen es la misma en los tres idiomas, español, francés e inglés.

VOLUMEN II

PARTE 1

INDICE *

PROPAGACIÓN EN MEDIOS NO IONIZADOS

(COMISION DE ESTUDIO 5)

			<u>Página</u>
Introducción por el Relator principal de la Comisión de estudio 5.			13
SECCIÓN 5 A: Propagación, predicciones y curvas, y problemas de interferencia.			17
SECCIÓN 5 B: Radiometeorología			149
SECCIÓN 5 C: Efectos debidos al terreno			195
SECCIÓN 5 D: Propagación de la onda de superficie.			217
RECOMENDACIONES:		<u>SECCIÓN</u>	
Recomendación 310-2	Definición de términos relativos a la propagación troposférica.	5 B	149
Recomendación 311-1	Presentación de datos en los estudios relativos a la propagación troposférica.— <i>Radiodifusión y televisión</i>	5 A	17
Recomendación 368-1	Curvas de propagación de la onda de superficie para frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 10 MHz	5 D	217
Recomendación 369-1	Definición de una atmósfera fundamental de referencia.	5 B	152
Recomendación 370-1	Curvas de propagación de ondas métricas y decimétricas para la gama de frecuencias comprendida entre 30 y 1000 MHz. <i>Radiodifusión y servicios móviles</i>	5 A	20
Recomendación 452	Consideraciones relativas a la propagación para evaluar las interferencias entre servicios espaciales y servicios terrenales que funcionan en un mismo canal	5 A	38
Recomendación 453	Fórmula del índice de refracción radioeléctrica.	5 B	152
INFORMES:			
Informe 227	Mediciones de intensidad de campo, de densidad de flujo de potencia, de potencia radiada, de potencia disponible en la antena receptora y de pérdida de transmisión.	5 A	42
Informe 228-1	Medición de la intensidad de campo para los servicios de radiodifusión de ondas métricas y decimétricas, televisión inclusive.	5 A	53
Informe 229-1	Determinación de las características eléctricas de la superficie de la Tierra.	5 C	195
Informe 230-1	Propagación de la onda por terreno heterogéneo.	5 C	201

* En el presente Volumen, las Recomendaciones y los Informes se han agrupado en secciones que tratan de un tema determinado. Debido al sistema utilizado para la numeración de dichos textos no es posible presentarlos en su orden numérico y seguir, al mismo tiempo, el orden numérico de las páginas. En consecuencia, en este índice se sigue el numérico creciente de los textos y no el de las páginas.

	SECCIÓN	Página
Informe 231-2	Atmósfera de referencia	5 B 153
Informe 233-2	Influencia de las regiones no ionizadas de la atmósfera en la propagación de las ondas.— <i>Propagación suelo-suelo</i>	5 B 155
Informe 234-2	Influencia de la refracción troposférica y de la atenuación en los sistemas de telecomunicación espacial.— <i>Propagación Tierra-espacio</i>	5 B 169
Informe 235-1	Efectos de la refracción troposférica en las frecuencias inferiores a 10 MHz	5 D 224
Informe 236-2	Influencia de los accidentes del terreno en la propagación troposférica	5 C 206
Informe 238-1	Datos de propagación necesarios para los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte	5 A 65
Informe 239-2	Resultados estadísticos de propagación en el servicio de radiodifusión y en el servicio móvil en la gama de frecuencias de 30 a 1000 MHz.	5 A 70
Informe 241-1	Datos de propagación requeridos para los sistemas de relevadores radioeléctricos.— <i>Compilación de datos</i>	5 A 87
Informe 244-2	Evaluación de la pérdida de transmisión de la onda troposférica.	5 A 87
Informe 336	Utilización de frecuencias en la región situada más allá de la ionosfera y en la cara oculta de la Luna.	5 A 113
Informe 337-1	Factores de propagación que intervienen en la compartición del espectro de la frecuencia radioeléctrica entre los sistemas de relevadores radioeléctricos espaciales y terrenales.	5 A 114
Informe 338-1	Datos de propagación requeridos para sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa.	5 A 114
Informe 339-1	Influencia de la dispersión provocada por las precipitaciones en la elección de la ubicación de las estaciones terrenas	5 B 182
Informe 424	Curvas de propagación en ondas métricas, decimétricas y centimétricas para el servicio móvil aeronáutico.	5 A 128
Informe 425	Evaluación de la pérdida de transmisión en la propagación troposférica.— <i>Utilización de calculadoras electrónicas para preparar curvas de propagación destinadas al servicio de radiodifusión y a los servicios móviles</i>	5 A 135
Informe 426	Métodos para predecir el ruido radioeléctrico y la atenuación y refracción de las ondas radioeléctricas en los sistemas de telecomunicación por satélite.— <i>Recopilación de datos</i>	5 B 193
Informe 427	Factor de pantalla del terreno que debe utilizarse para el cálculo de la distancia de coordinación.	5 C 211
Informe 428	Cálculo de las curvas de propagación de la onda de superficie con calculadora electrónica.	5 D 226

CUESTIONES Y PROGRAMAS DE ESTUDIOS:

Cuestión 1-1/5	Propagación por terreno heterogéneo y accidentado.	229
Programa de estudios 1-1A/5	Efectos de los accidentes del terreno en la propagación troposférica.	230
Cuestión 2-1/5	Influencia de las regiones no ionizadas de la atmósfera en la propagación de las ondas.— <i>Radiometeorología para telecomunicaciones</i>	231
Cuestión 3/5	Efectos de la refracción troposférica en las frecuencias inferiores a 10 MHz.	233
Cuestión 5-1/5	Datos de propagación requeridos para los sistemas de telecomunicación terrenales y espaciales	234

	Página
Programa de estudios 5-1A-1/5 Datos de propagación requeridos para los sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa.	234
Programa de estudios 5-1B-1/5 Datos de propagación requeridos para los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte.	235
Programa de estudios 5-1C-1/5 Atenuación y refracción troposférica en los sistemas de radiocomunicaciones espaciales	237
Programa de estudios 5-1D-1/5 Factores de propagación que influyen en la compartición de bandas de frecuencias entre sistemas espaciales y sistemas de relevadores radioeléctricos.	238
Programa de estudios 5-1E-1/5 Influencia de la dispersión causada por las precipitaciones en la elección de las ubicaciones de las estaciones terrenas.	239
Programa de estudios 5-1F-1/5 Factor de pantalla del terreno para el cálculo de la distancia de coordinación.	240
Programa de estudios 7A/5 Curvas de propagación en ondas métricas y decimétricas en la gama de frecuencias comprendidas entre 30 MHz y 1 GHz.— <i>Radiodifusión y servicios móviles</i>	241
Cuestión 8/5 Datos de propagación para la radiodifusión sonora y la televisión en bandas de frecuencias superiores a 10 GHz.	242
Cuestión 9/5 Consideraciones sobre la propagación, de interés para los servicios móviles que utilizan sistemas de telecomunicación o de radiodeterminación por satélite.	243

RESOLUCIONES:

Resolución 2-1 Datos relativos a la propagación troposférica para la radiodifusión, las telecomunicaciones espaciales y los enlaces entre puntos fijos.	243
Resolución 3-1 Influencia de las regiones no ionizadas de la atmósfera en la propagación de las ondas.	244
Resolución 45 Predicción de la fase y de la amplitud de la onda de superficie.	245
Resolución 46 Publicación de un Atlas de los coeficientes de reflexión.	246

RUEGOS:

No se ha formulado ningún Ruego en los trabajos de la Comisión de estudio 5.

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

PROPAGACIÓN EN MEDIOS NO IONIZADOS

COMISIÓN DE ESTUDIO 5

Mandato:

Estudiar la propagación de las ondas radioeléctricas (y de los ruidos):

- a) En la superficie de la Tierra;
- b) A través de las regiones no ionizadas de la atmósfera terrestre;
- c) En el espacio en que los efectos de la ionización sean despreciables, con miras a mejorar las radiocomunicaciones.

Relator principal:

J. A. SAXTON (Reino Unido).

Relator principal adjunto:

A. KALININ (U. R. S. S.).

INTRODUCCIÓN DEL RELATOR PRINCIPAL DE LA COMISIÓN DE ESTUDIO 5

La antigua Comisión de estudio V del C. C. I. R. es hoy día la Comisión de estudio 5, como consecuencia de la nueva estructuración de las Comisiones de estudio aprobada en la XII Asamblea Plenaria, Nueva Delhi, 1970. En realidad, la reorganización no ha afectado prácticamente a la Comisión de estudio V, y todos los textos cuyo estudio le incumbían se han atribuido ahora a la Comisión de estudio 5.

La Comisión de estudio V celebró dos reuniones entre la XI Asamblea Plenaria, Oslo, 1966, y la XII Asamblea Plenaria, Nueva Delhi, 1970: una reunión intermedia en Boulder, Colorado, en 1968, y una reunión final en Ginebra, en 1969.

El Dr. R. L. SMITH-ROSE (Reino Unido) cesó en sus funciones de Relator principal de la Comisión de estudio en la Asamblea Plenaria de Nueva Delhi, después de haber dirigido sus trabajos desde la creación de la Comisión en 1948. La amplia naturaleza de las actividades de la Comisión debe mucho a su influencia.

1. Alcance de los trabajos de la Comisión de estudio.

Aunque la Comisión de estudio tiene que seguir contribuyendo a una mejor comprensión de la propagación de la onda de superficie, incluidos algunos estudios en frecuencias por debajo de 30 MHz, se da ahora principal relieve a la investigación de los efectos de la troposfera y del terreno en frecuencias superiores a 30 MHz. Estas investigaciones son de fundamental importancia para el desarrollo de los propios servicios terrenales y espaciales de telecomunicación, y esenciales para determinar los criterios en que ha de inspirarse la compartición de frecuencias por estos servicios. Las Recomendaciones e Informes de la Comisión de estudio aprobados en la Asamblea Plenaria de Nueva Delhi aportarán, pues, una contribución interesante a la información básica requerida para la Conferencia Administrativa Mundial de Telecomunicaciones Espaciales de 1971.

El alcance de los estudios que se prosiguen y los resultados de las investigaciones hechas se presentan detalladamente en el texto que sigue a estas observaciones preliminares.

2. Problemas de particular interés.

Aunque algunos de los estudios propuestos se refieren particularmente a los servicios terrenales, y otros principalmente a los servicios espaciales, muchos de ellos se relacionan, de hecho, con ambos servicios, en especial en lo que concierne a su coexistencia.

Existen Recomendaciones relativas a los servicios de radiodifusión y móvil terrestre que pueden mejorarse en vista de los nuevos datos que se poseen; para el servicio móvil aeronáutico son necesarios nuevos estudios, y se ha preparado sobre ellos un Informe que servirá de útil orientación.

Se han hecho amplios estudios sobre la pérdida de transmisión en los trayectos terrenales entre puntos fijos. No ha sido posible formular ninguna Recomendación de un método único preferido, pero en el Informe 244-2 se mencionan distintos métodos aplicables en circunstancias diferentes.

Temas importantes que requieren nuevos estudios son:

- a) La propagación por trayectos mixtos;
- b) Efectos de pantalla y de dispersión de los obstáculos;
- c) Pérdida de transmisión en frecuencias superiores a 3 GHz (terrenal);
- d) Variabilidad de la pérdida de transmisión en trayectos Tierra-espacio;
- e) Probabilidades de interferencia entre los servicios espaciales y terrenales, esto es, efectos de la dispersión producida por precipitaciones;
- f) Se han hecho atribuciones de frecuencias hasta 40 GHz, y se necesita más información sobre factores de propagación como la absorción y la dispersión hasta dicho límite e incluso más allá;
- g) Consideraciones radiometeorológicas en relación con los puntos a) a f).

Aunque en el texto de las Cuestiones y Programas de estudio asociados que figuran en este Volumen se indica la forma en que la Comisión de estudio está abordando los problemas mencionados, vale la pena señalar especialmente los puntos siguientes, en relación con tres cuestiones particulares.

2.1 Radiometeorología.

El factor dominante en la propagación en frecuencias superiores a 30 MHz es la manera en que en ella influyen las condiciones meteorológicas, y es de vital importancia obtener datos relativos a una gama lo más amplia posible de condiciones climáticas. Un Grupo interino de trabajo de expertos (véase la Resolución 3-1) se ha encargado de proseguir los estudios en esta materia, de especial importancia en las zonas tropical y semi-tropical. Como muchos de los países nuevos o en vía de desarrollo están situados en estas zonas, es evidente que son estos países quienes pueden contribuir más al progreso de tales estudios efectuando mediciones de propagación y presentando sus resultados al Grupo de trabajo, para su examen e inclusión en Informes y Recomendaciones. En las Cuestiones 2-1/5 y 8/5 y en las partes apropiadas de los Programas de estudios 5-1B-1/5, 5-1C-1/5, 5-1D-1/5 y 5-1E-1/5 se tratan los puntos más importantes.

2.2 Compartición de frecuencias.

Con la nueva expansión de los sistemas espaciales y terrenales que funcionan en frecuencias superiores a 1 GHz, es evidente que la utilización eficaz del espectro requerirá el máximo grado de compartición económicamente factible. Es, pues, de extrema urgencia hacer cuanto sea posible por lograr este objetivo. Los estudios pertinentes figuran en la Cuestión 5-1/5 y en los Programas de estudio asociados 5-1A-1/5, 5-1B-1/5, 5-1D-1/5 y 5-1F-1/5. La importante responsabilidad de estos trabajos la asume un nuevo Grupo interino de trabajo. (Véase la Resolución 2-1.)

Debe tenerse en cuenta, en ausencia de datos de propagación fidedignos para muchas zonas tropicales (véase precedentemente), que la verdadera compartición de frecuencias por diferentes servicios en tales zonas puede dar lugar a dificultades que por el momento son imprevisibles.

Aunque puede parecer que los problemas de compartición de frecuencias no son en algunos países de urgencia inmediata, insistimos en que todas las administraciones deben tenerlos en cuenta al empezar a planificar nuevos sistemas.

2.3 *Aplicación de las técnicas de cálculo electrónico.*

Aunque está ya bien establecida la aplicación de las técnicas de calculadora electrónica a la determinación de la pérdida de transmisión en trayectos entre puntos fijos, las estimaciones de cobertura de la radiodifusión han solido basarse, hasta el presente, en curvas empíricas derivadas de observaciones en cierto número de puntos de las zonas de servicio de transmisores operacionales clásicos. Es verdad que las técnicas de cálculo electrónico se han aplicado desde hace algún tiempo al problema de la ubicación de los transmisores de canales comunes para evitar interferencias, pero sólo ahora empiezan a utilizarse seriamente esas técnicas para determinar las zonas de cobertura de la radiodifusión, a base de una evaluación estadística de muchos trayectos entre puntos fijos dentro de una zona apropiada. Se espera que los progresos derivados de estas aplicaciones serán considerables.

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

SECCION 5 A: PROPAGACION, PREDICCIONES Y CURVAS, Y PROBLEMAS
DE INTERFERENCIA

RECOMENDACIONES E INFORMES

Recomendaciones

RECOMENDACION 311-1

PRESENTACIÓN DE DATOS EN LOS ESTUDIOS RELATIVOS
A LA PROPAGACIÓN TROPOSFÉRICA

Radiodifusión y Televisión

El C. C. I. R.,

(1953 - 1956 - 1959 - 1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que los ingenieros encargados de organizar los servicios de radiodifusión y televisión en la banda de frecuencias comprendida entre 30 MHz y 18 GHz, necesitan con urgencia normas para orientar sus trabajos;
- b) Que importa determinar la influencia que en la intensidad de campo, en esta banda de frecuencias, tienen las condiciones meteorológicas y la naturaleza del terreno en lugares situados tanto a un lado como a otro de la línea del horizonte;
- c) Que para facilitar la comparación de los resultados conviene que las administraciones y empresas privadas de explotación presenten de manera uniforme los datos relativos a la intensidad de campo, y
- d) Que todavía no se puede fijar definitivamente la forma en que han de presentarse los resultados ni el método de análisis estadístico que más conviene a las necesidades expuestas en a) y b),

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

- 1. Que siempre que sea posible se determinen las intensidades de campo excedidas durante un 0,1 %, 1 %, 10 %, 50 %, 90 %, 99 % y 99,9 % del tiempo total, para todas las ubicaciones en que se hagan mediciones;
- 2. Que en el caso de la radiodifusión y de la televisión, se determinen los valores medianos de las intensidades de campo excedidas en un 10 %, 50 % y 90 % de las ubicaciones;
- 3. Que se complete esta estadística global con un análisis más minucioso y preciso, inspirándose a tal efecto en los métodos propuestos en el anexo I a la presente Recomendación, en el documento 172 (Francia), de Varsovia, 1956, o en el documento V/28 (Francia), de Ginebra, 1958;
- 4. Que se presenten los resultados estadísticos de las mediciones de intensidad de campo en papel especial para el estudio de probabilidades, debiendo llevarse al eje de ordenadas los valores de la intensidad de campo expresados en decibelios con relación a un micro-voltio por metro, en orden creciente de abajo a arriba, y al eje de abscisas, el porcentaje del tiempo total del registro considerado, o el porcentaje de ubicaciones, según una escala de acuerdo con la ley de probabilidades de Gauss y en orden creciente de izquierda a derecha. En el anexo II puede verse un ejemplo de distribución logarítmica normal representada en papel para estudios de probabilidades;
- 5. Que se normalicen todos los valores medidos de intensidad de campo para que correspondan con los que se obtendrían con un dipolo vertical de media onda o con un dipolo

horizontal de media onda perpendicular a la dirección de recepción, hallándose situado el dipolo en ambos casos a una altura de varias longitudes de onda por encima del suelo y radiando una potencia de 1 kW, y

6. Que, en el caso de la radiodifusión y de la televisión, siempre que sea posible, las mediciones se refieran a una antena receptora situada a 10 metros de altura sobre el suelo, y que esta antena no sea muy directiva en el plano vertical.

ANEXO I

Adviértase que las recomendaciones precedentes se refieren en particular a la propagación de las ondas a largas distancias (sobre todo, en relación con los problemas de interferencia en la radiodifusión sonora y en la televisión) y a las características de propagación en las zonas de servicio de las estaciones de radiodifusión sonora y de televisión. Si bien en estos casos lo que más interesa es determinar los valores de la intensidad de campo excedidos durante diversos porcentajes del tiempo total a distintas distancias, para un estudio más detallado quizá sería conveniente analizar las mediciones durante periodos de una hora. Esto permitiría estudiar las variaciones diurnas, en tanto que las variaciones estacionales podrían estudiarse agrupando los valores obtenidos a determinadas horas del día durante un mes completo y examinando las variaciones de un mes a otro de la distribución de las intensidades de campo. Este procedimiento permitiría, además, establecer ulteriormente la correlación de los resultados así presentados con los datos meteorológicos.

Para el estudio de la propagación de las ondas métricas, decimétricas o centimétricas, en circuitos fijos a distancia óptica puede ser necesaria una correlación más precisa entre la intensidad de campo recibida y las condiciones atmosféricas reinantes. Por esta y otras razones se considera que los resultados deberían poder presentarse para cada hora del día de cada mes en que se efectúan las pruebas. Al propio tiempo sería necesario establecer curvas de distribución para periodos de un mes, para facilitar el estudio de las variaciones estacionales; los ingenieros encargados de preparar planes necesitarán también, sin duda, curvas de distribución para periodos más largos. Por regla general, será conveniente referir los resultados al valor del campo en espacio libre para la distancia y demás condiciones consideradas.

Aunque normalmente será preferible conservar para consulta los gráficos originales de las intensidades de campo medidas, es indispensable prever un modo de presentación de los datos más sencillo y asequible llevando, por ejemplo, a un papel de escala lineal los valores máximos, mediano y mínimo de la intensidad de campo para cada hora y representando la dispersión de los resultados horarios por una línea vertical. Además, al determinar los valores medianos horarios o los valores horarios correspondientes a otros porcentajes de tiempo, se puede obtener la distribución estadística de los valores correspondientes a una hora dada durante un mes (o cualquier otro periodo que se desee).

ANEXO II

Una escala de probabilidad se define por

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{1}{2}\xi^2} d\xi$$

Con abscisas $x = 0$, $x \rightarrow \infty$ y $x \rightarrow -\infty$, los valores correspondientes de la probabilidad $P(x)$ son 50 %, 0 % y 100 %.

Una distribución normal de la amplitud F de una intensidad de campo medida en dB (distribución logarítmica normal) se obtiene por

$$P(F) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_F^{\infty} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{f - F_m}{\sigma} \right)^2} df$$

$P(F)$ es la probabilidad (porcentaje de tiempo o de ubicaciones) de que la intensidad de campo E , expresada en dB por encima de $1 \mu\text{V/m}$ ($F = 20 \log E$) excede el nivel F .

F_m es el valor mediano de F , es decir, excedido durante el 50 % del tiempo o en el 50 % de ubicaciones, y σ es la desviación normal, de suerte que $P(F_m - \sigma) \approx 84 \%$, y $P(F_m + \sigma) \approx 16 \%$.

Suele ser de interés conocer la intensidad de campo excedida durante el 1 % o el 10 % del tiempo; cuando la distribución es logarítmica normal, la curva de distribución es una línea recta, y las desviaciones correspondientes se dan por 2,32 σ y 1,28 σ .

La siguiente figura ilustra la presentación de una distribución logarítmica normal.

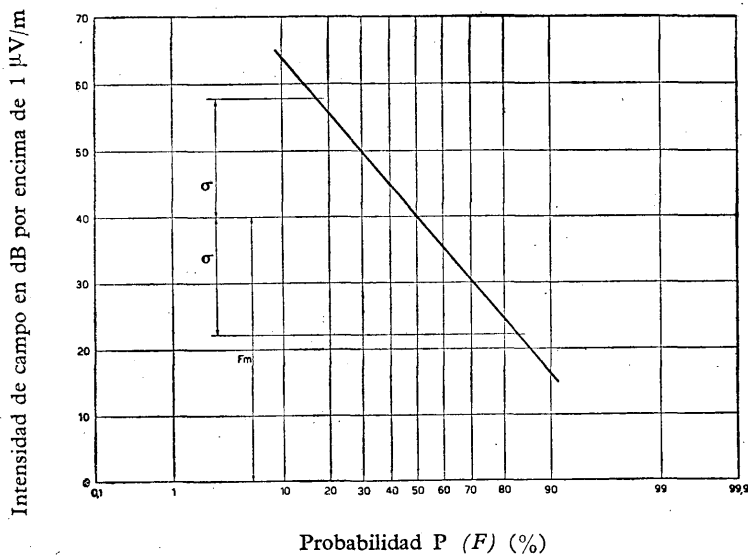


Gráfico de una distribución logarítmica normal de mediciones de intensidad de campo

RECOMENDACION 370-1

CURVAS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS MÉTRICAS Y DECIMÉTRICAS PARA LA GAMA DE FRECUENCIAS COMPRENDIDA ENTRE 30 Y 1000 MHz *

Radiodifusión y servicios móviles

El C. C. I. R.,

(1951 - 1953 - 1956 - 1959 - 1963 - 1966 - 1970)

CONSIDERANDO:

- a) La necesidad de facilitar indicaciones a los ingenieros encargados de los planes de los servicios de radiodifusión y móviles en las bandas de ondas métricas y decimétricas;
- b) La importancia de determinar la distancia geográfica mínima entre las estaciones que trabajan en los mismos canales o en canales adyacentes, a fin de evitar la interferencia intolerable ocasionada por una propagación troposférica a gran distancia, y
- c) Que las curvas anexas se basan en el análisis estadístico de un número considerable de datos experimentales (véase el Informe 239-2),

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

1. La adopción, para su empleo provisional, de las curvas ** revisadas de los anexos I y II, habida cuenta de los puntos siguientes:
 - 1.1 Se han ajustado los valores de la intensidad de campo para que correspondan a una potencia de 1 kW radiada por un dipolo de media onda.
 - 1.2 La altura de la antena transmisora se define por la altura de esta antena sobre el nivel medio del terreno entre las distancias de 3 y de 15 km a partir del transmisor, en dirección del receptor.
 - 1.3 La altura de la antena receptora se define por la altura sobre el terreno local.
 - 1.4 Para definir el grado de irregularidad del terreno se utiliza un parámetro Δh , que es la diferencia entre las alturas del terreno excedidas en un 10 y en un 90 % del trayecto de propagación entre 10 y 50 km de distancia del transmisor (véase la fig. 7).
 - 1.5 El efecto de una modificación de la altura de la antena receptora se estudia en el § 4.2 del Informe 239-2.
 - 1.6 En el Informe 239-2 se describe un método para determinar intensidades de campo en trayectos mixtos.

* Adviértase que las curvas de esta Recomendación están destinadas a la planificación de los servicios de radiodifusión y móviles, para resolver los problemas de interferencia en una amplia zona. No deben utilizarse para circuitos entre puntos fijos porque, en este caso, es posible determinar el verdadero perfil del terreno y emplear métodos más precisos de predicción de la intensidad de campo.

** Adviértase que las curvas están basadas en datos obtenidos principalmente en climas templados y deberán utilizarse con precaución en otros climas.
Las curvas de propagación para la radiodifusión en el Continente africano se hallan en las Actas finales de la Conferencia Africana de Radiodifusión de Ondas Métricas y Decimétricas (Ginebra, 1963), págs. 343-379.

ANEXO I

BANDAS DE ONDAS MÉTRICAS (30-250 MHz)

1. Las curvas del anexo I han sido preparadas principalmente con los datos proporcionados por Estados Unidos de América y por los países de Europa occidental; se han hecho muchas más medidas para distancias de hasta unos 500 km que para distancias superiores; por consiguiente, las curvas ofrecen mucha mayor seguridad en las distancias inferiores a unos 500 km.
2. En las figs. 1, 2 y 3 se dan las intensidades de campo excedidas en el 50 % de los puntos de recepción durante el 50 %, el 10 % y el 1 % del tiempo, respectivamente. Las curvas correspondientes a valores excedidos durante el 50 % y el 10 % del tiempo son válidas para los trayectos terrestres y para los trayectos marítimos de la zona del Mar del Norte. La fig. 4 indica los valores excedidos durante el 1 % del tiempo en trayectos marítimos de la zona del Mar del Norte. La experiencia ha demostrado que en el Mediterráneo y en el Golfo de México, especialmente en verano, las intensidades de campo pueden alcanzar un valor hasta 20 dB mayor que los de las curvas relativas a la zona del Mar del Norte, para distancias superiores a unos 200 km.

Los valores de intensidad de campo, obtenidos por extrapolación (curvas de trazos) para trayectos terrestres de más de unos 700 km, habrán de utilizarse con prudencia.

3. Las intensidades de campo dadas en las figs. 1, 2 y 3 se refieren al 50 % de los puntos de recepción en un terreno medianamente ondulado, como suele encontrarse en Europa y América del Norte. Para este tipo de terreno pueden obtenerse las intensidades de campo correspondientes a otros porcentajes de puntos de recepción mediante la curva de distribución de la fig. 5.

Ni las curvas de las figs. 1, 2 ó 3, ni la curva de distribución de la fig. 5 pueden dar indicaciones muy exactas cuando se trata de terrenos excesivamente ondulados o montañosos. En tales casos se utilizará para la banda III el factor de corrección de atenuación (en dB) indicado en la fig. 8 a).

4. Sabido es que la intensidad de campo mediana varía según la región climatológica; los datos compilados en Estados Unidos de América y en Europa occidental, en condiciones climatológicas muy diversas, demuestran la posibilidad de establecer una correlación entre el valor mediano de las intensidades de campo observadas y el gradiente del índice de refracción en el primer kilómetro de atmósfera sobre el nivel del suelo. Si ΔN se define como $10^6 (n_1 - n_s)$, siendo n_s el índice de refracción en la superficie del suelo y n_1 el de refracción a 1 km de altura, para una atmósfera normal, tendremos $\Delta N \approx -40$; la curva 50 % de la fig. 1 se aplica a este caso. Si el valor medio de ΔN en una región dada es muy diferente de -40 , para obtener el valor mediano de las intensidades de campo correspondientes a distancias mayores que el horizonte, hay que aplicar a las curvas un factor de corrección de $-0,5 (\Delta N + 40)$ dB. Si se desconoce ΔN , pero se poseen datos que permiten calcular el valor medio de N_s , siendo $N_s = 10^6 (n_s - 1)$, se puede, por lo menos para las regiones templadas, aplicar otro factor de corrección, que es de $0,2 (N_s - 310)$ dB. Aun cuando hasta la fecha sólo se han establecido estos factores de corrección para las zonas geográficas anteriormente indicadas, pueden servir de indicación para las correcciones que sea necesario efectuar en otras zonas distintas. Se desconoce hasta qué punto es correcto aplicar correcciones análogas a las curvas de intensidad de campo excedidas durante el 1 % y el 10 % del tiempo. Sin embargo, se cree que habrá de efectuarse una corrección importante de los valores excedidos durante el 1 % y el 10 % del tiempo en las regiones en que predomina la superrefracción durante una parte apreciable del tiempo.
5. En la fig. 6 se indican las curvas de intensidad de campo de las ondas métricas para trayectos mixtos (terrestres y marítimos) y el 1 % del tiempo, con una antena transmisora a 300 m de altura. Estas curvas se han establecido en la hipótesis de que son iguales las secciones terrestres del trayecto a uno y otro lado de la porción marítima. En otros casos podrá determinarse la intensidad de campo de trayectos mixtos según el método descrito en el Informe 239-2.

ANEXO II

BANDA DE ONDAS DECIMÉTRICAS (450-1000 MHz)

1. En las figs. 9, 10 y 11 se dan las intensidades de campo excedidas en trayectos terrestres en el 50 % de los puntos de recepción durante el 50 % y el 10 % del tiempo, respectivamente. Se refieren a un terreno medianamente ondulado, como suele encontrarse en Europa y América del Norte, que se caracteriza por un valor $\Delta h = 50$ m. Para parámetros Δh superiores o inferiores a este valor, conviene aplicar una corrección a las curvas, como se indica en la fig. 8 b).
2. Se estima que las intensidades de campo indicadas en las figs. 9, 10 y 11 se exceden en el 50 % de los puntos de recepción en un terreno medianamente ondulado como el que suele encontrarse en Europa y en América del Norte. Para este tipo de terreno pueden obtenerse las intensidades de campo correspondientes a otros porcentajes de los puntos de recepción con las curvas de distribución que se dan en la fig. 12.
3. En las figs. 13, 14, 15 y 16 se indican las intensidades de campo excedidas en el 50 % de los puntos de recepción de las regiones costeras durante el 50 %, 10 %, 5 % y 1 % de tiempo, respectivamente. Estas curvas se refieren a la propagación en las zonas del Mar del Norte y del Mediterráneo; los valores para distancias mayores están basados en mediciones efectuadas en la zona del Mar del Norte. Algunas mediciones efectuadas en la zona mediterránea para el valor mediano de la intensidad de campo concuerdan satisfactoriamente con las curvas. Se ha comprobado, no obstante, que las intensidades de campo excedidas durante pequeños porcentajes de tiempo en la zona mediterránea son superiores a las observadas en la zona del Mar del Norte.
4. Estas curvas están basadas en valores correspondientes a largos períodos (varios años) y pueden considerarse representativas de las condiciones climáticas medias reinantes en las zonas templadas. Ha de hacerse notar, sin embargo, que durante cortos períodos (de unas horas o de algunos días) puede haber intensidades de campo muy superiores a las indicadas en las figs. 9 a 16 inclusive.
5. Las figs. 17 a) y 17 b) son curvas de intensidad de campo en trayectos mixtos (terrestres y marítimos) correspondientes al 1 % y al 10 % del tiempo, con una antena transmisora a 300 m de altura. Estas curvas se han establecido en la hipótesis de que son iguales las secciones terrestres del trayecto a uno y otro lado de porción marítima. En otros casos podrá determinarse la intensidad de campo de trayectos mixtos según el método descrito en el Informe 239-2.

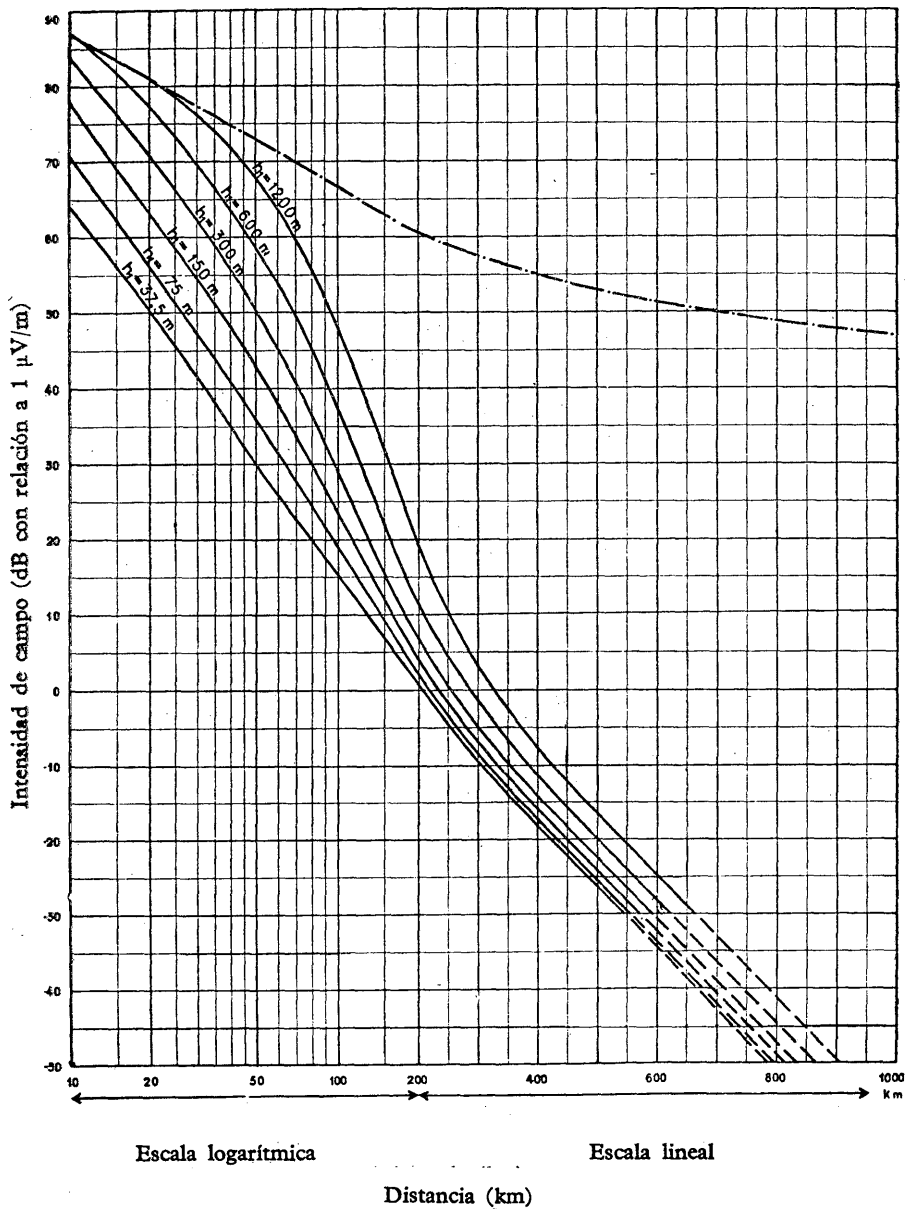


FIGURA 1

Intensidad de campo (dB con relación a 1 $\mu\text{V/m}$) para 1 kW de potencia radiada aparente
 Frecuencias: 30-250 MHz (bandas I, II y III).—Tierra y mar (región del Mar del Norte)—
 50 % del tiempo — 50 % de las ubicaciones — $h_2 = 10$ m.

----- Espacio libre

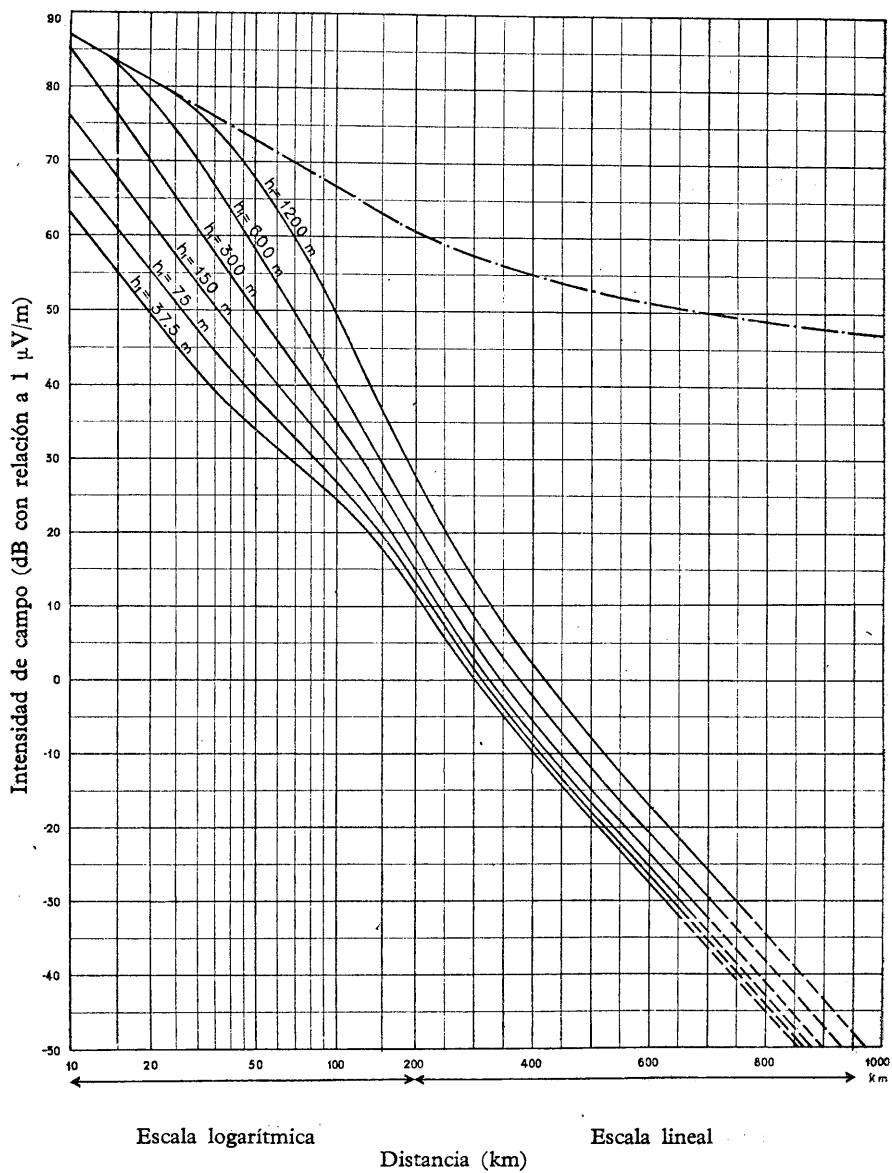


FIGURA 2

Intensidad de campo (dB con relación a 1 $\mu\text{V/m}$) para 1 kW de potencia radiada aparente
 Frecuencias: 30-250 MHz (bandas I, II y III).—Tierra y mar (región del Mar del Norte).—
 10 % del tiempo — 50 % de las ubicaciones — $h_s = 10$ m.

————— Espacio libre

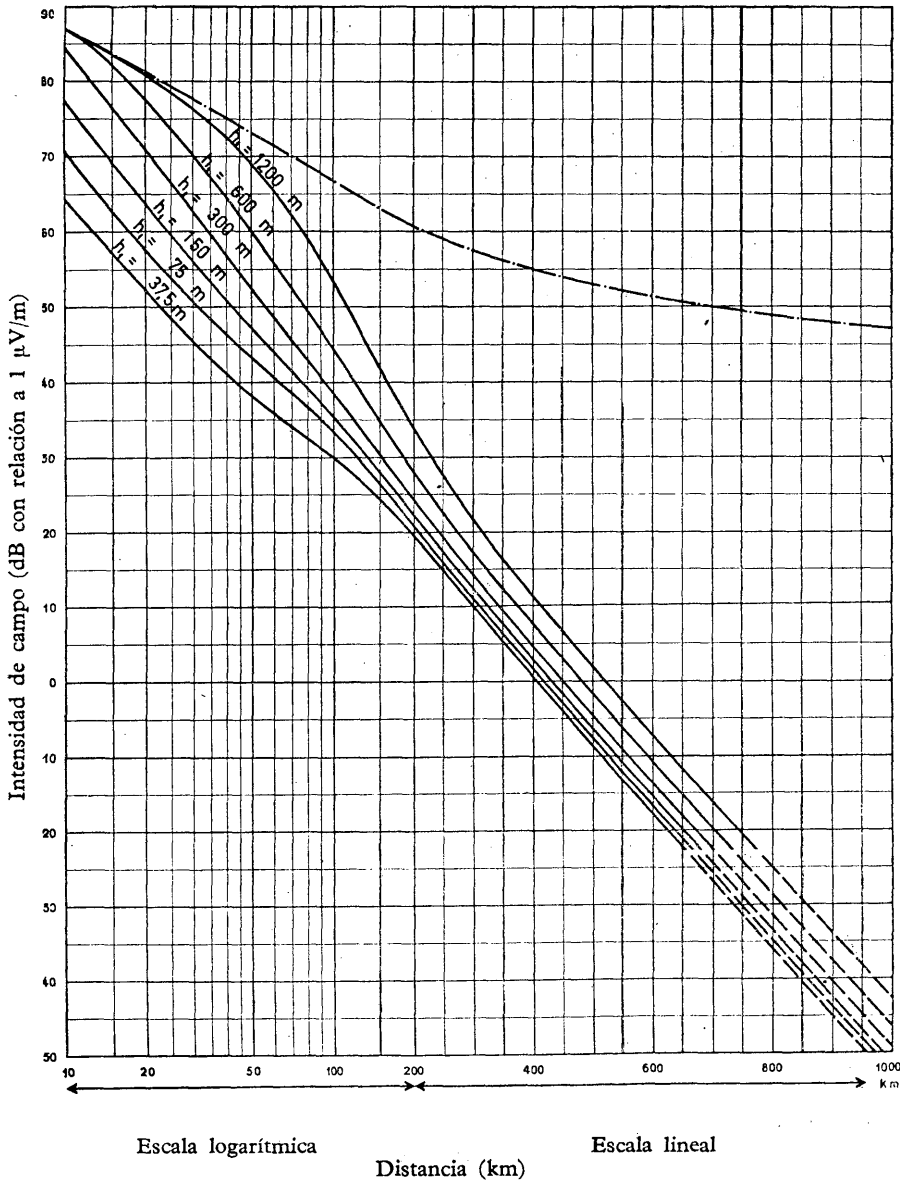


FIGURA 3

Intensidad de campo (dB con relación a 1 $\mu V/m$) para 1 kW de potencia radiada aparente

*Frecuencias: 30-250 MHz (bandas I, II y III).—Tierra — 1 % del tiempo —
50 % de las ubicaciones — $h_2 = 10$ m.*

— Espacio libre

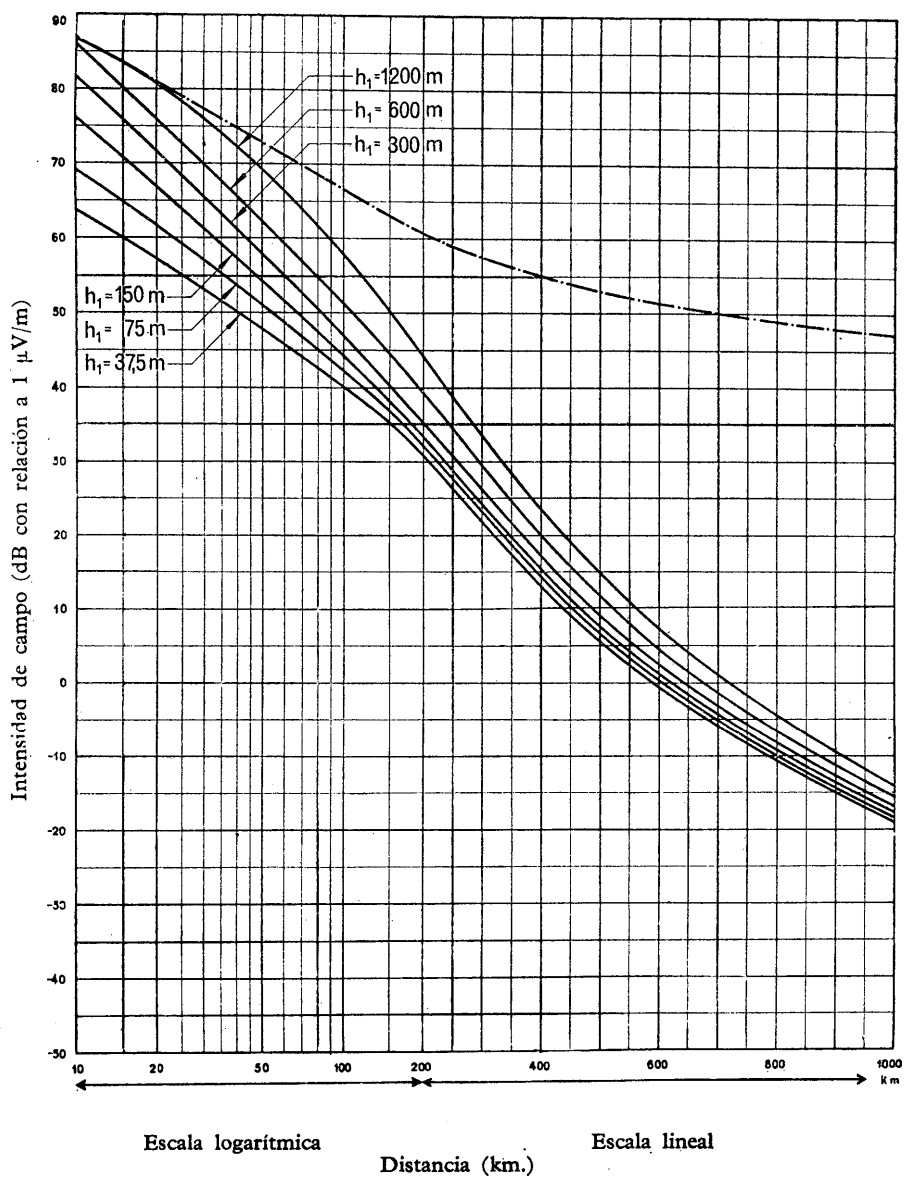


FIGURA 4

Intensidad de campo (dB con relación a 1 $\mu V/m$) para 1 kW de potencia radiada aparente

Frecuencias: 30-250 MHz (bandas I, II y III).—Mar del Norte — 1 % del tiempo —
 50 % de las ubicaciones — $h_2 = 10\text{ m}$.

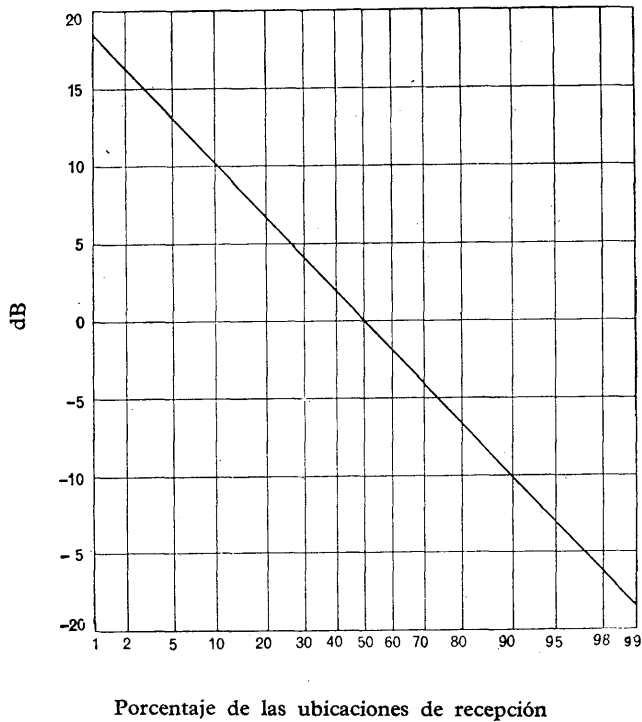


FIGURA 5

Relación (dB) entre la intensidad de campo para un porcentaje cualquiera de las ubicaciones de recepción y la intensidad de campo para el 50 % de las ubicaciones de recepción

Frecuencias: 30-250 MHz (bandas I, II y III).

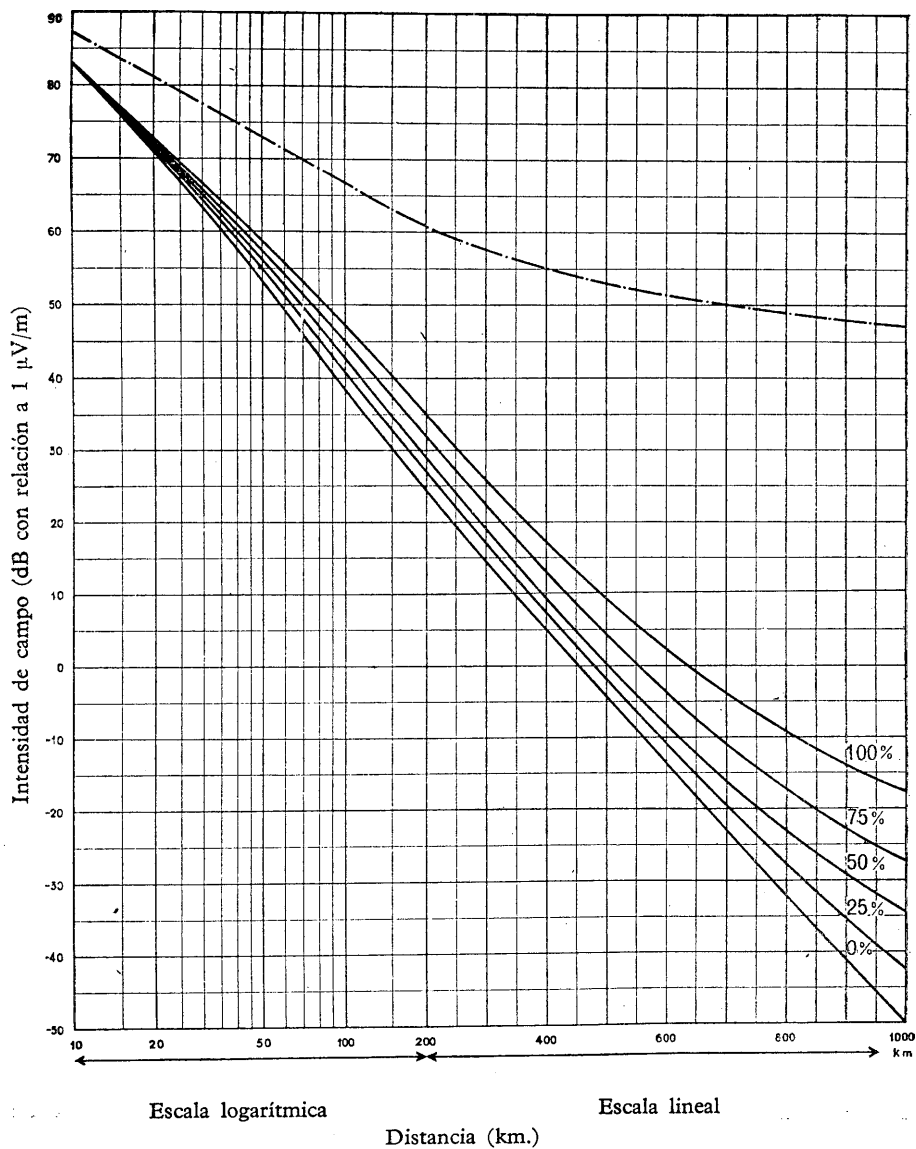


FIGURA 6

Intensidad de campo (dB con relación a $1 \mu\text{V/m}$) para 1 kW de potencia radiada aparente

Frecuencias: 30-250 MHz (bandas I, II y III).—Trayecto mixto, tierra y mar (Mar del Norte) —
 1 % del tiempo — 50 % de las ubicaciones — $h_s = 10 \text{ m}$ — $h_1 = 300 \text{ m}$.
 (Curvas que mejor se adaptan al porcentaje indicado de trayecto marítimo.)

———— Espacio libre

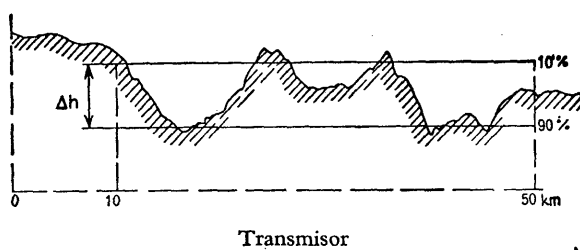


FIGURA 7

Definición del parámetro Δh

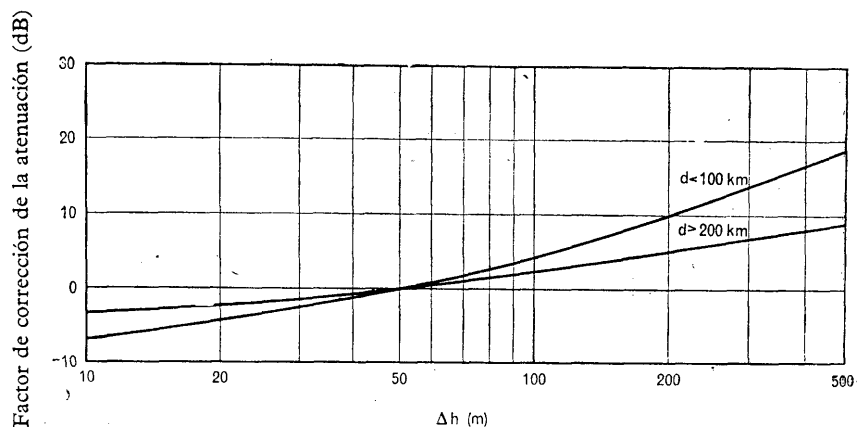


FIGURA 8 a)

Factor de corrección de la atenuación, en función de Δh , para frecuencias de 150 a 250 MHz (banda III)
(d es la distancia desde el transmisor)

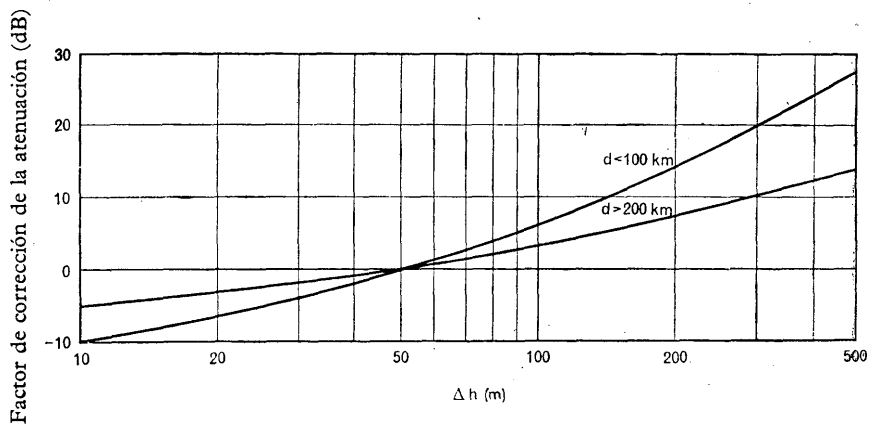


FIGURA 8 b)

Factor de corrección de la atenuación, en función de Δh , para frecuencias de 450 a 1000 MHz (bandas IV y V)
(d es la distancia desde el transmisor)

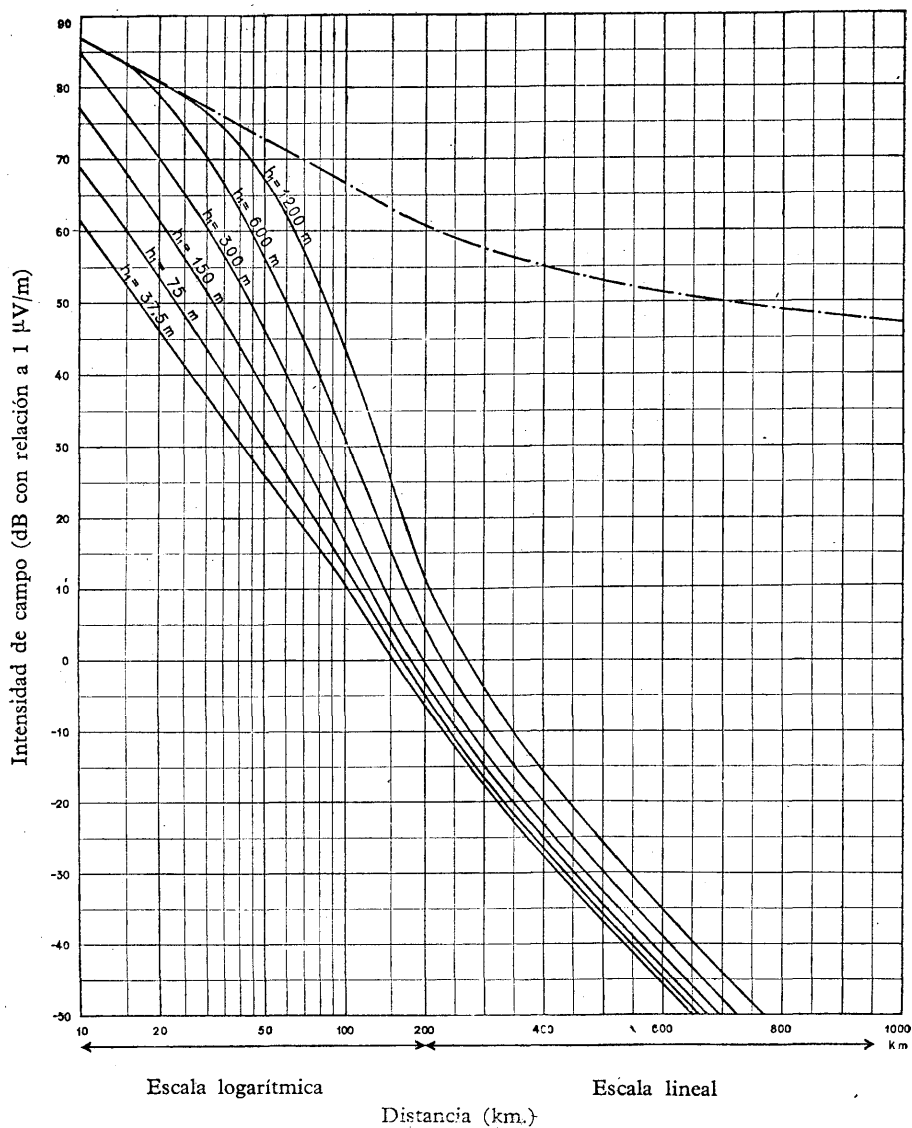


FIGURA 9

Intensidad de campo (dB con relación a 1 $\mu V/m$) para 1 kW de potencia radiada aparente

Frecuencias: 450-1000 MHz (bandas IV y V).—Tierra — 50 % del tiempo —
50 % de las ubicaciones — $h_a = 10$ m — $\Delta h = 50$ m.

————— Espacio libre

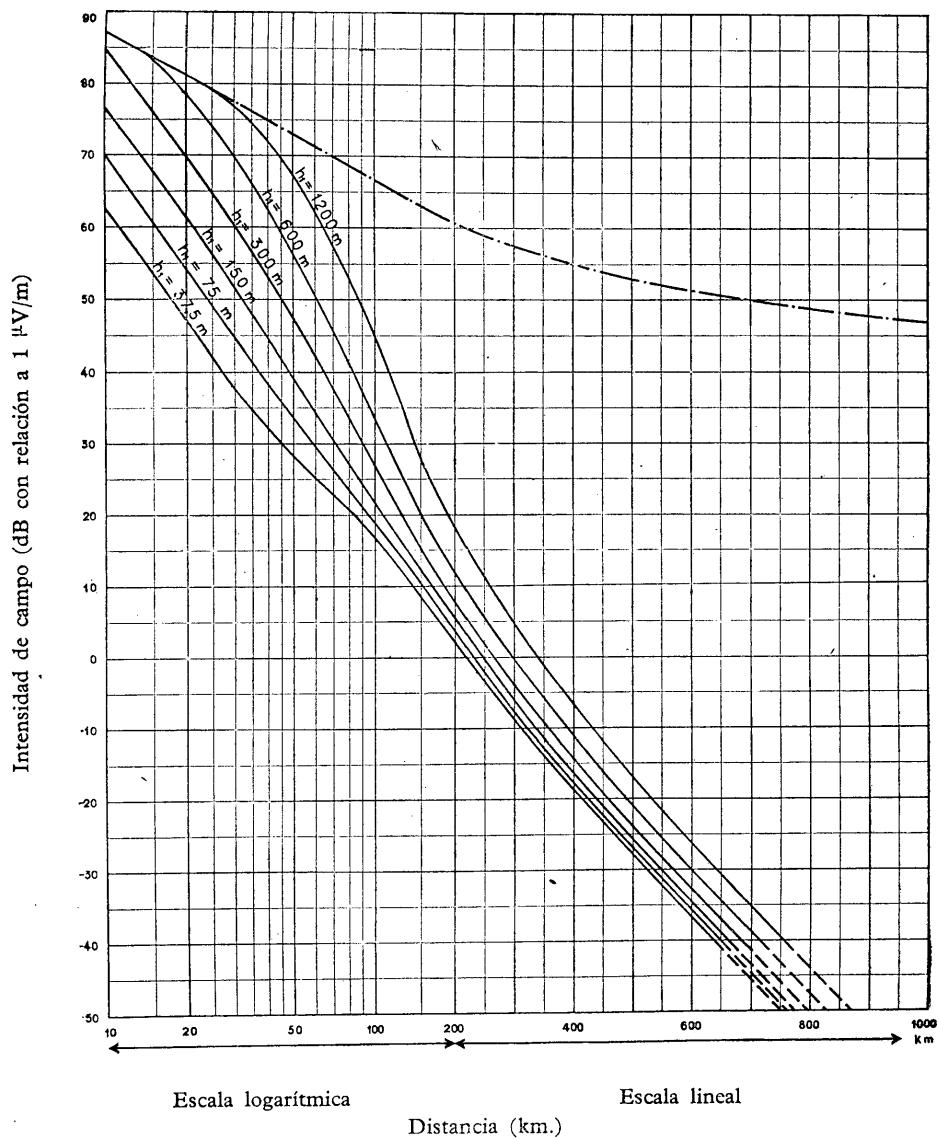


FIGURA 10

Intensidad de campo (dB con relación a 1 $\mu\text{V/m}$) para 1 kW de potencia radiada aparente
 Frecuencias: 450-1000 MHz (bandas IV y V).—Tierra — 10 % del tiempo —
 50 % de las ubicaciones — $h_s = 10$ m — $\Delta h = 50$ m.

— — — — — Espacio libre

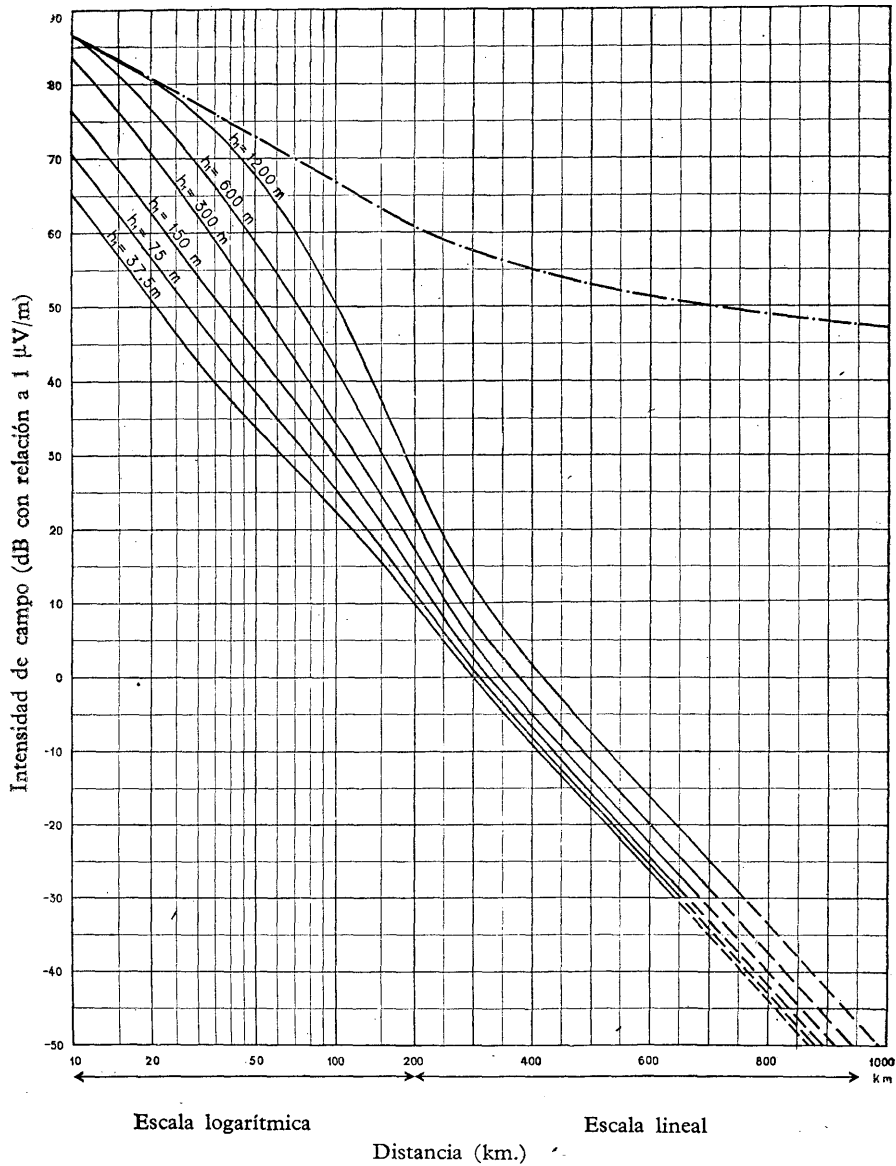


FIGURA 11

Intensidad de campo (dB con relación a 1 $\mu\text{V/m}$) para 1 kW de potencia radiada aparente

Frecuencias: 450-1000 MHz (bandas IV y V).—Tierra — 1 % del tiempo —
50 % de las ubicaciones — $h_2 = 10$ m — $\Delta h = 50$ m.

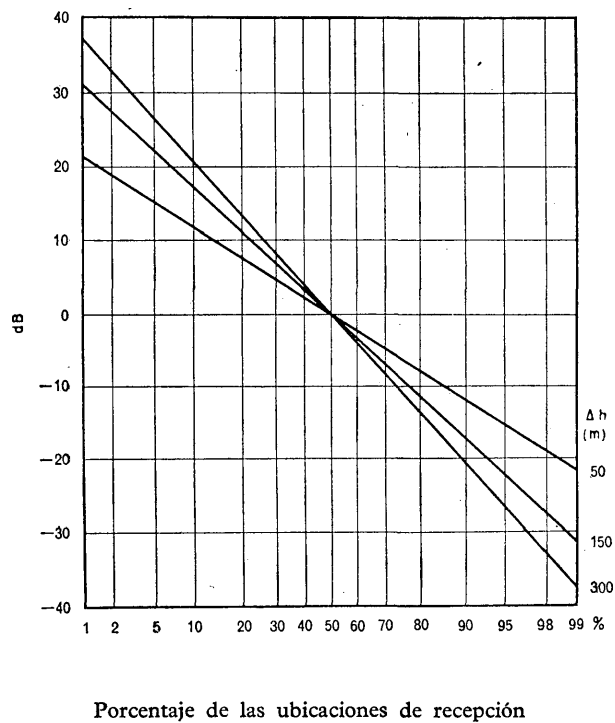


FIGURA 12

Relación (dB) entre la intensidad de campo para un porcentaje cualquiera de las ubicaciones de recepción y la intensidad de campo para el 50 % de las ubicaciones de recepción

Frecuencias: 450-1000 MHz (bandas IV y V).

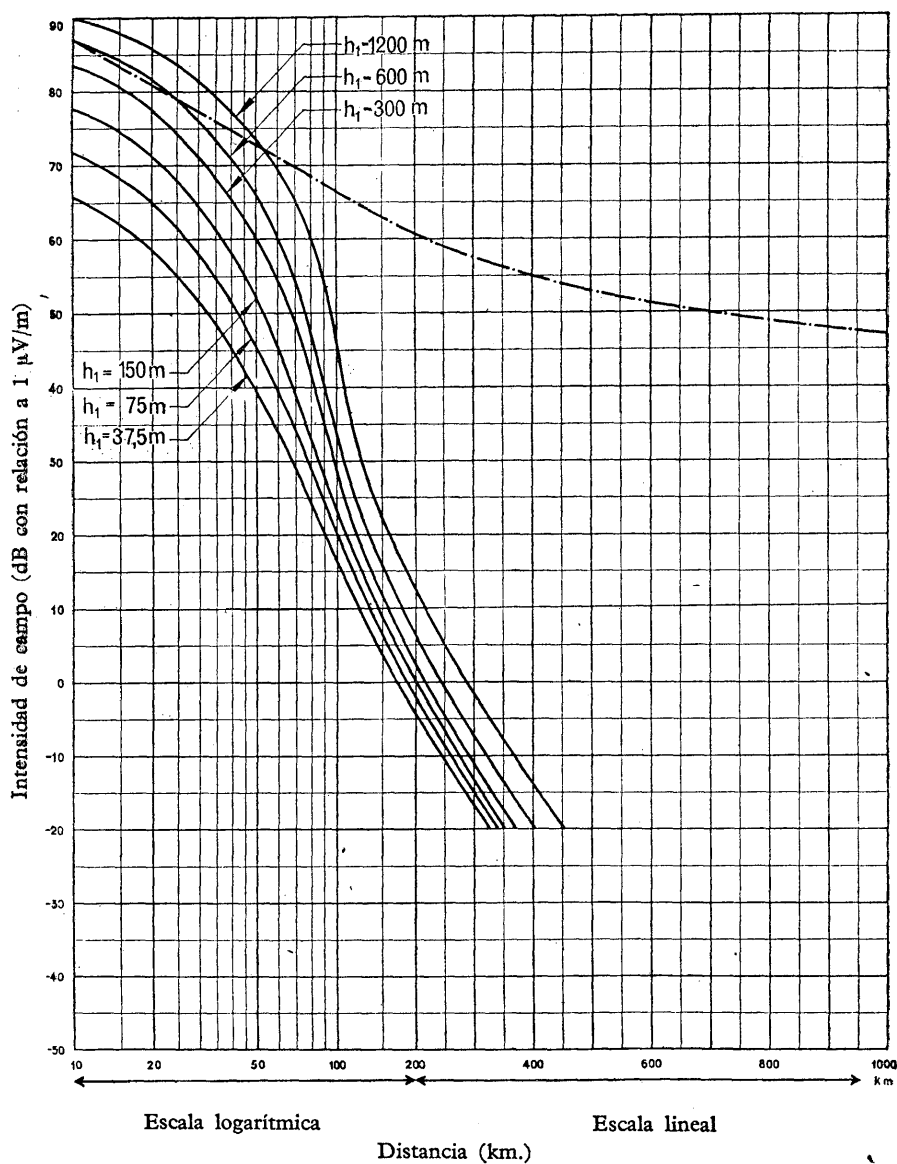


FIGURA 13

Intensidad de campo (dB con relación a 1 $\mu\text{V/m}$) para 1 kW de potencia radiada aparente

Frecuencias: 450-1000 MHz (bandas IV y V).—Mar del Norte — 50 % del tiempo —
50 % de las ubicaciones — $h_2 = 10$ m — $\Delta h = 50$ m.

————— Espacio libre

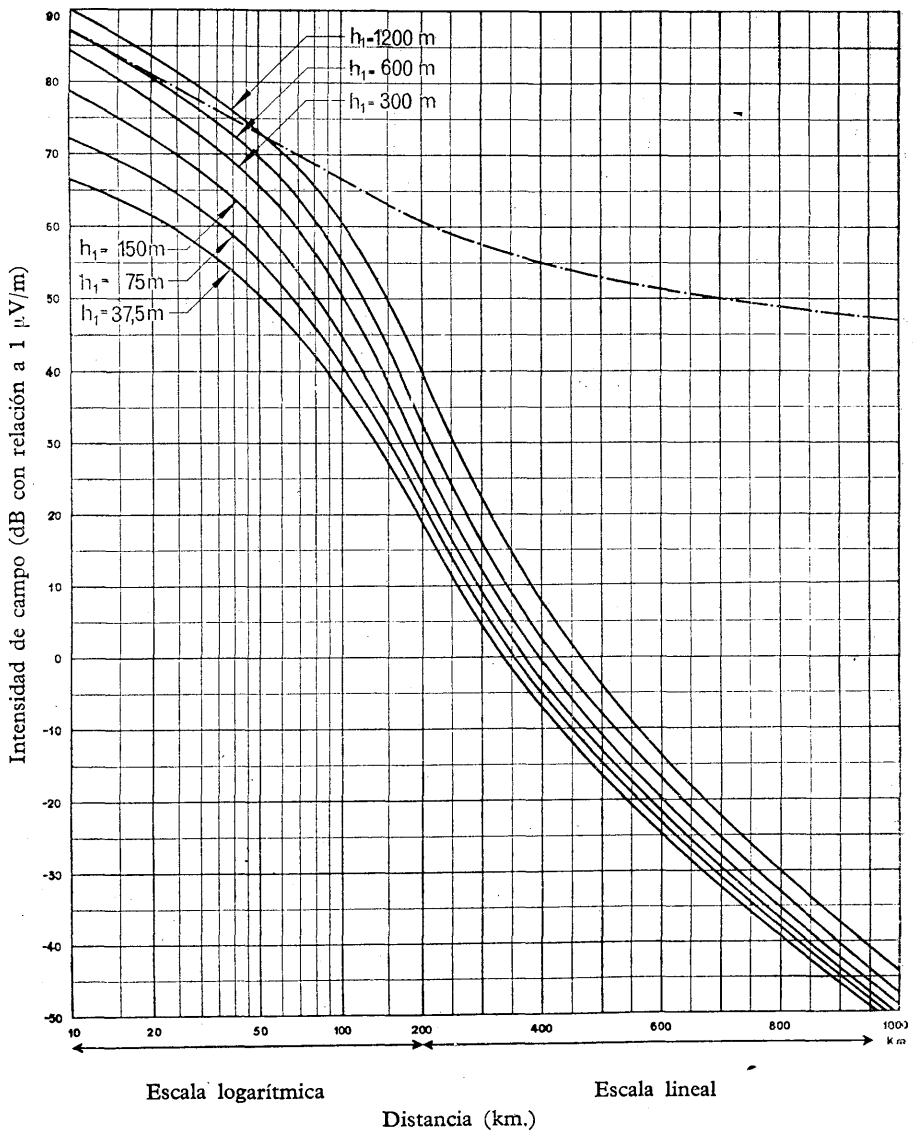


FIGURA 14

Intensidad de campo (dB con relación a $1 \mu V/m$) para 1 kW de potencia radiada aparente
Frecuencias: 450-1000 MHz (bandas IV y V).—Mar del Norte — 10 % del tiempo —
50 % de las ubicaciones — $h_2 = 10$ m.

————— Espacio libre

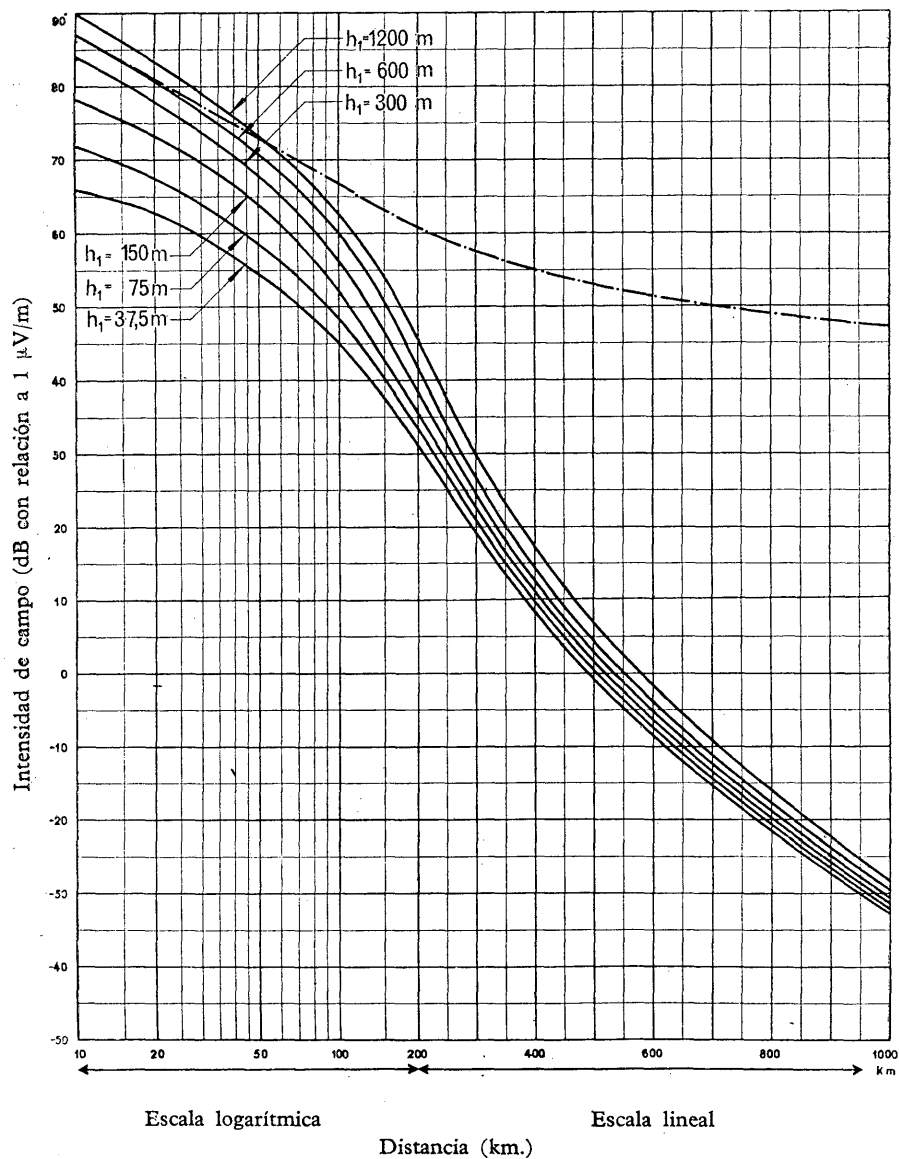


FIGURA 15

Intensidad de campo (dB con relación a 1 $\mu\text{V/m}$) para 1 kW de potencia radiada aparente

*Frecuencias: 450-1000 MHz (bandas IV y V).—Mar del Norte — 5 % del tiempo —
 50 % de las ubicaciones — $h_2 = 10 \text{ m}$.*

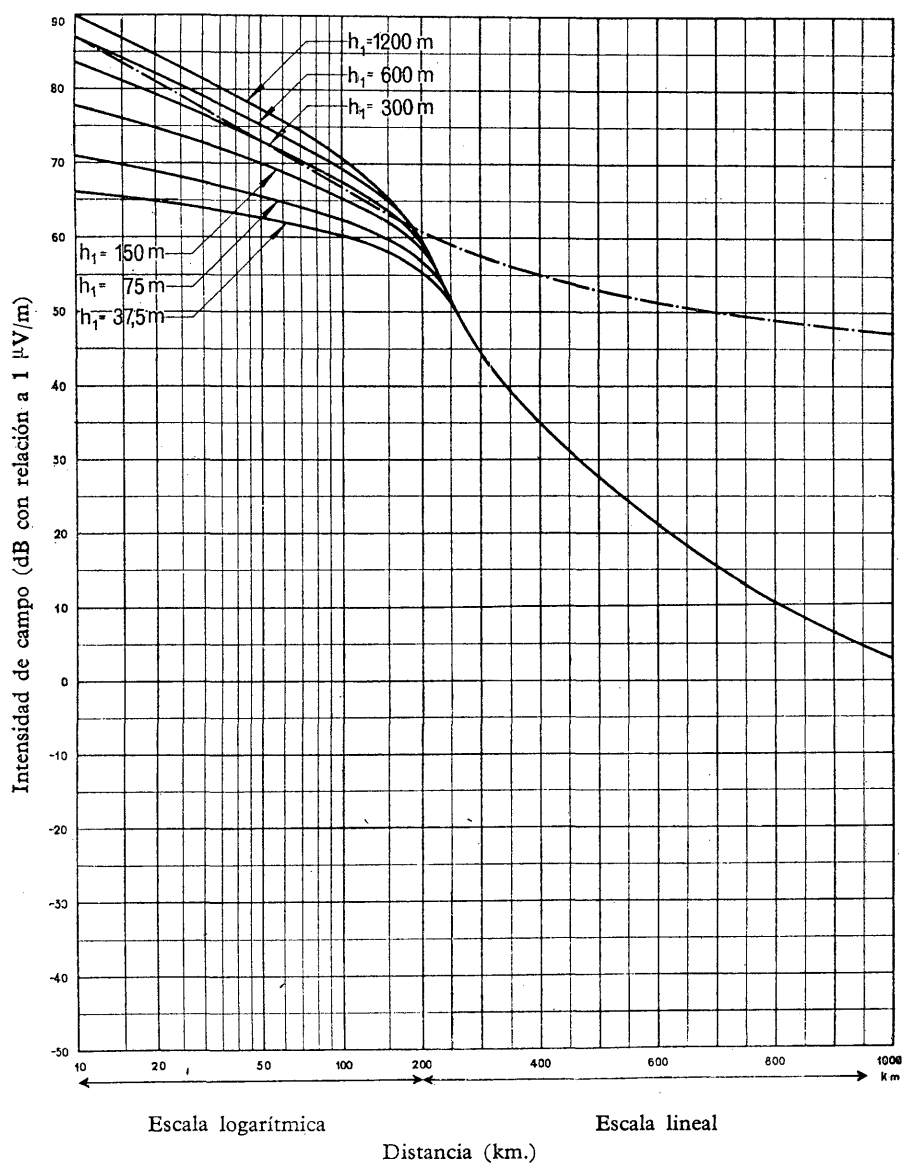


FIGURA 16

Intensidad de campo (dB con relación a 1 $\mu V/m$) para 1 kW de potencia radiada aparente

Frecuencias: 450-1000 MHz (bandas IV y V).—Mar del Norte — 1 % del tiempo —
50 % de las ubicaciones — $h_2 = 10$ m.

———— Espacio libre

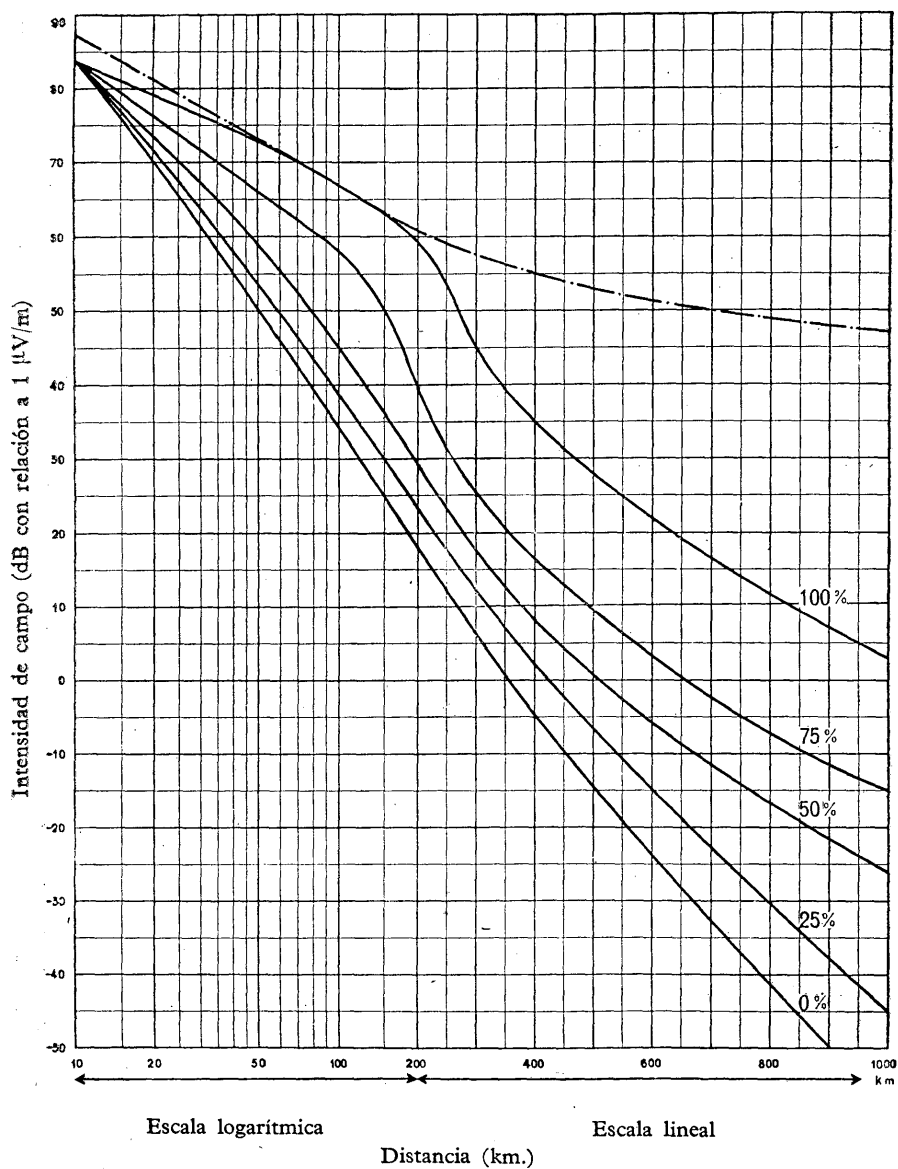


FIGURA 17 a)

Intensidad de campo (dB con relación a 1 $\mu V/m$) para 1 kW de potencia radiada aparente

Frecuencias: 450-1000 MHz (bandas IV y V).—Trayecto mixto (región del Mar del Norte) —

1 % del tiempo — 50 % de las ubicaciones — $h_2 = 10$ m — $h_1 = 300$ m.

(Curvas que mejor se adaptan al porcentaje indicado de trayecto marítimo.)

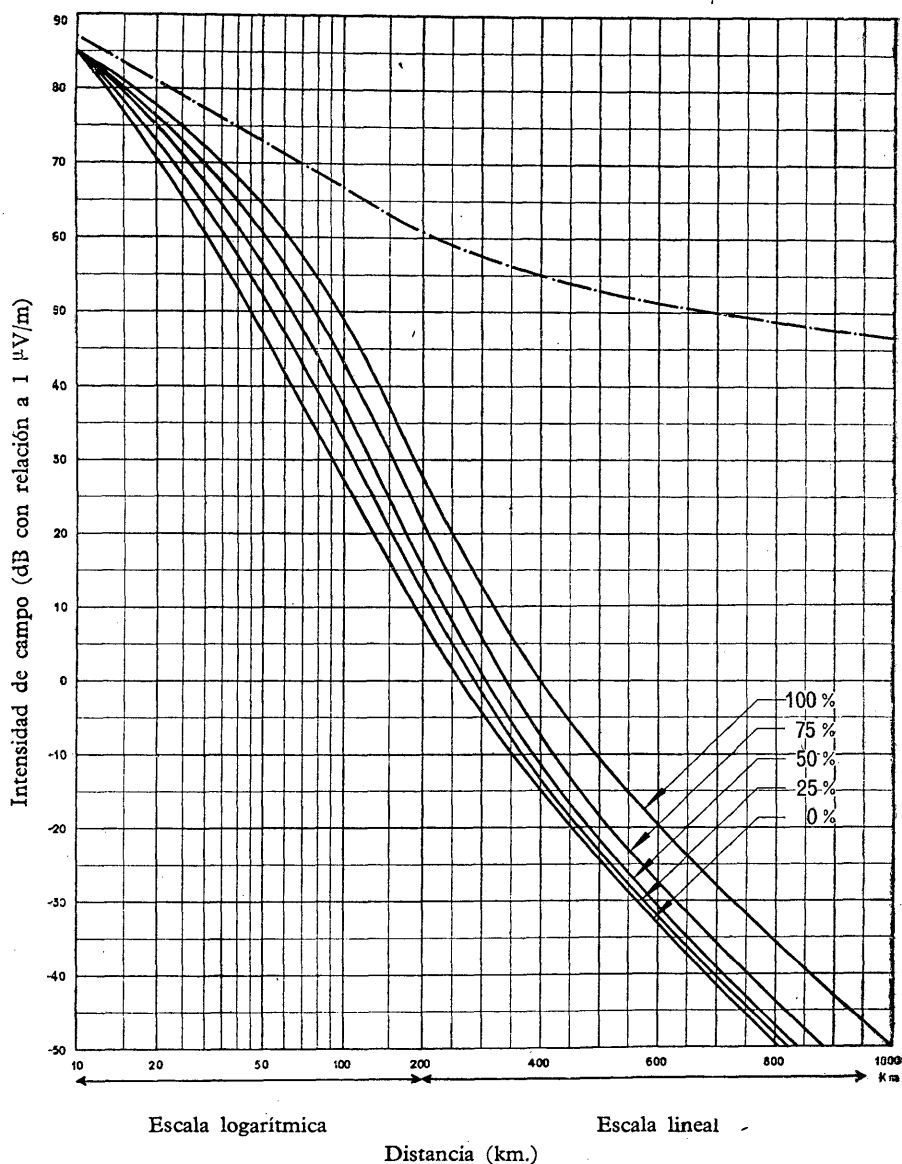


FIGURA 17 b)

Intensidad de campo (dB con relación a 1 $\mu V/m$) para 1 kW de potencia radiada aparente
 Frecuencias: 450-1000 MHz (bandas IV y V).—Trayecto mixto tierra y mar (región del Mar del Norte) —
 10 % del tiempo — 50 % de las ubicaciones — $h_2 = 10$ m — $h_1 = 300$ m.

(Curvas que mejor se adaptan al porcentaje indicado de trayecto marítimo.)

————— Espacio libre

RECOMENDACIÓN 452

**CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA PROPAGACIÓN PARA EVALUAR LAS
INTERFERENCIAS ENTRE SERVICIOS ESPACIALES Y SERVICIOS
TERRENALES QUE FUNCIONAN EN UN MISMO CANAL**

El C. C. I. R.,

(1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que, para evaluar las interferencias entre servicios espaciales y servicios terrenales que funcionen en un mismo canal, es necesario calcular las pérdidas de transmisión en varios tipos de trayectos;
- b) Que en la Cuestión 5-1/5 se ha pedido a la Comisión de estudio 5 que facilite la información de propagación requerida para estos fines por las Comisiones de estudio 4 y 9, para sistemas de comunicaciones por satélite y sistemas terrenales de relevadores radioeléctricos, respectivamente.

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

que las administraciones utilicen los métodos de cálculo de la pérdida de transmisión descritos en los Informes 239-2, 244-2 y 425, que decidan cuáles de estos métodos estiman más apropiados para unas condiciones determinadas, y que comuniquen al Director del C. C. I. R. los métodos por ellas utilizados y los resultados obtenidos.

5 A. Informes

INFORME 227 *

MEDICIONES DE INTENSIDAD DE CAMPO, DE DENSIDAD DE FLUJO DE POTENCIA, DE POTENCIA RADIADA, DE POTENCIA DISPONIBLE EN LA ANTENA RECEPTORA Y DE PÉRDIDA DE TRANSMISIÓN

(1959 - 1963 - 1970)

1. Introducción.

El presente Informe tiene por objeto reunir en un solo documento los datos de que se dispone en relación con la Cuestión 8, puesta en estudio por primera vez en la V Asamblea Plenaria (1948). Desde entonces se ha venido empleando la medición de parámetros distintos de la intensidad de campo con diversas finalidades, especialmente para la descripción del comportamiento de sistemas completos. Estos parámetros son la densidad de flujo de potencia, la potencia disponible en la antena receptora y la pérdida de transmisión **. En apéndice se dan las relaciones entre estos parámetros.

2. Finalidad de las mediciones.

En general, con las mediciones de los parámetros anteriormente indicados se persigue una de las finalidades siguientes:

- 2.1 Determinar la medida en que la señal radioeléctrica es adecuada para un servicio dado;
- 2.2 Determinar las interferencias causadas por una emisión;
- 2.3 Observar los fenómenos de propagación, utilizándose los datos obtenidos para los estudios relacionados con las telecomunicaciones o para estudiar otros fenómenos físicos;
- 2.4 Controlar la intensidad de las radiaciones no deseadas emitidas por aparatos que producen energía electromagnética no destinada a transmitir información, y verificar el buen funcionamiento de los dispositivos utilizados para suprimir esas radiaciones.

3. Antenas utilizadas en las mediciones.

La medición de la intensidad de campo puede hacerse con cualquier tipo de antena receptora, pero para frecuencias inferiores a unos 30 MHz se emplean generalmente antenas de cuadro o dipolos [7, 8, 9]. Las antenas de cuadro son simétricas o blindadas, o con ambas características para reducir la influencia del campo eléctrico. Se ha generalizado ya el empleo de una antena de cuadro asimétrica con un blindaje eléctrico abierto en la parte superior. La mayoría de las antenas de cuadro constan de varias espiras, pero en ciertos aparatos se emplean también antenas de una sola espira. Las antenas de varilla no se pueden blindar eficazmente contra los campos magnéticos, y en la gama de frecuencias considerada se trabaja normalmente con un montaje asimétrico, actuando como tierra el resto del equipo y la fuente de alimentación.

Para frecuencias superiores a unos 30 MHz se utilizan generalmente dipolos de media onda [7, 8, 9], que también se emplean a veces en equipos de medición portátiles para

* Adoptado por unanimidad.

** En la Recomendación 341 y en el Informe 112, se hace una exposición completa sobre el concepto de pérdida de transmisión.

frecuencias tan bajas como 18 MHz, y para frecuencias mucho más bajas en los registros de intensidad de campo en puntos fijos. En estas frecuencias, y en incidencia rasante, la propagación es normalmente independiente de la polarización. Sin embargo, en ciertas mediciones de ruido y de interferencia [1, 2, 3, 4, 13, 15] en que se trabaja a muy corta distancia se utiliza en general un colector de ondas especial. Incluso entonces surgen complicaciones debidas a la disminución rápida de la intensidad de campo en las distancias cortas. Es muy posible que los resultados de las mediciones obtenidos con este método no reflejen los valores reales de la intensidad de campo a mayores distancias, y conviene por ello evitar su empleo, a menos que traduzca fielmente las condiciones físicas existentes en la práctica.

Se obtendrán datos utilizables más directamente midiendo la potencia disponible en una antena receptora de igual tipo que la del sistema radioeléctrico que se estudia, en lugar de en una simple antena de referencia; en efecto, el campo recibido suele ser tan complejo que es sumamente difícil calcular el comportamiento del sistema real en función de mediciones de intensidad de campo hechas con dipolos simples.

Para medir campos electromagnéticos de poca intensidad, puede ser necesario utilizar sistemas de antenas directivas.

4. Influencia de las condiciones locales en las mediciones.

En general, las mediciones de intensidad de campo o de potencia disponible deben hacerse con la antena receptora colocada en el mismo punto en que haya de utilizarse en la práctica. En el caso de un sistema de radiodifusión, la existencia de árboles, edificios, líneas aéreas, etc., tiene gran influencia, y conviene tener en cuenta tales condiciones locales al efectuar las mediciones. Para la evaluación del comportamiento de un sistema de radiodifusión es preferible hacer las mediciones en una serie de puntos de recepción escogidos sistemáticamente según el método descrito en el Informe 228-1.

Sin embargo, en el caso especial de mediciones de intensidad de campo, realizadas para determinar la potencia radiada por una antena transmisora, o la directividad de esa antena, es conveniente seleccionar cuidadosamente puntos de medición en los que los resultados de ésta estén menos afectados por los factores perturbadores locales; de este modo puede determinarse con mayor precisión la pérdida de transmisión o el campo inversamente proporcional a la distancia.

Al elegir una ubicación para realizar mediciones deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

- 4.1 Los campos radioeléctricos de ondas métricas y decimétricas pueden ser deformados lo mismo por conductores que por postes de madera y otros dieléctricos. Si el transmisor o el receptor se instalan en un local para protegerlos de la intemperie, los materiales empleados para su construcción deberán ser con preferencia de pequeña constante dieléctrica y no higroscópicos. Se han encontrado ciertos materiales plásticos que reúnen estas condiciones. Siempre que sea posible, deben hacerse las mediciones dentro y fuera del local con objeto de determinar su influencia en los resultados. Si el medidor de campo está instalado en un local, los extremos de la antena receptora deben estar lo más alejados posible de las paredes.
- 4.2 Hay que tener en cuenta, cualquiera que sea la frecuencia, la influencia de las líneas metálicas, cables y demás conductores aéreos. En zonas en que el suelo es de conductividad elevada, la antena receptora debe hallarse a una distancia de esos elementos perturbadores igual, por lo menos, a varias veces la altura de esos elementos; la distancia debe ser mayor aun en zonas en que el suelo es de baja conductividad. Si se utiliza una antena receptora de cuadro, pueden detectarse a veces estas influencias observando la dirección de llegada de la señal, o por la mala definición de los nulos del diagrama de directividad de la antena receptora. Para determinar los nulos de un diagrama de radiación pueden ser necesarias precauciones especiales, ya que una línea eléctrica de alta tensión o una línea de comunicaciones de gran longitud pueden conducir energía a la zona del nulo en donde se hacen las mediciones.
- 4.3 En las frecuencias superiores a varios megahertzios generalmente no es necesario tener en cuenta los efectos perturbadores de los cables subterráneos, pero en frecuencias muy inferiores a 2 MHz, estos cables pueden ocasionar errores apreciables en las mediciones

de intensidad de campo realizadas en su proximidad, aun cuando estén enterrados a varios metros de profundidad. Deben evitarse especialmente los cables subterráneos de gran longitud (o los cables de conexión con líneas aéreas). Afortunadamente, los campos perturbadores son en general campos de inducción y el efecto de los cables puede determinarse haciendo las mediciones en varios puntos situados a diferentes distancias de los cables. En regiones en las que la conductividad del suelo es muy baja, estos cables pueden ser muy molestos, y efectos de directividad pueden aún complicar su influencia.

- 4.4 Las características del suelo pueden producir importantes efectos en los campos polarizados verticalmente en ondas métricas y decimétricas. Si la antena transmisora y la antena que se utiliza para la medición de la intensidad de campo son de polarización horizontal y están próximas al suelo, al elevar una de ellas los campos tenderán a aumentar casi linealmente con la altura hasta llegar a un máximo, variando entonces el campo periódicamente a medida que vaya elevándose la antena. Con antenas de polarización vertical, sin embargo, los campos permanecerán prácticamente constantes hasta cierta altura, después de la cual se producirán variaciones periódicas. La gama de alturas en que el campo es relativamente constante varía casi en función inversa de la frecuencia y proporcionalmente con la constante dieléctrica, excepto cuando la conductividad es elevada, como en el caso del agua del mar. Por ejemplo, un campo de polarización vertical en 40 MHz es aproximadamente independiente de la altura hasta unos 5 metros por encima de un suelo normal. Sin embargo, las mediciones efectuadas sobre agua dulce indican que el campo es constante hasta una altura mucho mayor. Si no se tiene en cuenta este fenómeno, se corre el riesgo de incurrir en importantes errores de interpretación.
- 4.5 Los efectos perturbadores pueden variar con el tipo de aparato; por ejemplo, el hecho de que el operador se mueva en torno al medidor de campo puede tener poca influencia si el aparato está provisto de una antena de cuadro, pero si se trata de una antena de varilla la influencia puede ser considerable.
- 4.6 En el anexo se demuestra que en algunos casos es preferible medir la intensidad de campo o la pérdida de propagación en vez de la pérdida de transmisión, ya que esos parámetros son mucho menos sensibles a la influencia de las condiciones locales y de la altura de las antenas receptoras.

5. Efectos de polarización.

En frecuencias bajas, las ondas que interesan casi exclusivamente son las polarizadas verticalmente, pues en la recepción de la onda ionosférica es posible utilizar la polarización horizontal. La onda de superficie conserva la misma polarización que en la transmisión, pero con una ligera inclinación del frente de onda. Sin embargo, en caso de reflexiones ionosféricas, la señal recibida presenta una polarización mixta vertical y horizontal [10], excepto en ciertas frecuencias y a distancias críticas. De ahí que un aparato de medida de la intensidad de campo con antena de cuadro no pueda dar las indicaciones de directividad habituales cuando recibe una onda reflejada en la ionosfera.

En frecuencias superiores a unos 30 MHz pueden utilizarse en la transmisión las dos polarizaciones, pues las antenas están instaladas a una altura sobre el suelo igual a una fracción apreciable de la longitud de onda, y la absorción de la componente horizontal por el suelo no es importante. La polarización es casi la misma si las ondas se propagan a grandes distancias por la troposfera que si recorren pequeñas distancias por encima del suelo. Sin embargo, los conductores y demás objetos situados cerca del transmisor o del receptor pueden absorber una de las polarizaciones e irradiar o dispersar una fracción notable de la otra polarización. Son muchas las fuentes que pueden radiar ambas polarizaciones. Además, las armónicas y las demás radiaciones no esenciales pueden tener una polarización distinta de la de la onda fundamental y, por otra parte, sus máximos y sus mínimos pueden no coincidir con los de la fundamental.

6. Unidades empleadas en las mediciones.

La intensidad de campo suele medirse en voltios por metro o en submúltiplos de esta unidad. En rigor, esta unidad se aplica únicamente a la componente eléctrica del campo, pero se utiliza también de una manera general para medir la componente magnética, sobre todo cuando se trata de campos radiados en espacio libre, en los que las energías de las dos componentes son iguales. Con frecuencias superiores a 1000 MHz puede medirse también la densidad de flujo de potencia en vatios (o en submúltiplos de vatio) por metro cuadrado.

Si las señales medidas tienen una anchura de banda mayor que la del aparato de medida, hay que tener en cuenta la influencia de este factor en las mediciones. Cuando se trata de un ruido impulsivo cuyos impulsos se hallan muy espaciados y repartidos uniformemente en la parte considerada del espectro, la tensión de cresta será directamente proporcional a la anchura de banda, con lo que se llega a la unidad siguiente: microvoltio/metro/Hz (o microvoltio/metro, en una banda de 1 kHz), [1, y 3]. Es utilísima la noción de pérdida de transmisión para estudiar ciertos sistemas y ciertos modos de propagación [16]. La pérdida de transmisión se define por la relación, expresada en decibelios, entre la potencia a la entrada de la antena de transmisión y la disponible a la salida de la antena de recepción. En ese caso, la unidad utilizada es el decibelio.

7. Precisión y reproductibilidad de las mediciones.

En la exposición del anexo se observa que la medición de todas las magnitudes consideradas implica la determinación de la tensión en circuito abierto en la antena receptora, y de la longitud efectiva o de la resistencia de radiación. La precisión en la determinación de los dos últimos factores depende del tipo de la antena y de la naturaleza de sus alrededores, pero en condiciones ideales los errores deben ser despreciables comparados con el error al medir la tensión en circuito abierto. La precisión absoluta factible de la medición de la tensión en circuito abierto es probablemente algo mayor que los valores del siguiente cuadro:

CUADRO I

Banda de frecuencias	Precisión de la medida ($\pm$ dB)	Valor mínimo de la intensidad de campo en que se obtiene la precisión indicada (μ V/m)
10 - 30 kHz.	2	10 ⁽¹⁾
30 - 300 kHz.	2	5 ⁽¹⁾
300 - 3000 kHz.	2	2 ⁽¹⁾
3 - 30 kHz.	2	2 ⁽¹⁾
30 - 300 kHz.	2	2
300 - 3000 kHz.	3	5 ⁽²⁾
3000 - 30000 kHz.	5	10 ⁽²⁾

(¹) Con medidores de intensidad de campo provistos de antena de cuadro, los valores mínimos son algo más elevados.

(²) 1 μ V/m corresponde a $2,7 \times 10^{-15}$ vatio/metro cuadrado.

No obstante, en las condiciones de trabajo especiales de las estaciones de control debe ser posible obtener una precisión algo mejor para valores mínimos de la intensidad de campo mucho más bajos. En la Recomendación 378-1 se indican las condiciones requeridas. En general, se pueden aceptar precisiones inferiores en la medición de los ruidos y de las interferencias impulsivas [1], [3] y [13].

La precisión relativa o la reproductibilidad de las mediciones serán, por lo general, mucho mayores que su precisión absoluta siempre que la fuente de radiación que se mide se mantenga constante. Sin embargo, ciertos tipos de radiación como las radiaciones no esenciales de un generador de señales, las armónicas y otras emisiones no deseadas de los transmisores, la radiación del oscilador de los receptores, la radiación en el nulo de una

antena direccional, etc., pueden variar notablemente en función del tiempo, y este hecho puede ocasionar errores aparentes de medición que, en realidad, son simplemente una falta de estabilidad de la magnitud que se mide.

8. Circuitos del medidor de intensidad de campo [1], [2], [7].

La señal que llega al medidor de intensidad de campo puede variar entre una fracción de microvoltio y varios voltios; el aparato debe estar diseñado de tal forma que los fenómenos de sobrecarga y de intermodulación que se produzcan en sus primeros pasos no provoquen error alguno. Los aparatos de medida de intensidad de campo constan generalmente de un circuito sintonizado como mínimo antes del primer tubo, y de un atenuador de frecuencia radioeléctrica seguido de un mezclador y de un amplificador de frecuencia intermedia de ganancia y anchura de banda apropiadas. El paso de amplificación de frecuencia intermedia puede ir precedido de un atenuador de frecuencia intermedia calibrado, pero a veces se obtiene la atenuación necesaria cambiando la tensión de polarización de los tubos del paso de frecuencia intermedia. El amplificador de frecuencia intermedia acciona el detector y el circuito de medida. En algunos casos se pueden hacer las mediciones con más rapidez por conmutación preestablecida de los circuitos de medición mediante redes coaxiales.

Son numerosos los aparatos de medida de intensidad de campo concebidos para proporcionar una característica tensión de entrada/tensión de salida aproximadamente logarítmica, lo que es de gran utilidad para medir o registrar desvanecimientos, etc. La característica requerida se obtiene con el empleo de una forma especial del imán del instrumento de salida, o, como se hace más a menudo, con el empleo de un adecuado control automático de ganancia en el amplificador de frecuencia intermedia.

9. Procedimientos de autocalibración.

En un pequeño número de aparatos se considera suficiente cierta estabilidad inherente a la fabricación, sin prever la autocalibración ulterior. Para controlar estos aparatos, puede anotarse la indicación facilitada por el ruido de los tubos. Ahora bien, este método no es muy satisfactorio en vista del progreso actual de la técnica, salvo si se dispone de generadores de señales para efectuar controles frecuentes. En la mayoría de los casos, la autocalibración se efectúa por uno de los métodos siguientes:

- 9.1 Oscilador de calibración de frecuencia variable de manera continua, con control de la amplitud por un par termoeléctrico. Es probable que este método sea el que a la larga ofrezca mejor estabilidad.
- 9.2 Oscilador de calibración de frecuencia variable de manera continua, con diodo de cristal, diodo de vacío o indicador de corriente de rejilla. En general, vale más no utilizar este último indicador porque da lugar frecuentemente a errores.
- 9.3 Oscilador de calibración de frecuencia fija para regular la sensibilidad del medidor de intensidad de campo en un punto de cada banda, por lo menos. Este método tiene el inconveniente de que si la alineación varía, pueden producirse errores importantes en frecuencias distintas de la frecuencia fija, a menos de que se efectúe un control suplementario empleando, por ejemplo, un generador de impulsos para extrapolar a otras frecuencias.
- 9.4 Diodo de ruido (en particular, para los aparatos de medida de ruido). Se trata de un dispositivo de calibración de reducidas dimensiones, práctico para la medición de ruido o para las mediciones rudimentarias; pero tal y como se utiliza en la actualidad, no da entera satisfacción porque plantea ciertos problemas de precisión, a los que se añaden efectos de anchura de banda. Es posible que los defectos de inestabilidad observados se deban a que los aparatos provistos de este dispositivo son portátiles, más bien que a los errores intrínsecos de un diodo de ruido.
- 9.5 Generador de impulsos (especialmente para los medidores de ruido). Estos generadores son preferibles para medir los ruidos de carácter impulsivo, pero tienen el inconveniente de que, en el caso de variar la anchura de banda del receptor, la calibración puede ser errónea para medidas distintas de las del ruido de carácter impulsivo.

- 9.6 Generador de señales incorporado con el atenuador correspondiente. Se trata probablemente del mejor método de todos, pero es más oneroso y requiere aparatos de mayor peso porque necesita estar dotado de un blindaje y de un filtrado muy eficaces.

En líneas generales, los dispositivos de autocalibración dan resultados satisfactorios durante un tiempo limitado, por lo que conviene controlar periódicamente los aparatos, comparándolos con patrones; en lo posible, se deben elegir patrones que emitan señales de naturaleza idéntica a la que haya de medirse. Es muy indicado efectuar frecuentes controles hasta determinar el grado de estabilidad del aparato. Estos controles se harán en diversos niveles para verificar, al mismo tiempo, los atenuadores y las fuentes de señales, controlando igualmente la linealidad del dispositivo de interpolación. En general, conviene verificar también la alineación durante estas operaciones de control por medio de un oscilador de barrido que funcione en distintos niveles. Los defectos de alineación pueden provocar ciertas anomalías en el funcionamiento e influir en las relaciones de atenuación y en la respuesta a las señales de banda ancha, así como producir fenómenos de reacción que tengan por efecto la variación de la anchura de banda en función del nivel de las señales. Estos últimos fenómenos se deben a veces a la reacción, en pasos anteriores, de una armónica de la frecuencia intermedia, teniendo como consecuencia variaciones notables de la sensibilidad en función de la frecuencia. Se ha podido comprobar la existencia de fenómenos anormales de naturaleza idéntica en aparatos en los que existe un acoplamiento no deseado entre el oscilador de calibración y los demás elementos.

10. Otros procedimientos de calibración.

Aparte de los procedimientos de autocalibración, hay otros dos muy generalizados. En las frecuencias inferiores a 20 MHz se puede calibrar un medidor de intensidad de campo provisto de antena de cuadro por medio de una segunda antena análoga de dimensiones conocidas, instalada coaxialmente con relación a la precedente, por la cual circule una corriente de intensidad conocida; esta antena de cuadro induce en la del aparato una tensión que se puede calcular exactamente [5, 8, 9 y 14]. El segundo método es particularmente apropiado para las frecuencias más elevadas, y puede utilizarse con aparatos provistos de antenas de cuadro o de dipolos; consiste en efectuar la calibración con ondas polarizadas horizontalmente de las que se conozca la intensidad de campo radiada [6, 8, 9 y 14]. Ambos métodos permiten la calibración global del aparato de medida de intensidad de campo, incluida la antena de recepción, en condiciones análogas a las que pueden presentarse al utilizar ulteriormente el aparato.

11. Fuentes de alimentación.

Todas las fuentes de alimentación deben estar estabilizadas apropiadamente, incluida la de caldeo de los tubos; la fuente de alimentación debe suministrar constantemente una tensión suficiente para asegurar el funcionamiento satisfactorio del circuito de estabilización.

12. Precauciones especiales [7].

Antes de efectuar una medición:

- 12.1 Deben controlarse, si es posible, uno en relación con el otro, los atenuadores de frecuencia radioeléctrica y de frecuencia intermedia, así como estos dos atenuadores con relación a la escala del indicador.
- 12.2 Cuando se miden señales fuertes o una señal débil en presencia de señales fuertes —por ejemplo, armónicas u otras emisiones no esenciales—, hay que evitar que se produzcan sobrecargas en los primeros pasos del aparato. En el segundo caso, se recomienda el empleo de filtros a la entrada del aparato.

13. Parámetros adecuados para las mediciones.

En el caso de ondas continuas es relativamente de poca importancia el tipo de medición que quiera efectuarse (valor medio, de cresta, etc.); pero con formas de onda com-

plejas, el valor medido de la intensidad de campo o de la potencia disponible depende de las características del aparato medidor, es decir, de las características del detector, anchura de banda, gama dinámica, tiempo de integración, etc. Por tanto, el aparato debe estar diseñado para medir un parámetro apropiado para la evaluación del tipo de forma de onda considerado. Normalmente basta con un parámetro para una señal regular de forma de onda conocida; pero cuando se trata de una función aleatoria, tal como el ruido atmosférico, a menudo son necesarios dos o más parámetros para que la descripción sea adecuada.

13.1 *Medición de valores medios.*

El receptor da el valor medio de la señal cuando el circuito que sigue a un dispositivo que da una indicación proporcional a la envolvente de la señal está diseñado de modo que proporcione un valor medio de la tensión de salida durante un intervalo suficientemente largo para que las variaciones rápidas sean imperceptibles. En general, el valor medio es el preferido en el caso de numerosas emisiones moduladas, incluyendo la telefonía con modulación de amplitud y de frecuencia (A3 y F3). También se emplea para telegrafía con portadora interrumpida (A1 o A2) cuando es posible mantener la posición de trabajo durante la medición. Puede asimismo utilizarse para medir el valor de cresta de las señales con factor de forma elevado en el valor de pico de los impulsos, como en el caso de las emisiones de televisión que tienen señales positivas de sincronismo. Naturalmente, el valor de cresta se obtendrá del valor medio añadiéndole un factor de corrección predeterminado. El valor medio puede también utilizarse como uno de los parámetros al evaluar el ruido atmosférico y otros fenómenos de interferencia.

13.2 *Medición de valores de cresta.*

El receptor da el valor de cresta de una señal cuando el aparato indicador está diseñado para dar una tensión de salida correspondiente a la tensión instantánea máxima de la señal. Puede obtenerse este resultado con uno de los siguientes aparatos:

- oscilógrafo de rayos catódicos conectado a la salida del amplificador de frecuencia radioeléctrica o del amplificador de frecuencia intermedia;
- aparato de medida de umbral con indicación audible o visual al rebasar el umbral;
- aparato de medida de valores de cresta con rectificador de memoria y dispositivo manual o automático de reajuste a cero.

La medición de los valores de cresta está muy indicada en el caso de señales que tengan un factor de forma poco elevado, por ejemplo, las interferencias de carácter impulsivo; sin embargo, estos valores sufren con frecuencia fluctuaciones más importantes que los pseudo-valores de cresta o que los valores medios. Si la anchura de banda de la señal que ha de medirse es mayor que la del medidor de intensidad de campo, esta circunstancia influirá en el valor de cresta de la emisión indicado en el aparato. Con ciertas señales simples, los resultados de medida obtenidos para una anchura de banda dada, se pueden aplicar mediante la oportuna corrección, a otra anchura de banda, pero no puede generalizarse esta posibilidad y, si se quieren hacer mediciones comparadas, hay que normalizar la anchura de banda de los medidores de intensidad de campo. En estas condiciones, conviene precisar la anchura de banda del aparato. Las consideraciones relativas a las anchuras de banda en el caso de los pseudo-valores de cresta se aplican a la medición de los valores de cresta; el cuadro II del punto 13.3 siguiente contiene valores normalizados de la anchura de banda.

13.3 *Medición de pseudo-valores de cresta.*

El pseudo-valor de cresta es el que se obtiene cuando se pondera la tensión de salida del detector ajustando sus constantes de tiempo de carga y de descarga T_c y T_d , así como la constante de tiempo mecánica del indicador (T_m). Se puede emplear este valor fácilmente, y se utiliza, por lo general, para las emisiones manipuladas o pulsadas, así como también para aquellas cuyo valor medio varía en función del nivel de las señales de modulación. En general, este parámetro es adecuado para medir las interferencias de

carácter impulsivo; mediante una selección apropiada de las constantes de tiempo de carga y de descarga, la medición de los pseudo-valores de cresta proporciona directamente una indicación sobre los efectos audibles ejercidos por interferencias de cualquier forma en emisiones moduladas como la telefonía.

En lo que concierne a las anchuras de banda, pueden hacerse consideraciones análogas a las expuestas a propósito de la medición de los valores cresta; hay que elegir cuidadosamente la anchura de banda, así como las constantes de tiempo de carga y de descarga, para adaptarlas al tipo de emisión que se mide y para evitar fenómenos de sobrecarga en el aparato. Los organismos especializados han aprobado algunos valores normalizados, que se indican en el cuadro II.

CUADRO II

Gama de frecuencias (MHz)	Anchura de banda en 6 dB (kHz)	Constante de tiempo de carga $T_c(s)$	Constante de tiempo de descarga $T_d(s)$	Constante de tiempo mecánica $T_m(s)$
0,015-0,15	Variable (0,08-0,8) ⁽²⁾	0,001 ⁽²⁾	0,600 ⁽²⁾	
0,15-30	9 ⁽¹⁾ Variable (1-12) ⁽²⁾	0,001 ⁽³⁾	0,160 ⁽³⁾ 0,600 ⁽²⁾	0,160 ⁽¹⁾
25-300	120 ⁽¹⁾ 150 ⁽²⁾	0,001 ⁽³⁾	0,550 ⁽¹⁾ 0,600 ⁽²⁾	0,1 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ C. I. S. P. R. [1].

⁽²⁾ A. S. A. [2].

⁽³⁾ Empleadas por estos dos organismos.

13.4 Tensión eficaz.

La tensión eficaz [17] se mide por medio de un termopar o de un circuito electrónico de cuadratura, en combinación con un circuito promediador adecuado. Este valor da una medida directa de la potencia media recibida en la anchura de banda del instrumento de medida. Para las emisiones que tienen un espectro uniforme de frecuencia, la tensión eficaz es proporcional a la raíz cuadrada de la anchura de banda (la potencia media es proporcional a la anchura de banda). El valor eficaz es apropiado para la medición de muchos tipos de fenómenos de banda ancha, pero su mayor utilidad se encuentra en las mediciones de ruido atmosférico [18]. Puesto que los valores al cuadrado tienen una gama de fluctuación más amplia que el fenómeno original, habrá que disponer de una gama dinámica más ancha y de una constante de tiempo más elevada. Se ha comprobado que con los atmosféricos es suficiente una constante de tiempo de 500 segundos.

13.5 Valor logarítmico medio.

El valor logarítmico medio se obtiene intercalando un amplificador logarítmico entre el detector y el circuito promediador. Este tipo de medición, en combinación con las de valores medio y eficaz, proporciona información sobre el carácter o potencial de interferencia del ruido. Estos tres parámetros proporcionan, para el ruido atmosférico, un medio de determinar la distribución estadística de las amplitudes [11, 17].

13.6 Medición estadística.

A menudo es interesante determinar las variaciones estadísticas de la intensidad de campo en función del tiempo, considerando la variación de los valores instantáneos o la variación del valor medio de cualquiera de los parámetros enumerados anteriormente. El último parámetro mencionado puede medirse por medio de totalizadores de tiempo con varios umbrales previamente fijados, de modo que el tiempo total sobre cada umbral quede indicado en contadores accionados por motor. Estos contadores se leen al final de cada uno de los periodos de tiempo fijados.

Cuando interesan las variaciones de los valores instantáneos, se emplean contadores electrónicos accionados por el valor instantáneo de la señal a la salida del detector o del paso de frecuencia intermedia. La distribución probabilidad-amplitud de estos valores puede obtenerse por medio de circuitos de desbloqueo y de umbral. La distribución completa probabilidad-amplitud es útil para evaluar la interferencia, especialmente la del ruido atmosférico, en la recepción de varios tipos de señales [12].

14. Parámetros que hay que medir para las distintas clases de emisión.

En el cuadro III se resumen los parámetros que podrían medirse para las distintas clases de emisión enumeradas en el Reglamento de Radiocomunicaciones de Ginebra, 1959.

CUADRO III

Clase de emisión	Parámetro que hay que medir
A0, A2, A3, A4, A9 F0, F1, F2, F3, F4, F5, F9 ⁽¹⁾ A1 (manipulador en trabajo) A5 (sincronización negativa) ⁽²⁾	Valor medio
A1, A3A, A3B, A9A	Cuasi-cresta
A5 (sincronización positiva) P0 y otras emisiones pulsadas	Cuasi-cresta o cresta

⁽¹⁾ Hay que asegurarse de que la anchura de banda del aparato de medida de la intensidad de campo es suficiente para dejar pasar las emisiones de modulación de frecuencia.

⁽²⁾ Se tiene la costumbre de definir en televisión la intensidad de campo de una señal de sincronización negativa por el valor de cresta del blanco. Puede deducirse este valor del valor medio si se conocen las características de la señal emitida en el momento en que se hacen las medidas.

Cuando la potencia radiada es totalmente o en gran parte independiente del grado de modulación, basta en la mayoría de las medidas de intensidad de campo con especificar la potencia de la portadora no modulada. No obstante, si la potencia radiada depende en gran medida del grado de modulación, parece conveniente, en medidas de intensidad de campo muy precisas, que cooperen las dos estaciones terminales, bien registrando la potencia de salida del transmisor mediante un aparato de características análogas a las del registrador de intensidad de campo, bien transmitiendo señales especiales.

15. Potencia radiada.

La potencia radiada por una antena transmisora puede determinarse:

- 15.1 Por la potencia suministrada a la antena transmisora, menos la pérdida del circuito de antena, o

15.2 Por la potencia disponible medida en una antena receptora sin pérdidas, más la pérdida de transmisión, cuando la recepción se efectúa en algún punto cuidadosamente escogido en el cual pueda calcularse la pérdida de transmisión.

En las frecuencias bajas, la potencia radiada se determina a menudo midiendo un campo no atenuado en proporción inversa de la distancia, es decir, el campo previsible a una distancia igual a la unidad de longitud en una superficie plana perfectamente conductora. En este caso, la potencia radiada puede determinarse mediante cálculos teniendo en cuenta las características de radiación de la antena considerada.

ANEXO

RELACIONES ENTRE INTENSIDAD DE CAMPO, DENSIDAD DE FLUJO DE POTENCIA Y POTENCIA DISPONIBLE EN LA ANTENA RECEPTORA

Llamemos e a la intensidad de campo en voltios por metro. La densidad de flujo de potencia, f , en vatios por metro cuadrado, viene dada por la expresión:

$$f = \frac{e^2}{z} \quad (1)$$

siendo z la impedancia característica del medio en que se hace la medición. En el aire o en el espacio libre, $z \approx 120 \pi(\Omega)$.

El área de captación de una antena receptora de ganancia g_r con relación a una antena isotropa, puede expresarse por:

$$a_e = \frac{\lambda^2 g_r r_f}{4 \pi r} \quad (2)$$

siendo λ la longitud de onda en el medio, r la resistencia de radiación de la antena y r_f la resistencia de radiación que tendría la antena en el espacio libre. Combinando (1) y (2) encontramos para la potencia disponible P'_a de una antena receptora sin pérdida, la siguiente expresión:

$$P'_a = \frac{e^2 \lambda^2 g_r r_f}{4 \pi z r} = \frac{v^2}{4_r} \quad (3)$$

v en (3) representa la tensión en circuito abierto inducida en la antena receptora. Despejando v en (3) encontramos la relación general entre la intensidad de campo y la tensión en circuito abierto para una antena de ganancia g_r y resistencia de radiación en el espacio libre r_f .

Por la expresión (4) vemos que la medición de la intensidad de campo se hace esencialmente en dos tiempos:

$$v = e \sqrt{\lambda^2 g_r r_f / \pi z} = e l \quad (4)$$

- medición de la tensión en circuito abierto, y
- determinación, mediante cálculo o medición, de la altura efectiva l de la antena receptora [5, 6, 15 y 19].



De igual modo, por la expresión (3) vemos que la medición de la potencia disponible se hace también en dos tiempos:

- medición de la tensión en circuito abierto, y
- determinación, por cálculo o medición, de la resistencia de radiación de la antena receptora. Advuértase, sin embargo, que la resistencia de radiación y, por tanto, la potencia disponible, depende de la altura de la antena receptora con respecto al suelo, mientras que su longitud efectiva es, por lo menos en primera aproximación, independiente de esta altura o de otras influencias de las proximidades. Esta es una de las ventajas que tiene, en algunas aplicaciones, medir la intensidad de campo en vez de la potencia disponible. Obsérvese que la pérdida de propagación L_p se define de tal forma que también es independiente de los efectos locales de las proximidades en la impedancia de antena. (En el Informe 112 figura una exposición completa sobre la pérdida de propagación.)

BIBLIOGRAFÍA

1. Informe núm. 302 del C. I. S. P. R. Specification for C. I. S. P. R. Radio Interference Measuring Apparatus for the Frequency Range 0,15 MHz to 30 MHz.
Informe núm. 303 del C. I. S. P. R. Specification for C. I. S. P. R. Radio Interference Measuring Apparatus for the Frequency Range 25 to 300 MHz.
2. Proyecto de norma americana para los aparatos de medida del ruido y de la intensidad de campo.
ASA C 63.2 0,015 a 30 MHz.
ASA C 63.5 25 a 400 MHz.
3. Proyecto de norma americana sobre los métodos para medir las tensiones y las intensidades del campo radioeléctrico perturbadoras (ruidos radioeléctricos).
ASA C 63,4-0,015 MHz a 25 MHz.
ASA C 63,3-25 MHz a 400 MHz.
4. Informe Sc. 12-1, de la C. E. I.
5. GREENE, Frank M.: Calibration of Commercial Radio Field Strength Meters at the National Bureau of Standards. Circular NBS núm. 517 (diciembre de 1951).
6. McPETRIE, J. S.; y SAXTON, J. A.: Theory and Experimental Confirmation of Calibration of Field-Strength Measuring Sets by Radiation, *Journal I. E. E.* 1941, **88**, Parte III, 11.
7. CHAPIN, E.: Field strength measurements. Informe L. D. 6.3.1. de la F. C. C.
8. Terman, F. E., y PETTIT, J. M.: Electronic Measurements, Mc-Graw-Hill Cap. XI (1951).
9. SMITH-ROSE, R. L.: Radio field-strength measurements, *Proc. I. E. E.*, (Radio and Comm.) **96**, Parte III (enero de 1949).
10. SMITH, W. B.: Recording sky-wave signals from broadcast stations, *Electronics*. **21**, 112 (noviembre de 1945).
11. CRICLOW, W. Q., y SPAULDING, A. D.: A graphical method of obtaining amplitude-probability distribution from statistical moments of atmospheric radio noise. Exposición efectuada en la reunión común U. R. C. I.-I. R. E. (20-22 de octubre de 1958). Universidad del Estado de Pensilvania.
12. WATT, A. D., y otros: Performance of some radio systems in the presence of thermal and atmospheric noise, *Journal of Research of NBS*, Parte B (julio de 1959).
13. Recommended practice for measurement of fields intensity above 300 Mc/s from radio-frequency industrial, scientific and medical equipments, *A. I. E. E.*, núm. 950 (abril de 1951).
14. *Handbook of Electronic Measurements*, Vol. II, capítulo VIII, editado por M. Wind, Polytechnic Institute de Brooklyn, Interscience Publishers.
15. *Standards on Radio Wave Propagation-Measuring Methods* 1942, *Supplement to the Proc. of the I. R. E.* Vol. 30, 7, Parte II.
16. NORTON, K. A.: Transmission loss in radio propagation (I et II). Parte I: *Proc. of the I. R. E.*, Vol. 41 (enero de 1953). Parte II: *NBS Technical Note 12*, Office of Technical Services, U.S. Department of Commerce, Washington 25, D. C.
17. *Proceedings of the U. R. S. I. XII General Assembly*; Boulder, Colorado; Parte 4, Comisión IV.
 - Informe núm. 254, What are the most readily measured characteristics of terrestrial radio noise from which the interference to different types of communications systems can be determined, página 9.
 - Recomendación núm. 1 y Anexo a la Recomendación N.º 1: Measurement of atmospheric noise, página 99.

18. Informe 65 del C. C. I. R.: Revisión de los datos del ruido atmosférico radioeléctrico.
19. DIAMOND, H.; NORTON, K. A., y LAPHAM, E. G.: On the accuracy of radio field-intensity measurement at broadcast frequencies, *NBS Journal of Research* 21, 795-818 (diciembre de 1938).
20. NORTON, K. A.: System loss in radio wave propagation, *NBS Journ. of Research*, Parte D (julio de 1959).

INFORME 228-1 *

MEDICIÓN DE LA INTENSIDAD DE CAMPO PARA LOS SERVICIOS DE RADIODIFUSIÓN DE ONDAS MÉTRICAS Y DECIMÉTRICAS, TELEVISIÓN INCLUSIVE

(1959 - 1963 - 1966)

1. Descripción de la zona de servicio.

La determinación de la zona cubierta por la radiodifusión de ondas métricas y decimétricas (televisión, radiodifusión de modulación de frecuencia, etc.), para fines de asignación de frecuencias, debería hacerse en función del servicio facilitado a los telespectadores o radioyentes en potencia. El servicio puede ser clasificado de acuerdo con la calidad de la señal en un punto determinado. Para la asignación de frecuencias a las estaciones, probablemente sólo es necesario considerar una calidad de servicio, pero para otros fines puede ser útil definir más de una calidad.

Se han propuesto varios métodos para representar la zona servida por estaciones de radiodifusión de ondas métricas y decimétricas.

Un método apropiado para la finalidad perseguida debe reunir las condiciones siguientes [1]:

- 1.1 Poder indicar la situación y extensión de todas las zonas que reciben un servicio de calidad determinada;
- 1.2 Tener en cuenta las variaciones más importantes en función del tiempo;
- 1.3 Ser suficientemente fino para mostrar la extensión (área o población) y la situación de la zona servida en regiones y direcciones distintas a partir del transmisor;
- 1.4 Poder indicar la influencia de las interferencias causadas por una o varias estaciones, en forma de disminución del servicio (extensión y ubicación);
- 1.5 Permitir caracterizar dos calidades de servicio, por lo menos;
- 1.6 Permitir definir la zona de servicio por medio de un número razonable de mediciones o de cálculos de la intensidad de campo, o de ambos;
- 1.7 Conducir a una representación sencilla en un diagrama de dos dimensiones.

Después de haber estudiado detenidamente los diferentes métodos que permiten representar el servicio de la radiodifusión de ondas métricas y decimétricas, se recomienda [1, 2] el empleo del de «características de zona», por ser el mejor para expresar estadísticamente la calidad del servicio. A continuación se describe el principio de este método para cuantos no conocen esta expresión. En condiciones de régimen permanente se ha podido hacer en laboratorio un estudio estadístico de las relaciones señal deseada/señal interferente, necesarias para dar a distintos observadores la impresión de una imagen o de un sonido de calidad aceptable en presencia de diversas clases de interferencias. La relación aceptada por un determinado tanto por ciento de los observadores, por ejemplo,

* Adoptado por unanimidad.

el 50 %, es la que se elige como «relación aceptable» para cada clase de interferencia. En una ubicación dada, puede producirse una variación con el tiempo de las señales deseadas, de la interferencia o de ambas; por esta razón, se utiliza un «porcentaje de rebasamiento» para indicar el tiempo durante el cual se rebasa el valor de la relación aceptable. Una calidad de servicio determinada corresponde a una relación aceptable excedida durante determinado porcentaje de tiempo en una instalación receptora de tipo normal. La característica de zona se define entonces por la probabilidad de recibir esta calidad de servicio o una mejor, y se puede definir también por el porcentaje de lugares de recepción situados en una zona de poca superficie en los cuales se puede prever esta calidad de servicio o una mejor. A fin de simplificar los cálculos, puede considerarse que el 90 % es un valor satisfactorio del porcentaje de rebasamiento en el tiempo. Se podría adoptar también otro valor con arreglo a las necesidades, e incluso varios, así como diversas instalaciones de recepción normalizadas, a fin de caracterizar varias calidades de servicio.

El método de la característica de zona define de forma satisfactoria la ubicación de la zona de servicio y la calidad de éste, para los encargados de fijar las características y la frecuencia de la estación, para la entidad explotadora de la estación y para el telespectador o el radioyente. Estimamos que este método es el más gráfico y práctico para describir la zona de servicio de la radiodifusión de modulación de frecuencia, incluida la televisión, y que reúne fácilmente todas las condiciones anteriormente enunciadas. Como índice de servicio es preferible la característica de zona a la relación señal/interferencia o al nivel de la señal deseada, puesto que facilita una medida de comparación de la calidad del servicio, independiente de la frecuencia, de la distancia, etc. Aunque la relación señal/interferencia sería más fácil de comprender, tiene el inconveniente de requerir varias cifras para caracterizar una misma calidad de servicio en varias frecuencias y a diversas distancias. Tampoco el nivel de la señal deseada constituye un criterio satisfactorio, puesto que varía con la frecuencia y no permite tener en cuenta más interferencias que el ruido del receptor. Cuando el ruido proviene únicamente del receptor, las curvas de igual característica de zona serán también curvas de igualdad de intensidad de campo. Los métodos de cálculo de la característica de zona son relativamente sencillos y rápidos [2, 3].

Las figs. 1 y 2 ilustran cómo puede utilizarse la característica de zona para representar la zona servida. Las curvas de trazo continuo representan líneas de igual calidad de servicio, a lo largo de las cuales la característica de zona de una determinada calidad de servicio es constante para una instalación normalizada. Cuando la calidad del servicio se ve limitada por el ruido, más bien que por las interferencias en el mismo canal, la característica de zona correspondiente a una distancia dada a lo largo de un radio cualquiera de la fig. 1 corresponde a un valor mediano fijo de la intensidad de campo para el tiempo y las ubicaciones. Por ejemplo, una característica de zona de 0,5 en la fig. 1 corresponde a un campo mediano de 57 dB con relación a $1 \mu\text{V/m}$. La fig. 1 es extremadamente detallada, probablemente más de lo que podría serlo una figura trazada con un número normal de datos. No obstante, es posible que se pudiese necesitar una figura tan detallada para ciertas partes de una zona de servicio dada, según el problema que se estudie. La fig. 2 es un mapa de servicio para un caso más frecuente: aquel en que no se posee un número tan elevado de datos como en el de la fig. 1.

Nadie ignora que, en condiciones de explotación, son muchísimos los que utilizarán una instalación receptora de calidad apenas buena para obtener un servicio satisfactorio, pero que harán todo lo posible para obtener este servicio. Así, en las zonas de intensidad de campo elevada, se utilizarán muy a menudo antenas interiores, mientras que en las zonas de poca intensidad, se emplearán instalaciones de muy buena calidad, con el resultado de que el número de personas que obtienen una recepción satisfactoria puede ser muy diferente al número facilitado por los cálculos de característica de zona basados en el caso de una instalación receptora normalizada. Para conseguir una representación objetiva de la zona de servicio, sin embargo, es conveniente tomar siempre como referencia una calidad de servicio recibido con una instalación normalizada. La adopción de una instalación receptora normalizada facilita también el cálculo de los efectos globales de fuentes múltiples de interferencia.

Además de que reúne todas las condiciones requeridas, este método de representación del servicio tiene otras varias ventajas. Se puede calcular el área efectiva o la población equivalente servida por un transmisor dado sumando los productos de la característica de zona por el área o por la población, según el caso, a la que se aplica esta característica [2, 3].

Este método es práctico también para evaluar la influencia de las interferencias causadas por transmisores próximos, estén ya en servicio, acaben de instalarse o se proyecte instalar. La característica de zona global, con varios transmisores interferentes, es aproximadamente igual al producto de las diferentes características de zona de la estación deseada que se obtendrían si cada una de las fuentes de interferencia actuara individualmente [2]. Esta aproximación es bastante buena cuando la probabilidad global así calculada es de un 50 % o más, y mucho mejor cuanto más elevada es la calidad del servicio. Existen también métodos más precisos para calcular los efectos de interferencia múltiple [2, 4].

2. Método de medición.

Las mediciones de la intensidad de campo producido por las estaciones de radiodifusión que trabajan en ondas métricas y decimétricas se efectúan con las finalidades siguientes:

- 2.1 Facilitar una base para evaluar la extensión de la zona de servicio de una calidad determinada;
- 2.2 Comprobar el diagrama de directividad y la potencia radiada por una antena transmisora;
- 2.3 Proporcionar datos que permitan aumentar los conocimientos que se poseen sobre las condiciones de propagación en las bandas consideradas.

Al efectuar las mediciones deben cumplirse las condiciones siguientes:

- 2.4 Es preciso que se puedan reproducir fácilmente las mediciones, con objeto de poder comprobarlas ulteriormente en caso necesario;
- 2.5 El procedimiento empleado debe facilitar de modo eficiente la información necesaria;
- 2.6 El método utilizado no debe presentar riesgos ni ser demasiado costoso.

Actualmente se utilizan diversos métodos de medición que responden a las normas expuestas en grado variable.

Es indiscutiblemente más fácil efectuar las mediciones cuando el colector de ondas está instalado a una altura de 3 ó 4 m sobre el suelo; pero una altura de 10 m corresponde mejor a la altura de la antena receptora de una instalación típica. Se pueden corregir adecuadamente en función de la altura los resultados obtenidos para una altura de 3 m en un terreno relativamente llano y despejado, pero esta corrección resulta difícil cuando se trata de un terreno muy accidentado o de zonas urbanas, sobre todo en ondas decimétricas. Por consiguiente, parece conveniente fijar en 10 m la altura óptima de la antena de medición, y la solución ideal consistiría en obtener, a una altura normalizada, un número muy elevado de datos de observación independientes. Por otra parte, cuando la altura de la antena transmisora es tal que, en la banda de frecuencias utilizada, la intensidad de campo varía no linealmente en función de la altura sobre el suelo, conviene medir la intensidad de campo a varias alturas hasta la de 20 m, por lo menos [8].

Cuando se efectúan mediciones para determinar la zona cubierta por los transmisores de televisión, es práctica corriente medir en todas las bandas el campo de las señales de «sonido» y aplicar el factor apropiado para obtener el valor de cresta de la señal de la imagen, que, por lo general, debería estar en estrecha relación con la calidad de recepción. Sin embargo, cuando se emplean antenas receptoras directivas, a veces no basta con medir la intensidad de la señal de sonido para determinar la zona cubierta por un transmisor, tanto por lo que se refiere a la imagen como al sonido.

Es conveniente que los resultados registrados de un estudio dado se refieran al campo existente durante el 50 % del tiempo. En un radio de 20 a 30 km a partir del transmisor, la gama de desvanecimiento es, en general, muy restringida y no es de temer un error grave, cualesquiera que sean el momento en que se efectúen las medidas y la refractividad de la baja atmósfera. Cuando se realizan las mediciones a mayores distancias, en el caso de un transmisor de gran potencia, los efectos de desvanecimiento pueden dar lugar a errores importantes. Cuando se efectúa un estudio a tales distancias, conviene proceder a registros continuos del campo en un punto de referencia fijo que quizá haya necesidad de hacer

variar en el curso del estudio. El examen de esos registros permite decidir si hay que rechazar ciertas medidas o si es posible ajustarlas a las condiciones normales.

En un estudio relativo a la zona cubierta se efectúan la mayor parte de las medidas en ciudades y en pueblos grandes, completándolas a veces con medidas hechas, siguiendo direcciones radiales desde el transmisor.

2.7 Medidas en frecuencias inferiores a 100 MHz.

En la mayoría de los casos, en las frecuencias inferiores a 100 MHz se procede a un registro continuo del campo con un vehículo equipado generalmente de un aparato de registro adecuado de cinta de papel, acoplado mecánicamente a las ruedas del vehículo. La solución ideal consiste en hacer las medidas a la altura normalizada de la antena de recepción, es decir, a 10 m, pero no hay que olvidar que, desde el punto de vista práctico, las medidas han de hacerse recorriendo una extensa zona y en un tiempo razonable. Gran número de medidas comparativas hechas a una altura de 10 m y a alturas apropiadas para el registro con equipo móvil confirman que una corrección lineal da resultados bastante precisos, al menos en las frecuencias inferiores a 100 MHz. Para esa clase de medidas con equipo móvil es evidente que conviene utilizar una antena omnidireccional.

En general, no es muy cómodo hacer mediciones a 10 m de altura en grandes trayectos de carretera, con hilos aéreos, árboles, etc.; sin embargo, no hay ninguna dificultad en hacerlo cuando se trata de secciones cortas (30 a 150 m) o de mediciones en puntos fijos. Como se describirá más adelante con detalle, se puede utilizar un procedimiento de muestreo sistemático para determinar las ubicaciones en que deben efectuarse estas mediciones a distancias cortas o en puntos fijos. También se puede determinar el grado de precisión en el cálculo de la zona o población servida con una calidad dada. Las mediciones en distancias cortas se efectúan a lo largo de un trayecto corto de carretera centrado en el punto de medición elegido, atribuyéndose a esta ubicación el valor medio de la intensidad de campo medida en este trayecto. Las mediciones en distancias cortas tienen la ventaja, comparadas con las efectuadas en puntos fijos, de proporcionar valores medianos que pueden reproducirse más fácilmente. Las mediciones en puntos fijos son más fáciles de efectuar y pueden ser utilizadas también para obtener una distribución del campo en función del tiempo en el periodo considerado.

Para presentar los resultados, se marca en un mapa la posición exacta de los puntos de medición y se indica, según el caso, el valor mediano del campo o el valor del campo en el punto donde se ha hecho la medición. En un estadillo aparte se anotan para cada punto, la topografía local, la altura y naturaleza de la vegetación, casas, obstáculos, condiciones meteorológicas y las horas, así como todas las demás características locales que puedan influir en la intensidad de campo recibido (si ha lugar, se agregan fotografías de los lugares de medición). Se indican asimismo los valores mediano, máximo y mínimo de la intensidad de campo para el trayecto corto o para un grupo de mediciones, así como la dirección de llegada de la señal máxima cuando no es la del transmisor.

2.8 Medidas en frecuencias superiores a 100 MHz.

En frecuencias superiores a 100 MHz, especialmente en las bandas IV y V, debe medirse el campo a la altura requerida de 10 m, porque no es lícito admitir que la ganancia varía linealmente con la altura entre 3 y 10 m en las bandas de ondas decimétricas.

En ese caso, se hace una estimación del número de medidas en muestras independientes requeridas para alcanzar el grado de precisión deseado. En general, es necesaria una mayor precisión cuando el campo medido se encuentra en la gama de las intensidades críticas comprendida entre 46 y 66 dB por encima de $1 \mu\text{V/m}$ para las ondas métricas, y entre 60 y 80 dB por encima de $1 \mu\text{V/m}$ para las ondas decimétricas. Los centros urbanos en que la intensidad de campo mediana se encuentra fuera de esos límites pueden considerarse como inadecuadamente servidos, o bien dentro de una zona de servicio satisfactoria, y, por tanto, en ese caso no son importantes los pequeños errores en las mediciones de campo.

La fig. 3 indica el número de mediciones en muestras independientes necesarias para obtener un 95 % de probabilidades de que el error probable ϵ cometido en un valor mediano sea inferior a 2 ó 4 dB. En la práctica, el error aceptable ϵ no excede de 2 dB en la zona crítica, pero puede llegar hasta 4 dB cuando la precisión sea de menor importancia. La fig. 3 trazada en el supuesto de una distribución logarítmica normal del campo, representa la relación entre el número de muestras requerido y el «factor de variación» V , definido como la relación, en dB, entre las intensidades de campo excedidas, respectivamente, en 50 % y 90 % de los puntos situados en la ciudad u otra zona urbana considerada.

El valor del factor de variación V está generalmente comprendido entre 5 y 10 dB en las ondas métricas, y entre 5 y 15 dB en las ondas decimétricas, aun cuando en algunos casos pueda llegar a 20 dB. La figura 4 muestra la distribución de V en cierto número de ciudades del Reino Unido, en ondas métricas y decimétricas. El valor mediano de V , utilizado en la figura 4, sirve generalmente para determinar el número de muestras independientes requeridas, pero si durante los trabajos se comprueba que V difiere considerablemente de la mediana de los valores de la fig. 4 hay que aumentar el número de muestras. En general, el total de muestras ha de estar comprendido entre 10 y 100, si quieren respetarse los límites mencionados.

Otro método que permite determinar el número de muestras de mediciones requeridas y que puede presentar ventajas con relación al anteriormente descrito, especialmente en ondas decimétricas, consiste en medir primeramente la gama global de dispersión R de los valores del campo en algunos puntos situados a mucha y a poca altura. Puede admitirse que la gama R es igual a 6σ , siendo σ la desviación estándar. Para una distribución logarítmica normal, $V = 0,214 R$.

Para evaluar la amplitud de la zona de servicio, el procedimiento de medición puede ser considerado como un proceso de muestreo en el que la distribución cumulativa de las muestras representa un cálculo de las variaciones en una zona determinada. En la elección de las ubicaciones de este muestreo no deben influir los criterios particulares, ya que deben representar lo más aproximadamente posible instalaciones típicas. Un factor importante que afecta a la elección de las ubicaciones de muestreo es la tendencia de las mediciones sucesivas, efectuadas en puntos adyacentes, a correlacionarse entre sí, es decir, a correlacionarse en serie. Las mediciones efectuadas con una separación suficiente para eliminar la correlación en serie dan una buena estimación de las variaciones del campo. Los estudios efectuados señalan que en separaciones de hasta uno o dos kilómetros, normales al trayecto de propagación, se producirá una importante correlación en serie entre mediciones sucesivas [3, 5, 6]. Si las mediciones se hacen en radios vectores alrededor de un punto, se tendrá una correlación de series para separaciones más importantes.

2.9 Selección de las ubicaciones de medición.

En lo posible, las ubicaciones de medición en las regiones urbanas se elegirán al azar en un plano de la ciudad considerada; la densidad de las mediciones variará en función de la distribución de la población. En cada punto de medición puede tomarse un solo valor muestra del campo o bien hacer una serie de cuatro o cinco mediciones en puntos que disten entre sí sólo unos metros y registrar la media estimada de esos cuatro o cinco valores, que constituye en ese caso el valor medido aplicable a una «ubicación muestra». Con frecuencia se observa una buena correlación entre las mediciones de campo efectuadas en puntos distantes algunos metros, especialmente si se utiliza una antena de varios elementos, pero que las diferencias son mucho más importantes en el caso de mediciones hechas en puntos bastante alejados, como, por ejemplo, en distintos barrios de la misma ciudad. Se prefiere a menudo el método denominado de «muestra única», ya que las «series» de mediciones exigen mucho más tiempo porque hay que subir y bajar varias veces la antena de recepción y tener en cuenta el riesgo que se corre al desplazar el vehículo de medición estando la antena totalmente levantada. No obstante, es más fácil reproducir la media de una serie de mediciones que una observación en muestra única, y puede demostrarse que el número de mediciones en serie necesario para evaluar el factor de variación global con cierta precisión en la zona considerada, es de un 10 a un 15 % inferior al de las mediciones de «muestra única».

Todas las mediciones de muestras se efectúan con una antena de recepción de una altura normalizada de 10 m. En ondas decimétricas y métricas, en terreno ondulado, conviene utilizar antenas directivas para obtener una discriminación respecto de las señales de eco procedentes de las colinas y edificios circundantes.

Para cada región urbana considerada, se ha trazado un gráfico que representa la distribución del campo por ubicaciones. Ese gráfico permite determinar el porcentaje de las mismas en el que se excede un valor de campo dado.

Para poder estimar la distribución cumulativa del campo en un elemento de superficie de la zona de servicio, conviene hacer medidas de muestreo en condiciones tales que las características de propagación sean idénticas en toda la zona de medida. No se tendrán en cuenta, por ejemplo, efectos sistemáticos tales como las grandes variaciones del campo con la distancia. Puede obtenerse ese resultado haciendo cada serie de medidas en una zona anular centrada en el transmisor o en una porción de la misma.

Las ubicaciones de medición deben disponerse en círculos o arcos de círculo teniendo como centro el transmisor. La elección del radio de los círculos dependerá en gran parte de la característica de zona. Es muy conveniente, por lo tanto, calcular de antemano la relación entre la distancia y la característica de zona en el caso particular de que se trate. En la fig. 5 se señala un ejemplo hipotético de esta relación basado en una relación de la intensidad de campo con la distancia para una estación de televisión en la banda de frecuencias de 54 a 88 MHz. En este ejemplo se admite una distribución logarítmica normal, con una desviación estándar de 6 dB de los valores de la intensidad de campo en las zonas de medida elementales. Los estudios de propagación sobre terreno irregular en estas frecuencias [2, 3, 5, 6 y 7] indican que el logaritmo de la intensidad de campo tiene una distribución aproximadamente normal. En este ejemplo, las características de zona indican el porcentaje de zonas a las distancias indicadas en las que puede preverse una intensidad de campo superior a 57 dB con relación a 1 μ V/m. En la fig. 6 se da una posible distribución de ubicaciones para las mediciones. Debe señalarse que, en este ejemplo, se propone la mayor concentración de puntos a la distancia para la cual la característica de zona es 0,5 con objeto de facilitar, de la mejor forma posible, la información relativa a la zona total servida. Las separaciones entre mediciones adyacentes deben ser adecuadas para eliminar, o por lo menos reducir al mínimo, los efectos de correlación en serie.

2.10 Representación de los resultados.

Si las ubicaciones de medición propuestas, determinadas de forma similar a la fig. 6 se llevan a un mapa, se encontrará que muchas ubicaciones caen en zonas inaccesibles. En tales casos, la medición probablemente tendrá que hacerse en el punto accesible más próximo. Al elegir estas ubicaciones alternativas, es de primordial importancia no dejarse llevar por criterios ajenos al problema, como ocurriría, por ejemplo, si estas ubicaciones alternativas se concentrasen a lo largo de carreteras de gran circulación.

Sería relativamente sencillo indicar otras observaciones además de las mediciones fundamentales de intensidad de campo. En un número determinado de las ubicaciones podrían registrarse las variaciones con el tiempo durante un periodo razonablemente largo. También podrían ser registrados los efectos de la altura o directividad de la antena, calidad de la imagen o del sonido, etc. En zonas de especial interés podrían efectuarse mediciones adicionales.

Además del método de representación de la zona de servicio descrito en el presente informe, se presenta usualmente un mapa de intensidad de campo con la posición de las curvas medianas. La cantidad de detalles que se ha de indicar depende del grado de irregularidad del terreno y serán más abundantes para las ondas decimétricas que para las métricas. Este mapa debe ir acompañado de un cuadro con el campo mediano y el factor de variación para el 50 % al 90 % de las ubicaciones en cada uno de los grandes centros urbanos.

Sería también útil presentar un mapa análogo al de la fig. 1 en el que sólo se indicaran dos o tres de las principales demarcaciones de la zona de servicio; por ejemplo, la región en cuyo interior más del 70 % o 95 % de los telespectadores pueden recibir, en cualquier localidad, un servicio de calidad satisfactoria.

BIBLIOGRAFÍA

1. Report to the Federal Communications Commission of Committee 5.3 of the Televisión Allocation Study Organization (TASO), (marzo de 1959).
2. Volumes I and II of the Report of the «ad hoc» Committee for the evaluation of the radio propagation factors concerning the television and FM broadcasting services in the frequency range between 50 and 250 MHz. Federal Communications Commission. Mimeograph 36830 (mayo de 1949); and Mimeograph 54382 (17 de julio de 1950).
3. KIRBY, R. S.: Measurement of service area for television broadcasting. *Trans. IRE*, PGBTs-7, **23**, (febrero de 1957).
4. NORTON, K. A.; STARAS, H., y BLUM, M.: Statistical approach to the problem of multiple radio interference to FM and television service, *Trans. IRE*, AP-1, **43** (febrero de 1952).
5. KIRBY, R. S., y CAPPS, F. M.: Correlation in VHF propagation over irregular terrain. *Trans. IRE* AP-4, 1, **72** (enero de 1956).
6. KIRBY, R. S.; DOUGHERTY, H. T., y McQUATE, P. L.: VHF Propagation measurements in the Rocky Mountain Region. *Trans. IRE*, PGVC-6, **13** (julio de 1956).
7. KUHN, U.: Ausbreitungsuntersuchungen für unterschiedlichem Gelände in den Frequenzbandern I, II und III. (Investigación sobre el efecto de varios tipos de terreno en la propagación, en las bandas I, II y III). *Technische Mitteilungen aus dem Betriebslaboratorium für Rundfunk und Fernsehen (BRF) (DDR)* (febrero y mayo de 1958).
8. GENTILE, G.: Measurement of field strengths at frecuencias above 30 MHz. Método aplicado por el Centro de control de la R. A. I. en Monza. *E. B. U. Review*, núm. 97-A (junio de 1966).

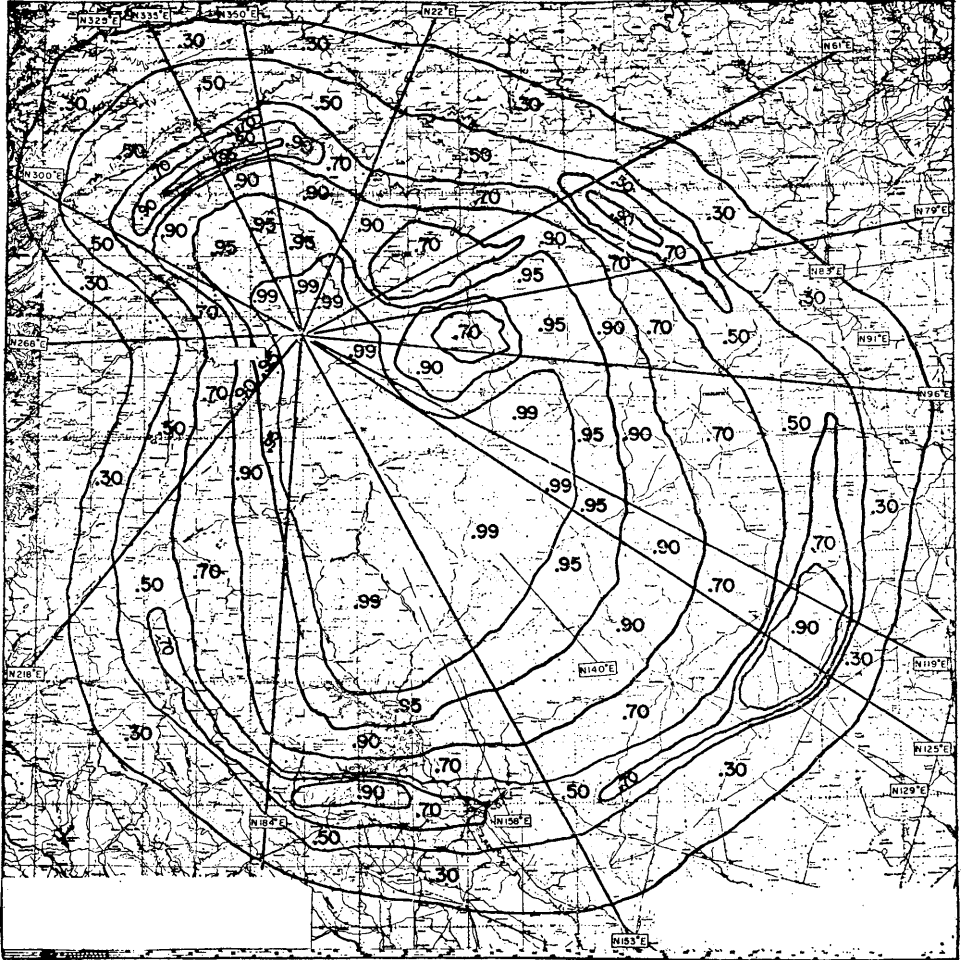


FIGURA 1

Noción de característica de zona

Las cifras indican el porcentaje de ubicaciones de recepción en las cuales la calidad del servicio es aceptable durante el 90 % del tiempo, por lo menos

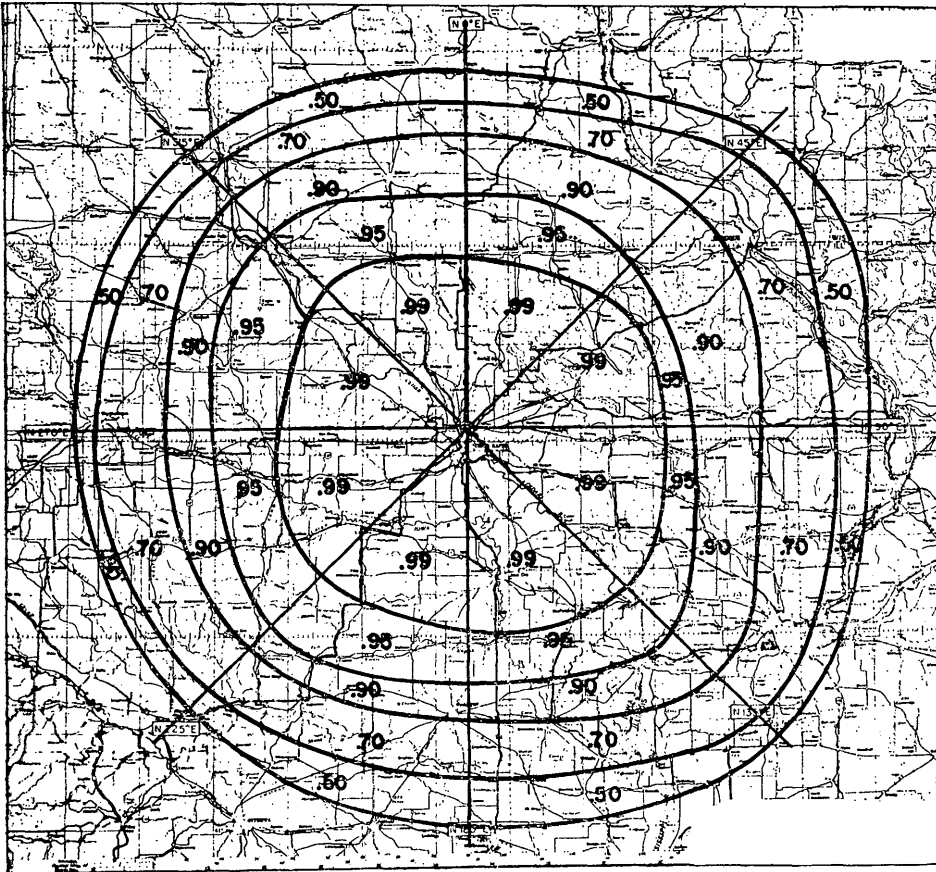


FIGURA 2

Noción de característica de zona

Las cifras indican el porcentaje de ubicaciones de recepción en las cuales la calidad del servicio es aceptable durante el 90 % del tiempo, por lo menos

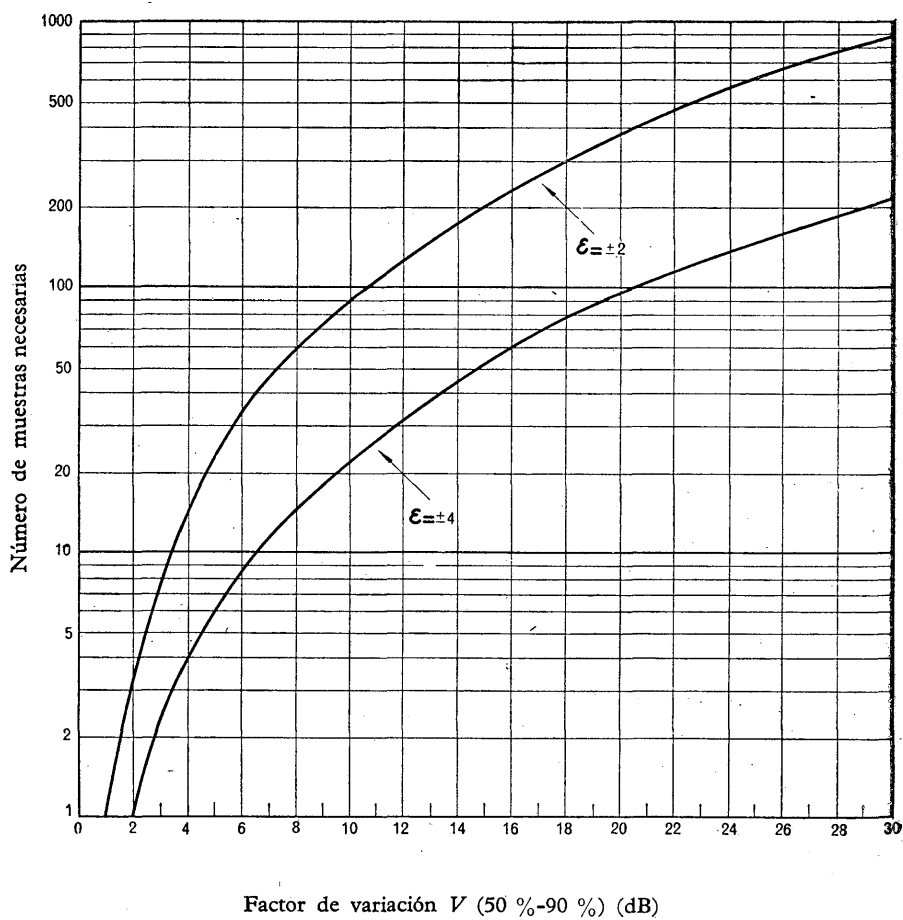
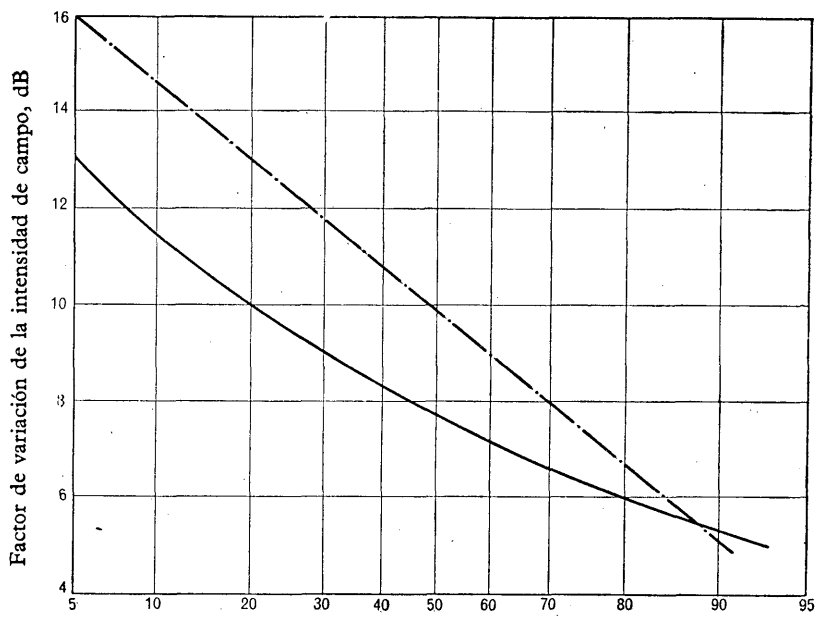


FIGURA 3

Número de mediciones de muestras necesarias para obtener la probabilidad 95 %
de que el error ϵ en el valor mediano sea inferior a 2 dB o a 4 dB



Porcentaje de ciudades en que el factor de variación excede el valor de la ordenada

FIGURA 4

Distribución de los valores del factor de variación en las ciudades del Reino Unido

Todas las mediciones se han hecho con la antena receptora a 10 m sobre el nivel del suelo

- Mediciones en la banda V, en 121 ciudades
- Mediciones en la banda III, en 40 ciudades

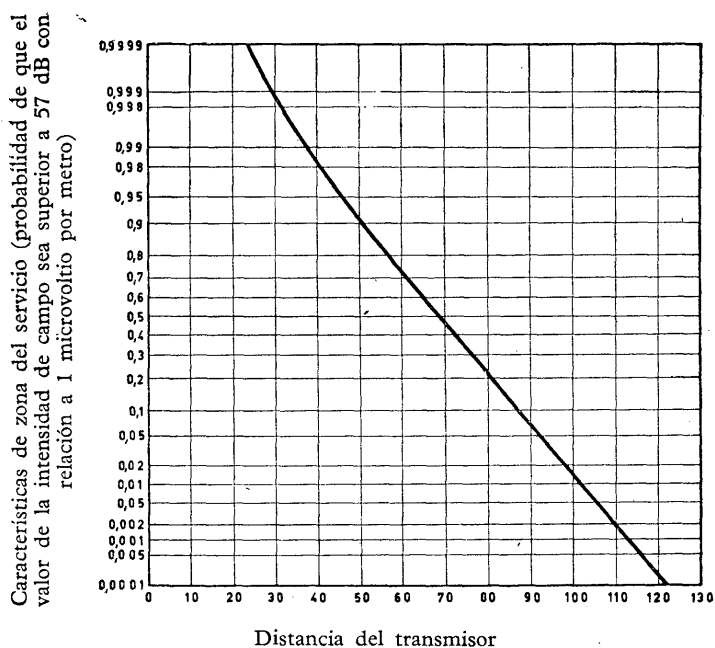


FIGURA 5

*Variación de la característica de zona de servicio en función de la distancia del transmisor.—
Banda en la característica de propagación típica de una estación de televisión con una potencia
radiada aparente de 100 kW que funciona en la banda 54-88 MHz*

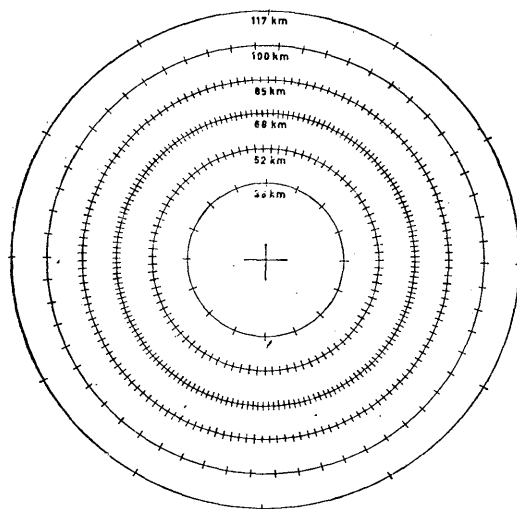


FIGURA 6

*Posible disposición de las ubicaciones de medida para una estación de 100 kW en un terreno corriente
(El transmisor está en el centro de la figura.)*

INFORME 238-1 *

DATOS DE PROPAGACIÓN NECESARIOS PARA LOS SISTEMAS DE RELEVADORES RADIOELÉCTRICOS TRANSHORIZONTE

(Programa de estudios 5-1B-1/5)

(1970)

1. Consideraciones generales.

Sabido es que, en las condiciones habituales de la refracción, la atenuación en frecuencias superiores a 30 MHz aumenta rápidamente más allá del horizonte, de acuerdo con la teoría de la difracción alrededor de una tierra esférica, pero que una vez que ha aumentado en algunas decenas de decibelios sobre el valor en el espacio libre, el índice de atenuación en función de la distancia vuelve a adquirir un valor mucho más reducido. Hasta grandes distancias las señales siguen siendo, pues, mensurables. A tales distancias, el desvanecimiento es muy variable; no obstante, el conjunto de los valores medidos puede representarse por una curva exponencial en la que el índice de atenuación es del orden de 0,1 dB/km. Se obtienen corrientemente distancias útiles de 300 km o más. A distancias aún mayores sigue decreciendo, de modo que, utilizando transmisores con una potencia radiada aparente excepcionalmente alta, se han podido obtener alcances de unos 1000 kilómetros.

Esas señales, aunque de amplitud variable, son persistentes, pero hay que distinguirlas de las señales de mucha mayor intensidad que aparecen a veces a esas distancias y que se deben a condiciones especiales, cuando se forman, por ejemplo, conductos en la troposfera o cuando se utilizan frecuencias más bajas y la onda se refleja en las capas ionosféricas anormales. Estas señales de gran intensidad no pueden servir de base para establecer un enlace permanente, pero pueden crear interferencias perjudiciales.

Se observa variaciones lentas y rápidas de la intensidad de campo. Las variaciones lentas son imputables a las variaciones generales de las condiciones de refracción en la atmósfera. Los valores medianos horarios inferiores al valor mediano de largo plazo presentan una distribución aproximadamente logarítmica normal, con una desviación media típica comprendida generalmente entre 4 y 8 dB. Las variaciones más importantes de la atenuación se observan a menudo en trayectos en que el receptor está situado inmediatamente después de la región de difracción, en tanto que a distancias muy grandes las variaciones son menos marcadas. Los desvanecimientos lentos no dependen grandemente de la frecuencia radioeléctrica. Los desvanecimientos rápidos varias veces por minuto en las frecuencias bajas y varias veces por segundo en las bandas de ondas decimétricas. La superposición de varias componentes incoherentes variables daría una señal cuya amplitud obedecería a la ley de distribución de Rayleigh; se observa que esta hipótesis se comprueba prácticamente si se analiza la distribución durante intervalos de tiempo de cinco minutos de duración mínima. Esta distribución se modifica cuando una parte importante de la señal está constituida por otros tipos de señales. Se han observado desvanecimientos rápidos, repentinos y profundos, en el momento en que una perturbación frontal pasa sobre un enlace. La reflexión de las ondas en una aeronave puede provocar desvanecimientos rápidos muy marcados.

En el Informe 244-2 se indica que la atenuación a largo plazo con relación al espacio libre aumenta con la primera potencia de la frecuencia f . Las mediciones efectuadas en Suecia [8] en 1 y 3 GHz indican que, cuando el valor mediano horario de la atenuación aumenta, la dependencia de la atenuación con la frecuencia, relativa al espacio libre, varía continuamente desde f^2 a $f^{1/3}$.

* Adoptado por unanimidad.

2. Influencia del clima.

En regiones de clima templado los valores medianos mensuales de la atenuación tienden a ser más elevados en invierno que en verano, pero la diferencia disminuye cuando la distancia aumenta. Las mediciones efectuadas en la parte europea de la U. R. S. S., en un trayecto de 920 km de longitud y en 800 MHz, indican que la diferencia entre los valores medianos estivales e invernales es de sólo 2 dB [9]. Para los enlaces de longitud media, la diferencia es de unos 15 dB. Los trayectos marítimos experimentan más fácilmente los efectos de la superrefracción y de las capas elevadas de los trayectos terrestres; las variaciones son, pues, más importantes en los trayectos marítimos. Además, se producen variaciones diurnas. En general, la atenuación es máxima por la tarde [10].

En los climas desérticos secos y calientes, la atenuación es máxima en verano. Las variaciones anuales de las medianas mensuales para trayectos de longitud media exceden de 20 decibelios. Las variaciones diurnas son muy importantes.

En los climas ecuatoriales, las variaciones anuales o diurnas son en general pequeñas.

En los climas de monzón, en los que se han hecho mediciones (Senegal, Barbada), la atenuación es mínima durante los periodos de transición entre las estaciones secas y las húmedas.

3. Recepción por diversidad.

Los desvanecimientos profundos que se producen con la propagación por dispersión reducen considerablemente la calidad de funcionamiento de los sistemas que utilizan este modo de propagación. Se puede reducir el efecto de los desvanecimientos si se recurre a la recepción por diversidad, empleando dos o varias señales cuyos desvanecimientos son más o menos independientes debido a sus diferencias de trayecto, de frecuencia o de instantes de transmisión. El efecto de la diversidad en el espacio se ha estudiado en la República Federal de Alemania [6] midiendo la función de correlación en el espacio y de su longitud de escala L , mediante registros simultáneos de la atenuación en varias antenas (generalmente tres) separadas horizontal y verticalmente.

En un sistema que funcione por diversidad en el espacio, la separación que conviene dar a las antenas receptoras depende de la longitud de escala L (m) definida por la función de correlación y del diámetro D (m) de las antenas. Dada la naturaleza estadística de L , conviene utilizar el valor de esta magnitud excedido durante el 1 % del tiempo, representado por L_y en el sentido horizontal y por L_z en el sentido vertical. Las separaciones adecuadas Δ_y (m) y Δ_z (m) vienen dadas entonces, para frecuencias superiores a 1000 MHz, por las relaciones

$$\Delta_y = 0,36 (D^2 + 4 L_y^2)^{1/2}$$

$$\Delta_z = 0,36 (D^2 + L_z^2)^{1/2}$$

Las medidas dieron los valores siguientes:

$$L_y \simeq 20 \text{ m}, L_z \simeq 15 \text{ m}.$$

También puede emplearse la diversidad de frecuencia. Se ha encontrado [6] que un valor adecuado, para la diferencia de frecuencia Δ_f (MHz) es:

$$\Delta_f = (1,44/\delta d) (D^2 + L_z^2)^{1/2},$$

expresión en la que f (MHz) es la frecuencia portadora, δ (miliradianes) el ángulo de dispersión en el centro del volumen común y d (km) la distancia entre transmisor y receptor. Estas fórmulas deben utilizarse con precaución cuando se trate de frecuencias netamente inferiores a 1000 MHz. Se ha estudiado en Francia [2] la variación del coeficiente de correlación de frecuencia con la longitud del trayecto.

Es asimismo posible recurrir a la diversidad angular empleando líneas de alimentación múltiples y un reflector común. Un sistema sencillo de este tipo, aplicado en el extremo del receptor, puede asegurar un rendimiento comparable al de la diversidad en el espacio y a un costo mucho más reducido, sobre todo en frecuencias próximas a la gama de ondas centimétricas [11].

Es poco probable que el empleo de la diversidad de polarización pueda tener alguna utilidad práctica, porque se comprueba que la polarización se conserva bien, mientras que la atenuación no parece depender de que se haya empleado o no la polarización vertical u horizontal.

4. Ganancia de la antena para el trayecto.

La ganancia global de las antenas transmisora y receptora puede ser inferior a la suma de las ganancias de esas antenas para las ondas planas. Esta disminución aparente de la ganancia se denomina «degradación de la ganancia» o «pérdida por acoplamiento entre la antena y el medio». El análisis teórico [3] muestra que la pérdida depende de la ganancia de antena y de la longitud del trayecto. A juicio de algunos autores, esto se produce cuando la abertura de los haces de las antenas es menor que la que permitiría obtener la dispersión de las señales utilizando antenas no directivas.

Se ha observado experimentalmente que la ganancia de la antena para el trayecto, o la ganancia efectiva total de antena en un enlace transhorizonte, son prácticamente independientes de la distancia, entre 150 y 500 km aproximadamente [7]. Además, puede considerarse que la ganancia efectiva total (fig. 1) depende exclusivamente de la suma de las ganancias de las antenas en el espacio libre, sin correcciones importantes, a condición de que ninguna de las ganancias en el espacio libre exceda de 50 dB, aproximadamente, y de que las ganancias de las dos antenas no sean demasiado distintas.

Cuando se utilizan antenas de ganancia muy elevada, la ganancia efectiva total de la antena (ganancia de la antena para el trayecto) aumenta solamente en un valor equivalente a un cuarto del aumento dado por la suma de las dos ganancias en el espacio libre. Para distancias superiores a 500 km, en [12] se indica que la pérdida por acoplamiento entre la antena y el medio parece disminuir hasta ser muy pequeña para unos 1000 km.

Para calcular la intensidad de campo interferente, no se debe tener en cuenta la degradación de la ganancia de la antena, porque los campos más elevados que el valor mediano son coherentes por lo general, y no sufren esta pérdida.

5. Frecuencia de los desvanecimientos.

La rapidez de los desvanecimientos es un factor importante, sobre todo cuando se trata de transmitir señales numéricas. Este factor se ha estudiado en la República Federal de Alemania [4; 5, 13], desde el punto de vista de la función de autocorrelación en el tiempo, lo que conduce a una «frecuencia media de desvanecimientos». Esta magnitud proporciona una medida de la velocidad de los desvanecimientos. Varía de manera estadística entre 0,0444 veces su valor mediano (para el 99 % del tiempo) y 4,3 veces su valor mediano (para el 1 % del tiempo). El propio valor mediano f_{sm} aumenta casi proporcionalmente a la distancia y a la frecuencia portadora; alcanza aproximadamente 4 Hz para una frecuencia portadora de 10 GHz. Además [6], disminuye ligeramente cuando aumentan los diámetros de las antenas.

6. Anchura de banda transmisible.

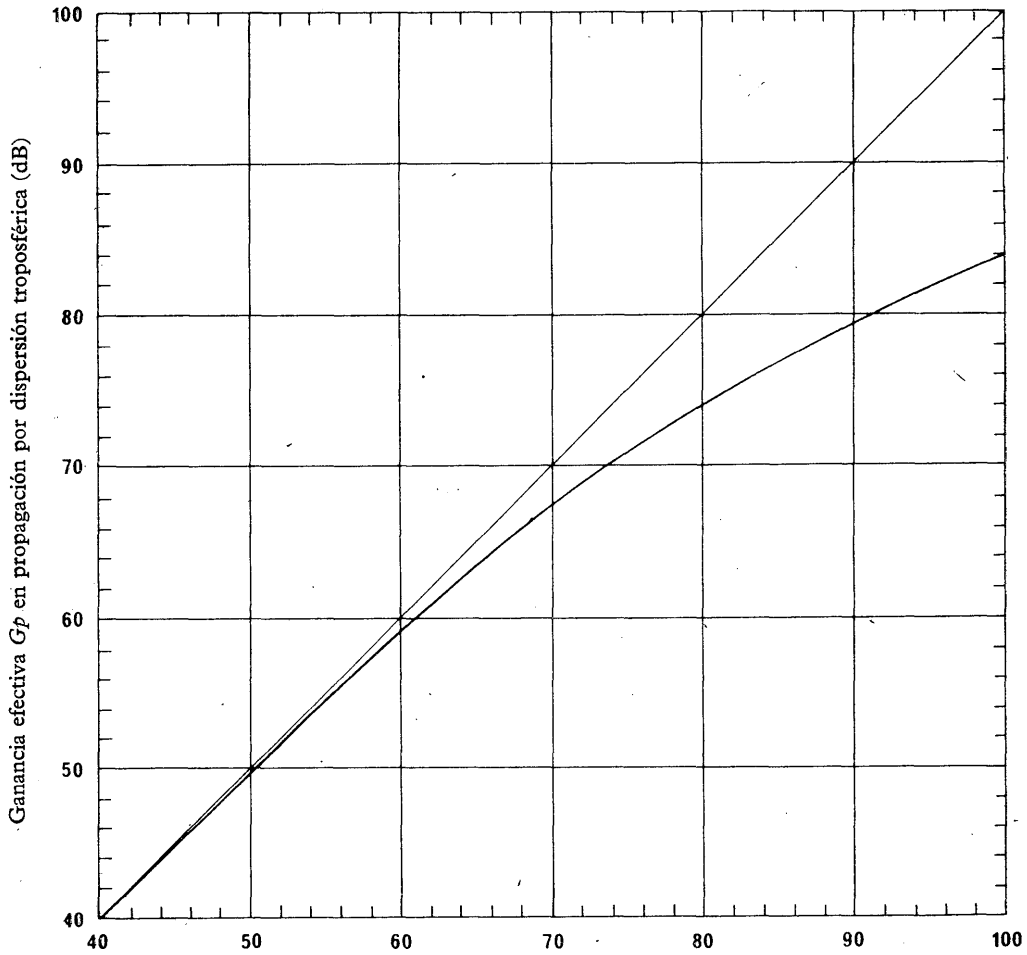
Las diferencias entre los tiempos de propagación de las componentes de la señal transmitida por dispersión provocan una distorsión de señal que reduce la anchura de banda disponible para la modulación. A juicio de algunos autores, la anchura de banda es, en teoría, inversamente proporcional al cubo de la distancia y aumenta con la ganancia de la antena. Se ha encontrado que para trayectos superiores a 500 km no pueden conseguirse más de 24 canales telefónicos satisfactorios.

7. Influencia de la ubicación de las estaciones.

La elevación de la ubicación de los puntos extremos de los enlaces que utilizan la transmisión transhorizonte requiere cierto cuidado. Los haces de antena no deben quedar enmascarados por obstáculos próximos y la condición fundamental requerida es que las antenas estén dirigidas hacia el horizonte. Una inclinación de los haces de antena de 5° hacia arriba basta para provocar una atenuación de unos 10 dB, debida probablemente al aumento del ángulo dentro del cual debe dispersarse la radiación.

BIBLIOGRAFÍA

1. C. C. I. R.: Doc. V/25 (República Federal de Alemania), 1966-1969.
2. C. C. I. R.: Doc. V/114 (Francia), 1963-1966.
3. RICE, P. L.; LONGLEY, A. G., NORTON, K. A., y BARSIS, A. P.: Transmission loss predictions for tropospheric communication circuits. NBS Technical Note 101 (1965).
4. FEHLHABER, L., y GROSSKOPF, F.: Die mittlere Schwundfrequenz auf Scatterstrecken im Frequenzbereich 1 GHz bis 10 GHz (La frecuencia media de desvanecimiento en los sistemas de relevadores radioeléctricos transhorizonte que funcionan en la banda de 1 a 10 GHz). *Techn. Ber. FTZ*, N.º 5582 (1.º de marzo de 1966).
5. FEHLHABER, L., y GROSSKOPF, F.: Das Elektromagnetische Feld am Empfangsort einer Troposphärischen Scatterstrecke, I und II (El campo electromagnético en la estación receptora de un relevador radioeléctrico transhorizonte). *Nachr. Techn. Z.*, 20, 511-520 y 649-657 (1967).
6. C. C. I. R.: Doc. V/26 (República Federal de Alemania), 1966-1969.
7. BOITHIAS, L., y BATTISTI, J.: Etude expérimentale de la baisse de gain d'antenne dans les liaisons transhorizon. *Annales des télécommunications* (septiembre-octubre de 1964).
8. EKLUND, F., y WICKERTS, S.: Wavelength dependence of microwave propagation far beyond the radio horizon. *Radio Science* 3, 11 (noviembre de 1968).
9. C. C. I. R.: Doc. V/140, (U. R. S. S.), 1966-1969.
10. C. C. I. R.: Doc. V/142, (O. I. R. T.), 1966-1969.
11. SURENIAN, D.: Experimental results of angle diversity system tests. *IEEE Trans. Com. Tech. COM-13*, 2, 208 (junio de 1965).
12. C. C. I. R.: Doc. V/133 (Francia), 1966-1969.
13. GROSSKOPF, F., y FEHLHABER, L.: Häufigkeit und Dauer einzelner Schwundeinbrüche bei troposphärischen Scatterstrecken, (Frecuencia y duración aislados en los enlaces por dispersión troposférica). *Nachr. Techn. Z.*, 2, 71 (1962).



Suma de las ganancias de antena en el espacio libre, $G_t + G_r$ (dB)

FIGURA 1

INFORME 239-2 *

**RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE PROPAGACIÓN EN EL SERVICIO
DE RADIODIFUSIÓN Y EN EL SERVICIO MÓVIL EN LA GAMA
DE FRECUENCIAS DE 30 A 1000 MHz**

(Programa de estudios 7A/5)

(1959 - 1963 - 1966 - 1970)

1. Introducción.

En el presente Informe se dan indicaciones acerca del trazado y del empleo de las curvas de propagación de la Recomendación 370-1; comprende resultados estadísticos descriptivos relativos a la ganancia de las antenas en función de la altura y a los fenómenos de despolarización, y se examina en él la influencia de las zonas urbanas y de la vegetación en la propagación. En la última sección, se sugiere un método perfeccionado para el cálculo de la intensidad de campo en trayectos mixtos.

El Informe 240, Ginebra, 1963, tenía por objeto facilitar curvas de propagación para la radiodifusión, poniendo de relieve las diferencias de clima que cabe esperar en el continente africano. Se espera que las administraciones de los países africanos proporcionen, una vez hayan puesto en servicio transmisores que funcionen en esas bandas de frecuencias, datos suplementarios que puedan compararse con esas curvas **.

En el Informe 236-2, al igual que en el presente Informe, se estudia la influencia del terreno en la propagación, así como la base teórica de algunos de los parámetros que intervienen en el trazado de las curvas de intensidad de campo en función de la frecuencia, de la distancia, de la altura de las antenas y de la naturaleza del terreno. En el Informe 228-1 se estudian las medidas de intensidad de campo para el servicio de radiodifusión; se hace un análisis descriptivo de las mediciones y se muestra cómo se pueden emplear las curvas de propagación para describir las zonas de servicio efectivas. Para predecir la pérdida de transmisión entre puntos fijos (valores medianos a largo plazo y variabilidad en el tiempo), se emplean habitualmente otros métodos. Recientemente se ha publicado un resumen de algunos de ellos que está estudiando el Grupo internacional de trabajo creado en virtud de la Resolución 2 [1].

Muchas administraciones han comunicado resultados de medida de la intensidad de campo, que han servido para establecer las curvas de propagación [18, 19, 20, 21, 22, 23, 24]. Estas curvas se elaboraron en la reunión de expertos del C. C. I. R., Cannes, 1961, encargada de preparar la Conferencia de Radiodifusión de ondas métricas y decimétricas, Estocolmo, 1961, y se han actualizado en el presente documento.

Se basa el presente Informe en las siguientes definiciones:

- 1.1 Los valores de intensidad de campo se han ajustado para que correspondan a una potencia de 1 kW radiada por un dipolo de media onda;
- 1.2 La altura de la antena transmisora es su altura sobre el nivel medio del suelo entre 3 y 15 km, a partir del transmisor, hacia el receptor;
- 1.3 La altura de la antena receptora es su altura sobre el terreno local.

* Adoptado por unanimidad.

** Las curvas de propagación para la radiodifusión en el continente africano figuran en las págs. 343-379 de las Actas finales de la Conferencia Africana de Radiodifusión de ondas métricas y decimétricas, Ginebra, 1963.

2. Distancias superiores a la del horizonte.

Los datos obtenidos en un largo período para distancias superiores a la del horizonte están clasificados en dos categorías que corresponden, respectivamente, a las ondas métricas y decimétricas, subdivididas en trayectos terrestres y marítimos. Las figs. 1, 2 y 3 contienen las curvas medias trazadas a base de tales datos.

La fig. 1 representa las curvas de propagación de ondas métricas a distancias muy grandes; se ha establecido con innumerables datos obtenidos en gran número de trayectos terrestres y marítimos, con antenas transmisoras y receptoras situadas a varias alturas. Los datos se han normalizado para una antena transmisora de 300 m de altura, dando por supuesto que la intensidad de campo es sólo función de la distancia entre los horizontes. En esta hipótesis la intensidad de campo a una distancia X km del transmisor, para una altura de antena h_1 , es la misma que la de la curva para una altura de antena transmisora de 300 m a una distancia $(X + 70 - 4,1 \sqrt{h_1})$ km. Este método puede aplicarse a distancias superiores a la del horizonte, y se ha aplicado a las curvas de la fig. 1, a 200 km y más, para obtener la familia de curvas de las figs. 1, 2, 3 y 4 de la Recomendación 370-1. Las partes de las curvas correspondientes a las distancias cortas, en la fig. 4 de dicha Recomendación, se han trazado de modo que coincidan con las curvas terrestres a unos 10 km de distancia.

La fig. 2 representa, para las bandas de ondas decimétricas, una familia de curvas análogas de propagación por trayectos terrestres. Estas curvas, que se refieren también a una altura de antena transmisora de 300 m, representan valores medios deducidos de gran cantidad de datos obtenidos en numerosos trayectos terrestres de gran número de regiones del mundo. De estas curvas se han deducido las relativas a valores diferentes de la altura de la antena transmisora suponiendo que la intensidad de campo sólo depende de la distancia entre los horizontes, según se ha expuesto en el párrafo precedente; estas curvas se representan en las figs. 9, 10 y 11 de la Recomendación 370-1.

Conviene señalar, sin embargo, las mediciones realizadas por la O. I. R. T. [28] durante un período de tres años en la transmisión por cinco trayectos de Europa central en una frecuencia de 1100 MHz. Una conclusión importante de este trabajo es que la variancia de la intensidad de campo para varios trayectos es considerablemente mayor que la indicada en la Recomendación 370-1 y en el Informe 244-2. Estos trayectos son de tal naturaleza que influyen mucho en ellos los efectos combinados de varios mecanismos de propagación. Por ejemplo, se observó que por trayectos de unos 200 km de longitud, la diferencia entre las intensidades de campo excedidas durante el 1 % y el 50 % del tiempo es del orden de 30 dB, comparada con la diferencia de 18 dB, aproximadamente, que se obtendría interpolando las curvas de la Recomendación 370-1, para una frecuencia mediana de unos 700 MHz (centro de las bandas IV y V).

La fig. 3 contiene curvas para trayectos marítimos en las que se dan las intensidades de campo excedidas durante el 1 %, 5 %, 10 % y 50 % del tiempo en las bandas IV y V (450 a 1000 MHz). Para distancias comprendidas entre 200 y 1000 km, las curvas de 50 % y 10 % están normalizadas para una altura de la antena transmisora de 300 m de acuerdo con el método descrito anteriormente. Los datos actualmente disponibles sobre largas distancias indican que para pequeños porcentajes de tiempo la intensidad de campo recibida es relativamente independiente de la altura de la antena transmisora. Por consiguiente, no se ha corregido la curva del 1 % para la altura de esa antena. La curva de 5 %, que es una interpolación entre las de 1 % y 10 %, contiene, pues, aproximadamente la mitad de la corrección debida a la ganancia de altura.

Las curvas para alturas de antena transmisora distintas de las de la Recomendación 370-1 se han determinado para estas distancias según el método descrito anteriormente. Las curvas se basan en medidas efectuadas en cierto número de trayectos del Mar del Norte durante un período de unos dieciocho meses, entre noviembre de 1958 y septiembre de 1964. Las medidas se realizaron en ubicaciones despejadas de la costa, directamente frente al mar. Se ha incorporado una corrección de unos — 7 dB con relación a los valores medidos, a fin de que puedan aplicarse al cálculo de la interferencia de canales comunes en las ciudades costeras, donde es de esperar que la intensidad de campo sea algo inferior a la de las ubicaciones libres de obstáculos.

Algunas mediciones de intensidad de campo efectuadas en la región mediterránea demuestran que los valores medianos tienden a ser más elevados que los observados en la región del Mar del Norte, mientras que las intensidades de campo excedidas durante pequeños porcentajes de tiempo son considerablemente superiores [45].

De algunas observaciones se desprende que, para pequeños porcentajes de tiempo, pero no insignificantes, pueden recibirse señales perceptibles procedentes de transmisores de gran potencia situados a distancias superiores a 4000 km en regiones tropicales. Por ejemplo, se midió una intensidad de campo de $0,15 \mu\text{V/m}$, potencia radiada aparente 1 kW y frecuencia de transmisión 417 MHz a una distancia de 4740 km (a través del océano Atlántico), durante aproximadamente el 2 % del año [29].

Las medidas de intensidad de campo hechas en Suecia durante periodos comprendidos entre tres meses y cuatro años, en tres trayectos de transmisión por ondas métricas y dos trayectos por ondas decimétricas en la región del Mar Báltico [39], han dado resultados que concuerdan con los valores especificados en la Recomendación 370-1 para la región del Mar del Norte. Sin embargo, se comprueba que la variación de la intensidad de campo es importante de un mes a otro; para el mes más desfavorable, la intensidad de campo medida durante el 1 % y el 10 % del mes excede los valores calculados en una cantidad comprendida entre 30 y 40 dB.

3. Distancias inferiores a la del horizonte.

Para distancias inferiores a la del horizonte normal, se han trazado las curvas de propagación comparando los resultados de numerosas pruebas efectuadas con equipos móviles en trayectos cortos y de una serie de mediciones realizadas en puntos fijos durante largos periodos, con las curvas teóricas de propagación por terreno regular, para los valores correspondientes de la frecuencia y la altura de las antenas. Se ha comprobado que la variación del campo con la frecuencia es relativamente poco importante, y se han clasificado los datos en dos categorías (ondas métricas y ondas decimétricas), como para las distancias superiores a la del horizonte.

La fig. 1 de la Recomendación 370-1 representa las intensidades de campo excedidas durante el 50 % del tiempo en ondas métricas. Las curvas relativas a distancias inferiores a la del horizonte normal se han obtenido por comparación con las curvas teóricas correspondientes a un terreno regular. Se han combinado después convenientemente con la familia de curvas correspondientes a distancias superiores a la del horizonte, descritas en la anterior sección. La fig. 1 contiene, pues, porciones de curvas referentes a distancias inferiores a la del horizonte y a las superiores a ella, así como curvas para distancias intermedias resultantes de la unión de las otras dos porciones de curvas.

Las curvas de las figs. 2 y 3 de la Recomendación 370-1, obtenidas por un procedimiento muy semejante al de la fig. 1, representan las intensidades de campo en ondas métricas excedidas respectivamente durante el 10 % y el 1 % del tiempo. Se admite que los desvanecimientos son despreciables a distancias pequeñas, de forma que las curvas medianas de la fig. 1 pueden servir de guía para tales distancias y combinarse con las curvas del 10 % y 1 % de las figs. 2 y 3.

Las intensidades de campo a corta distancia indicadas en la fig. 4 de la Recomendación 370-1, que muestra las curvas de intensidad de campo para ondas métricas por trayectos marítimos excedida durante el 1 % del tiempo, se construyeron dando por supuesto que las intensidades de campo durante el 1 %, para la propagación terrestre o marítima, apenas diferirían a 10 km de distancia del transmisor. Las curvas marítimas se han combinado armoniosamente con las curvas terrestres para esa distancia.

De manera similar se ha obtenido una serie de curvas de intensidad de campo en función de la distancia para ondas decimétricas. Estas curvas se presentan en las figs. 9, 10 y 11 de la Recomendación 370-1 para trayectos terrestres y en las figs. 13, 14, 15 y 16 para trayectos marítimos.

4. Influencia de las irregularidades del terreno.

La selección aleatoria de las ubicaciones de recepción de radiodifusión en las carreteras o cerca de ellas, así como en los valles, se traduce en valores medianos de pérdida

de transmisión mayores que los que se registran en ubicaciones seleccionadas cuidadosamente. Los accidentes del terreno aumentan en primer lugar la intensidad de campo mediana o prevista al suprimir la concordancia de fase perjudicial entre la propagación con visibilidad directa y las ondas reflejadas o difractadas por el suelo. Cuando las irregularidades y obstáculos del terreno son mayores, las señales se atenúan por el efecto de pantalla, la absorción (incluido el efecto de la vegetación) y la dispersión y divergencia o desenfoque de las ondas difractadas. La convergencia o enfoque y la reflexión especular intervienen también en estos fenómenos de trayectos múltiples, lo mismo que la refracción media, la turbulencia y la estratificación del índice de refracción en la atmósfera.

Dos fenómenos desempeñan un papel primordial en la formación de las ondas estacionarias complejas que determinan la ganancia en función de la altura de la antena a distancias fijas del transmisor. Cuando se produce reflexión o difracción en una superficie suficientemente uniforme y vasta, puede esperarse una ganancia lineal para valores pequeños de la altura, mientras que si la antena receptora se eleva por encima de las irregularidades y obstáculos del terreno puede esperarse una ganancia en función de la altura, por razones completamente distintas a las mencionadas en el párrafo precedente.

Los fenómenos de despolarización se examinan en el Informe 122-1 y a continuación se describen algunas mediciones recientes. También en este caso la elección de la ubicación reviste primordial importancia, ya sea para rechazar señales interferentes, por ejemplo, ya para aprovechar la despolarización con diversidad: la discriminación de polarización es mejor en terreno despejado y con altos niveles de señal que cuando las intensidades de campo son reducidas, como ocurre en las transmisiones de ondas decimétricas en zonas en que la antena receptora está rodeada de obstáculos.

La naturaleza de la ubicación de recepción ejerce también un efecto importante en los fenómenos de polarización de las ondas. Por ejemplo, las observaciones en ondas métricas llevadas a cabo en la República Federal de Alemania [46] han demostrado que, en zonas a la sombra, si bien las reflexiones no influyen prácticamente en las señales de polarización horizontal, su efecto en las de polarización vertical es a menudo lo bastante marcado como para causar una seria distorsión en la recepción de modulación de frecuencia.

Conviene ahora examinar algunos aspectos de los problemas que plantean los terrenos irregulares, la vegetación, etc., con referencia especial al uso de las curvas de propagación en ondas métricas y decimétricas.

4.1 *El parámetro Δh .*

La influencia de las irregularidades del terreno es tanto mayor cuanto más alta es la frecuencia. Esta influencia es, pues, más importante en ondas decimétricas (bandas IV y V) que en ondas métricas (bandas I, II y III). Para definir el grado de irregularidad del terreno se utiliza el parámetro Δh que representa la diferencia entre las alturas excedidas en el 10 % y el 90 % del terreno, en los trayectos de propagación entre 10 kilómetros y 50 km de distancia del transmisor (véase la fig. 7 de la Recomendación 370-1). Todas las curvas de propagación por trayectos terrestres se refieren a un tipo de terreno medianamente ondulado, como suele encontrarse en Europa y América del Norte, y que se caracteriza por un valor $\Delta h = 50$ m.

En una experiencia imaginaria en que se efectuasen durante un largo periodo de tiempo registros en gran número de puntos, la distribución en el tiempo de los valores medianos correspondientes a cada uno de esos puntos sería la indicada en la fig. 5 (de la Recomendación 370-1) para la propagación de las ondas métricas por un terreno ondulado típico de $\Delta h = 50$ m.

Se admite también que los cambios de la gama de variación de esta distribución en función de las ubicaciones —es decir, la pendiente de la curva de distribución— es, en primera aproximación, independiente del grado de irregularidades del terreno, en lo que a las ondas métricas respecta; en tales circunstancias, se puede considerar que la distribución representada en la fig. 5 de la Recomendación 370-1 es aplicable para la mayoría de los valores constantes de Δh .

La fig. 12 de la Recomendación 370-1 indica las distribuciones típicas de ubicación para ciertos números de valores de Δh en ondas decimétricas. De ningún modo pueden considerarse despreciables los cambios de la gama de variación.

Además del aumento de la gama de variación en función de la irregularidad del terreno, hay que señalar que las intensidades de campo medias recibidas son tanto menores cuanto más accidentado es el terreno, es decir, cuanto mayor es Δh . Además, este efecto aumenta con la frecuencia. Medidas recientemente efectuadas en la R. S. Checoslovaca y en el Reino Unido han confirmado que las correcciones indicadas en las figuras 8 a) y 8 b) de la Recomendación 370-1 son válidas para distancias de hasta 100 kilómetros en las bandas III, IV y V [2, 3].

En cuanto precede se entiende que el factor de corrección de la atenuación debe deducirse de la intensidad de campo para el valor requerido de Δh . Las figs. 8 a) y 8 b) de la Recomendación 370-1 dan los valores de este factor para distancias superiores a 200 km.

Para las distancias comprendidas entre 100 y 200 km, se encuentra el factor de corrección por interpolación lineal entre las dos curvas antes mencionadas.

Hasta ahora no se propone ningún factor de corrección de la atenuación para las bandas inferiores a la banda III.

Estudios recientes han demostrado que el parámetro Δh no basta por sí solo para definir con precisión el factor de corrección de la atenuación. Se ha comprobado, por ejemplo, que en un punto cualquiera de un trayecto de transmisión definido por $\Delta h \approx 50$ metros la estimación de la intensidad de campo mediana puede contener un error superior a 20 dB. No obstante, este error no excede en general de 10 dB y tiende a ser más pequeño en las bandas de ondas métricas que en las decimétricas.

Se ha tratado de mejorar la precisión introduciendo empíricamente nuevos factores de terreno. A continuación se enumeran los métodos que pueden aplicarse en los casos en que se necesitan estimaciones más precisas que la que puede lograrse con el solo parámetro Δh .

- 4.1.1 Método elaborado en la República Federal de Alemania [4], en el que la determinación del parámetro depende, en gran medida, no sólo del valor cuadrático medio de Δh , sino también de la pendiente media del terreno.
- 4.1.2 Método elaborado en la República Popular de Polonia [5], según una variante del método TASO [6]; en este método, el valor del parámetro depende de Δh y de la longitud de onda media de las ondulaciones del terreno.
- 4.1.3 Método elaborado en el Reino Unido [3], en el que se utilizan parámetros que dependen de Δh y de la pendiente media del terreno. En Japón se ha desarrollado también un método semejante para la predicción de la intensidad de campo [41].
- 4.1.4 Un método empleado en el Japón [40] hace intervenir un parámetro Γ que traduce los efectos producidos por un terreno circundante lleno de obstáculos en las cercanías del punto receptor. Esto viene a agregarse a las correcciones que hay que hacer para tener en cuenta accidentes de terreno, y a las correcciones de los efectos de superficie.
- 4.1.5 Los diversos métodos de predicción antes descritos se fundan todos en las modificaciones de la intensidad de campo calculada para una propagación sobre una tierra esférica regular, o en la existencia de obstáculos difractores perfectamente definidos a lo largo del trayecto de transmisión. Sin embargo, en un nuevo método recientemente elaborado en Japón [41] se considera la intensidad de campo en el espacio libre como norma inicial de referencia para la propagación por encima de cualquier clase de terreno.

4.2 *Influencia de la modificación de la altura de la antena receptora.*

4.2.1 *Valores medianos de la ganancia en función de la altura.*

Los trabajos hechos por diversas administraciones [7, 8, 9, 27] muestran los valores de ganancia que cabe esperar cuando la altura de la antena de recepción

pasa de 3 m a 10 m sobre el nivel del suelo. Los resultados obtenidos pueden resumirse como sigue:

Bandas I y II: Los valores medianos de la ganancia de altura son de 9 a 10 dB en terrenos ondulados o llanos, tanto en las zonas rurales como en las urbanas.

Banda III: Los valores medianos de la ganancia de altura son de 7 dB en terrenos llanos y de 4 a 6 dB en las zonas urbanas u onduladas.

Bandas IV y V: En estas bandas, los valores medianos de la ganancia de altura dependen mucho de la irregularidad del terreno. La fig. 4 muestra el grado en que esos valores medianos dependen de Δh . La mediana es de 6 a 7 dB en las zonas suburbanas y de 4 a 5 dB en las regiones donde abundan edificios elevados.

Los valores precedentes se aplican a distancias del transmisor inferiores o iguales a 50 km. Para distancias superiores a 100 km, los valores indicados deben reducirse un 50 %. (Conviene proceder a una interpolación lineal para distancias intermedias.)

Mediciones hechas en el Japón [40] dan valores de la ganancia de altura de las antenas receptoras, en función de un parámetro Γ que tiene en cuenta un terreno circundante lleno de obstáculos.

En una ubicación dada de una zona, el valor real de la ganancia de altura puede diferir varios decibelios del valor mediano.

4.2.2 *Relación entre la intensidad de campo mediana en las zonas urbanas y en las zonas suburbanas.*

Los datos actualmente disponibles muestran que, si las antenas de recepción están suficientemente elevadas con relación a los tejados circundantes, la intensidad de campo recibida será prácticamente la indicada en las curvas de la Recomendación 370-1.

La experiencia muestra que en las bandas I y II no existe gran diferencia entre las intensidades de campo medidas a una altura de 10 m en las zonas rurales y en las zonas urbanas. En la banda III [10, 11, 12] las intensidades de campo observadas en las zonas suburbanas a una altura de 10 m son aproximadamente equivalentes a las que se obtienen en las zonas rurales [10, 12]. Los trabajos realizados en la República Popular de Polonia han demostrado que los valores de atenuación máxima en el centro de una zona urbana son los siguientes: en una zona urbana de 400.000 habitantes [10, 11], 16 dB a 10 m y 6 dB a 16 m (nivel medio de los tejados); en una zona urbana de 80.000 habitantes [12], 12 dB a 10 metros. En las zonas en que abundan las construcciones, las intensidades de campo recibidas pueden ser 6 a 16 dB inferiores, según la naturaleza de los edificios. En lo que respecta a las ondas decimétricas, los trabajos recientemente efectuados en el Reino Unido [13] han revelado una pérdida mediana de 9 dB en las zonas urbanas del sudeste de Inglaterra. Experimentos hechos en Italia [30], en ondas métricas y decimétricas en zonas muy edificadas, han mostrado que el factor de pérdida adicional depende principalmente de la densidad y altura de los edificios, del ángulo de llegada de las ondas en el extremo receptor y de la orientación de la calle con relación a la dirección del transmisor desde la ubicación receptora.

Conviene obtener muestras estadísticas más amplias sobre cada tipo de situación urbana.

4.2.3 *Interpolación de las curvas de intensidad de campo para el servicio móvil terrestre.*

Las curvas de intensidad de campo de la Recomendación 370-1 pueden aplicarse directamente al servicio de radiodifusión cuando las antenas receptoras se hallan a una altura de 10 m sobre el nivel del suelo. En el caso del servicio móvil terrestre, en el que las antenas de recepción están generalmente a una altura aproximada de 3 m sobre el nivel del suelo, el valor mediano de la intensidad de campo recibida es más reducido.

En las zonas rurales, la interpolación es muy sencilla. Conviene sustraer de la intensidad de campo prevista en las curvas el valor de la ganancia de altura dado en el § 4.2.1. En las zonas urbanas la interpolación es más difícil: los valores de la ganancia de altura dados en el § 4.2.1 deben sustraerse de las intensidades de campo previstas en las curvas, y debe procederse seguidamente a la corrección correspondiente al factor de densidad de construcción, por los motivos expuestos en el § 4.2.2. Los factores combinados de corrección que hay que sustraer de la intensidad de campo indicada en las curvas de la Recomendación 370-1 se indican en el cuadro I siguiente:

CUADRO I

	Bandas I, II	Banda III	Bandas IV, V
Zona rural (dB)	9	7	Valor dado en la fig. 4 para $d < 50$ km
Zona urbana (dB)	9	11	14

Estos valores se aplican a distancias del transmisor inferiores o iguales a 50 km. Para distancias superiores a 100 km, hay que reducirlos un 50 %. Para las distancias intermedias, conviene proceder a una interpolación lineal.

Las mediciones efectuadas en el Japón han mostrado que la ganancia de altura de 1,5 a 3 m para la banda de ondas decimétricas en las zonas urbanas, es de 3 dB [41]. Este valor puede utilizarse para evaluar la intensidad mediana de campo en las bandas IV y V aplicando el factor de correlación indicado en el cuadro I y estando las antenas receptoras a una altura de 1,5 m en las zonas urbanas [41].

Las mediciones de intensidad de campo efectuadas en zonas rurales en la República Popular de Polonia [47] en frecuencias comprendidas entre 34 y 306 MHz concuerdan adecuadamente con los valores de la Recomendación 370-1 modificados en caso necesario para tener en cuenta los efectos del terreno, como se indica en el presente Informe. Las mediciones hechas en la misma gama de frecuencias en zonas urbanas demuestran que la dispersión de la intensidad de campo parece ser prácticamente independiente de la frecuencia [48].

4.2.4 Antenas de tejado y antenas interiores.

En un estudio reciente [14], se ha comparado la señal recibida por las antenas instaladas en los tejados y en el interior de los edificios de la ciudad de Nueva York, tanto desde el punto de vista de la intensidad de campo como de la apreciación subjetiva de la calidad de la imagen de televisión. Las distribuciones de la pérdida de transmisión de un punto a otro eran log-normales, con desviaciones tipo de 16 y 14 dB, respectivamente, para las mediciones en los tejados y para las hechas en el interior de los edificios. En estas distribuciones, los valores medianos variaban de 16 a 35 dB según la frecuencia, el tipo de edificio y el tipo de trayecto. En 570 MHz, esta diferencia era 7 dB superior a la correspondiente a 55 MHz, siendo 10 dB más elevada en los edificios de hormigón armado que en los de madera y 5 dB más alta en la isla de Manhattan que fuera de ella.

Las mediciones hechas en el Reino Unido, en ondas decimétricas (600 MHz), en la planta baja y en el desván de casas suburbanas de dos pisos, han revelado una atenuación media de 19 y 10 dB, respectivamente, comparadas con mediciones efectuadas a 10 m de altura en la calle, fuera de esas casas [42].

4.3 Fenómenos de despolarización.

El factor de despolarización se define por la relación entre la amplitud del componente de polarización ortogonal, producida por cierto mecanismo de propagación, y la amplitud

de la onda plana inicial polarizada. Para los sistemas de telecomunicación, a veces resulta más cómodo considerar la discriminación de polarización que se obtiene con una antena que funcione en un medio dado. En general, estos factores se expresan en decibelios y, en la práctica, son de igual valor pero con signos opuestos a condición de que el factor de polarización no sea demasiado pequeño.

4.3.1 Servicios de radiodifusión.

Si el transmisor se encuentra en terreno libre de obstáculos la discriminación de polarización que se obtiene al nivel de las azoteas en una zona urbana, gracias a la polarización ortogonal, puede tener un valor mediano de 18 dB; los valores correspondientes excedidos en el 90 % y en el 10 % de los puntos de recepción son, respectivamente, 9 y 29 dB (véase el Informe 122-1). La discriminación es mejor en terreno abierto y no tan buena en puntos de recepción rodeados de obstáculos o cuando las condiciones de recepción son mediocres.

Mediciones realizadas en la República Federal de Alemania, en 520 y 700 MHz [16], han mostrado que la despolarización de las ondas polarizadas verticalmente es de 1 a 2 dB mayor que la de las ondas polarizadas horizontalmente. Además, estudios efectuados en el Reino Unido en la frecuencia 570 MHz [15] han revelado que, con una antena polarizada verticalmente y orientada a 180° de una onda polarizada horizontalmente, la discriminación es 6 dB superior a la eficacia direccional de la antena (16 dB).

La Administración de la R. S. Checoslovaca [25, 27] y otras administraciones han estudiado la influencia que ejerce la naturaleza del terreno en las proximidades del punto de recepción. Las mediciones hechas en 570 MHz en la zona de servicio han mostrado que la despolarización aumenta con la irregularidad del terreno en los puntos de recepción de la misma forma que la atenuación por difracción. En el cuadro II se resumen los resultados.

CUADRO II

Tipo de terreno	Valor mediano de la atenuación con relación al espacio libre (dB)	Discriminación de polarización excedida en el 90 % de las ubicaciones (dB)
Zona suburbana, con visibilidad directa del transmisor	7	18
Zona suburbana, zona de ligera difracción	26	13
Zona suburbana, zona de difracción moderada	31	10
Zona suburbana, zona de fuerte difracción	40	4
Zona muy boscosa (árboles frondosos, terreno sin obstáculos)	27	2

De la última línea de este cuadro II se desprende que, en una zona boscosa, la despolarización es mucho más importante que en otras zonas con la misma atenuación de propagación.

Mediciones efectuadas cerca de Heidelberg (República Federal de Alemania), en 520 y 700 MHz, han permitido comprobar que la influencia de la frecuencia y de la densidad de las construcciones es despreciable. El cuadro III muestra la influencia de las variaciones del parámetro Δh .

CUADRO III

Tipo de terreno	Δh (m)	Discriminación de polarización excedida en el 90 % de las ubicaciones (dB)	Discriminación de polarización excedida en el 50 % de las ubicaciones (dB)
Llano	10	20	30
Ondulado	50	14	27
Montañoso	200	0	16

4.3.2 Servicios móviles.

En Suecia se ha medido la despolarización con las dos antenas situadas a poca altura (< 10 m) y se ha comprobado que el factor de despolarización aumenta al mismo tiempo que la frecuencia, pasando de unos -18 dB en 35 MHz a unos -7 dB en 950 MHz [43].

El factor de despolarización obedece a una distribución log-normal, con una desviación estándar que hasta cierto punto depende de la frecuencia. En la gama de frecuencias 30-1000 MHz, el valor medio de la diferencia entre los valores 10 % y 90 % es de unos 15 dB. Sólo se ha observado una ligera diferencia entre el caso de polarización inicial vertical y el de polarización inicial horizontal.

Se ha comprobado que la despolarización varía en función del tiempo de dos modos distintos. Puede producirse una variación lenta, provocada por una modificación de las características eléctricas del suelo, en relación con las condiciones meteorológicas. Este efecto es tanto más marcado cuanto más baja es la frecuencia. El otro modo de variación de la despolarización en el tiempo se debe al movimiento de los árboles, que da lugar a un fenómeno de desvanecimiento por despolarización cuya amplitud alcanza varios decibelios, incluso cuando la velocidad del viento es muy moderada.

4.4 Atenuación debida a la vegetación y a los edificios.

En un documento [32] se demuestra que la atenuación producida por la vegetación y los edificios varía con la frecuencia. En él se han recopilado todos los datos publicados referentes a toda una gama de condiciones de vegetación [33, 34, 35, 36, 37, 38]. Los resultados pueden verse en la fig. 5.

Estudios más recientes hechos en el Japón [40] han permitido obtener valores de la atenuación detrás de edificios en función de la frecuencia, de la altura y profundidad de esos edificios, y del ángulo de llegada. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en mediciones en 100, 200 y 700 MHz.

Mediciones hechas en el Reino Unido [42], han dado valores de la atenuación detrás de diversos tipos de edificios, en ondas decimétricas (600 MHz); estos valores pueden ser hasta de 30 dB. De otras mediciones [42] realizadas en verano y en invierno detrás de bosques de árboles de hoja caduca, se infiere que, si bien la atenuación debida a la frondosidad no es despreciable en ondas decimétricas, es mucho menos importante que la que causan los árboles desnudos.

Se han registrado medidas comparativas realizadas para ondas polarizadas horizontal y verticalmente y, aunque la diferencia no es siempre notable, parece existir una tendencia a que la atenuación sea ligeramente mayor con una polarización vertical.

Mediciones hechas en la República Federal de Alemania [31] han mostrado que, en 190 MHz, y en trayectos de visibilidad directa, la intensidad de campo con polarización vertical es 3 dB inferior a la que se obtiene con polarización horizontal; esta diferencia es de 4,5 en ubicaciones a la sombra. Otras mediciones [46] realizadas en regiones a la sombra en la frecuencia de 97 MHz han demostrado que esta diferencia es de 5 dB con una desviación de $\pm 5,2$ dB. En 500 MHz, las diferencias de propagación entre las polarizaciones son menos marcadas, pues los valores correspondientes son 0 dB y 1,5 dB. Se ha

comprobado que la calidad subjetiva de las imágenes de televisión guarda estrecha correlación con los resultados de estas mediciones.

5. Trayectos mixtos tierra-mar.

Aunque hay pocas pruebas de que existan diferencias importantes entre la propagación terrestre y la marítima en las bandas I, II y III, excepto durante pequeños porcentajes de tiempo, sí existen importantes diferencias en las bandas IV y V.

Cuando el trayecto de transmisión es mixto, tierra-mar, debe evaluarse el efecto de ese trayecto mixto en la señal recibida.

Desde la X Asamblea Plenaria del C. C. I. R., Ginebra, 1963, se ha elaborado en el Reino Unido un método mejorado del cálculo de la intensidad de campo sobre un trayecto mixto; apoyado en mediciones, este método no está sujeto a las restricciones que limitaban la aplicación del método anterior. El nuevo método [17] lo ilustran las curvas de la fig. 3, que indican la intensidad de campo de las ondas decimétricas en trayectos marítimos A y terrestres B para el 1 % y una altura de la antena transmisora de 300 m.

Dése por supuesto que el trayecto de transmisión se compone de una sección marítima de 200 km, seguida de otra terrestre de 100 km. Para el cálculo, se ha supuesto que el trayecto se recorre en los dos sentidos, y se ha tomado la media geométrica de los dos resultados como intensidad de campo requerida.

La curva A de la fig. 6 indica que el campo creado a 200 km es de 59,5 dB con relación a 1 $\mu\text{V/m}$. La distancia a la que se alcanza esta intensidad de campo en la curva B es de 31 km. Esta última distancia es la distancia equivalente, en curva terrestre, a 200 km de la curva marítima para una intensidad de campo de 59,5 dB por encima de 1 $\mu\text{V/m}$. Puede, pues, suponerse que la onda que ha recorrido 200 km de un trayecto marítimo se encuentra en las mismas condiciones que si hubiera recorrido la distancia terrestre equivalente de 31 km. Seguirá, pues, sufriendo una atenuación según la curva B, a lo largo de los últimos 100 km del trayecto. En consecuencia, la distancia equivalente del conjunto del trayecto es de 131 km, y la intensidad de campo a esa distancia en la curva terrestre es de 28,8 dB con relación a 1 $\mu\text{V/m}$.

Efectúese ahora el mismo proceso en sentido inverso. Después de 100 km de trayecto terrestre, la curva B indica una intensidad de campo de 35 dB con relación a 1 $\mu\text{V/m}$. La distancia equivalente en la curva A es de 403 km. La distancia equivalente del conjunto del trayecto en la curva marítima es, pues, de 603 km, y la intensidad de campo a esa distancia en la curva A es de 21 dB con relación a 1 $\mu\text{V/m}$. El promedio de los dos resultados es, por consiguiente:

$$E = 1/2 (28,8 + 21) \approx 25 \text{ (dB con relación a } 1 \mu\text{V/m)},$$

que es la intensidad de campo requerida.

Para trayectos compuestos de más de dos secciones, basta con ampliar el método que acaba de describirse.

Actualmente, las proposiciones que preceden son las más satisfactorias para calcular el campo en un trayecto mixto tierra-mar. No obstante, estudios más recientes hechos en el Reino Unido [44] muestran que, si bien hay buena concordancia cuando el trayecto terrestre es corto con relación al marítimo, resulta mediocre para la mayoría de los trayectos terrestres; los valores medios son netamente inferiores a los calculados.

Es posible que esta diferencia se deba a que las propiedades temporales de la propagación anormal no sean las mismas en los trayectos terrestres que en los trayectos marítimos. Es necesario realizar con urgencia nuevos estudios para comprobar la exactitud de esta explicación antes de poder someter al C. C. I. R. nuevas proposiciones sobre los cálculos que hay que efectuar para los trayectos mixtos tierra-mar.

BIBLIOGRAFÍA

1. RICE, P. L.; LONGLEY, A. G.; NORTON, K. A., y BARSIS, A. P.: Transmission loss predictions for tropospheric communication circuits. NBS Technical Note 101 (7 de mayo de 1965).
2. C. C. I. R.: Doc. V/38 (O. I. R. T.), 1963-1966.
3. U. E. R.: Monografías C (1965).
4. C. C. I. R.: Doc. V/24 (República Federal de Alemania), 1963-1966.
5. C. C. I. R.: Doc. V/28 (República Popular de Polonia), 1963-1966.
6. LAGRONE, A. H.: Forecasting television service fields. *Proc. IRE*, 48, 6 (junio de 1960).
7. C. C. I. R.: Doc. V/4 (Estados Unidos), 1963-1966.
8. UHLEN, N.: *Tele I*, 1962. Fältstyrkemätningar och räckviddsbestämning för radioanläggningar (Mediciones de intensidad de campo y cálculos de cobertura de las estaciones radioeléctricas) (en sueco).
9. C. C. I. R.: Doc. V/39 (O. I. R. T.), 1963-1966.
10. C. C. I. R.: Doc. V/34 (República Popular de Polonia), 1963-1966.
11. C. C. I. R.: Doc. V/35 (República Popular de Polonia), 1963-1966.
12. C. C. I. R.: Doc. V/51 (República Popular de Polonia), 1960-1963.
13. C. C. I. R.: Doc. V/9 (Reino Unido), 1963-1966.
14. C. C. I. R.: Doc. V/2 (Estados Unidos), 1963-1966.
15. C. C. I. R.: Doc. V/19 (Reino Unido), 1963-1966.
16. C. C. I. R.: Doc. V/43 (República Federal de Alemania), 1963-1966.
17. C. C. I. R.: Doc. V/20 (Reino Unido), 1963-1966.
18. KÜHN, U.: Ausbreitungsuntersuchungen über unterschiedlichem Gelände in den Frequenzbändern I, II und III. (Estudio de la propagación de las ondas en un terreno irregular en las bandas de frecuencias I, II y III). *Technische Mitteilungen B. R. F. (R. D. A.)* (febrero y mayo de 1958).
19. FINE, H.: UHF Propagation within line-of-sight, FCC Report T. R. R., 2.4.12.
20. SAXTON, J. A.: Basic ground-wave propagation characteristics in the frequency band 50-800 MHz. *Proc. I. E. E.*, 101, Parte III, 211 (1954).
21. SAXTON, J. A., y HARDEN, B. N.: Ground-wave field-strength survey at 100 and 600 MHz. *Proc. I. E. E.*, 101, Parte III, 215 (1954).
22. KIRKE, H. L., y otros: A VHF field-strength survey on 90 MHz. *Proc. I. E. E.*, 98, Parte III, 343 (1951).
23. Report of Television Allocations Study Organization to the Federal Communications Commission, 1959.
24. C. C. I. R.: Doc. V/34 (Reino Unido), 1960-1963.
25. C. C. I. R.: Doc. V/207 y V/208 (O. I. R. T.), 1963-1966.
26. KRÁLÍK, F.; KÜHN, U., y VOCADLO, V.: Ausbreitungsmessungen bei 480 MHz und 780 MHz im Gebirge der Niederen Tatra (C. S. S. R.). (Medidas de propagación en 480 y 780 MHz en las montañas Bajas-Tatras (R. S. Checoslovaca)). *Techn. Mitteilungen des BRF.* 5, 4, 174 (diciembre de 1961) y *Techn. Mitteilungen des RFZ.* 6, 1, 18 (marzo de 1962).
27. KRÁLÍK, F.; KÜHN, U., y VOCADLO, V.: Ausbreitung von Dezimeterwellen bei horizontaler und vertikaler Polarisation und Höhenabhängigkeit der Feldstärke im Gebirge. (Propagación de las ondas decimétricas con polarización horizontal y vertical, y variación de la intensidad de campo en función de la altura en terreno montañoso). *Techn. Mitteilungen, RFZ.* Vol. 6, 4, 162-166 (1962).
28. C. C. I. R.: Doc. V/117 (O. I. R. T.), 1963-1966.
29. MISME, P.: Propagation trans-horizon à très grandes distances au-dessus de l'Atlantique inter-tropical *Annales des Télécommunications* (1966).
30. C. C. I. R.: Doc. V/99 (Italia), 1963-1966.
31. C. C. I. R.: Doc. V/121 (República Federal de Alemania), 1963-1966.
32. C. C. I. R.: Doc. V/89 (Reino Unido), 1963-1966.
33. SAXTON, J. A., y LANE, J. A.: VHF and UHF reception. *Wireless World*, 61, 229 (1953).
34. LAGRONE, A. H.: Height-gain measurements at VHF and UHF behind a grove of trees. *IEEE Trans.*, BC-9, 37 (1963).
35. LAGRONE, A. H., y CHAPMAN, C. W.: Some propagation characteristics of high UHF signals in the immediate vicinity of trees. *IRE. Trans.*, AP-9, 487 (1961).
36. HERBSTREIT, J. W., y CRICLOW, W. Q.: Measurement of the attenuation of radio signals by jungles. *Radio Science*, 68D, 903 (1964).

37. JOSEPHSON, B., y BLONQUIST, A.: The influence of moisture in the ground, temperature and terrain on ground-wave propagation in the VHF band. *IRE Trans.*, **AP-6**, 169 (1958).
38. HEAD, H. T.: The influence of trees on television field strengths at UHF. *Proc. IRE.*, **48**, 1016 (1960).
39. C. C. I. R.: Doc. V/30 (Suecia), 1966-1969.
40. KINASE, A.: Influence of terrain irregularities and environmental clutter surroundings on the propagation of broadcasting waves in the UHF and VHF bands. *N. H. K. Technical Monograph*, **14**, Japón (marzo de 1969).
41. OKUMARA, Y., y otros: Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio service. *Review of Electrical Communication Laboratory*, Vol. 16, **9-10** (septiembre-octubre de 1968).
42. SOFAER, E., y BELL, C. B.: Factors affecting the propagation and reception of broadcasting signals in the UHF bands. *Proc. I. E. E.*, Vol 113, **7** (julio de 1966).
43. C. C. I. R.: Doc. V/31 (Suecia), 1966-1969.
44. C. C. I. R.: Doc. V/14 y V/16 (Reino Unido), 1966-1969.
45. C. C. I. R.: Doc. V/134 (Francia), 1966-1969.
46. C. C. I. R.: Doc. V/103 (República Federal de Alemania), 1966-1969.
47. C. C. I. R.: Doc. V/137 (República Popular de Polonia), 1966-1969.
48. C. C. I. R.: Doc. V/136 (República Popular de Polonia), 1966-1969.

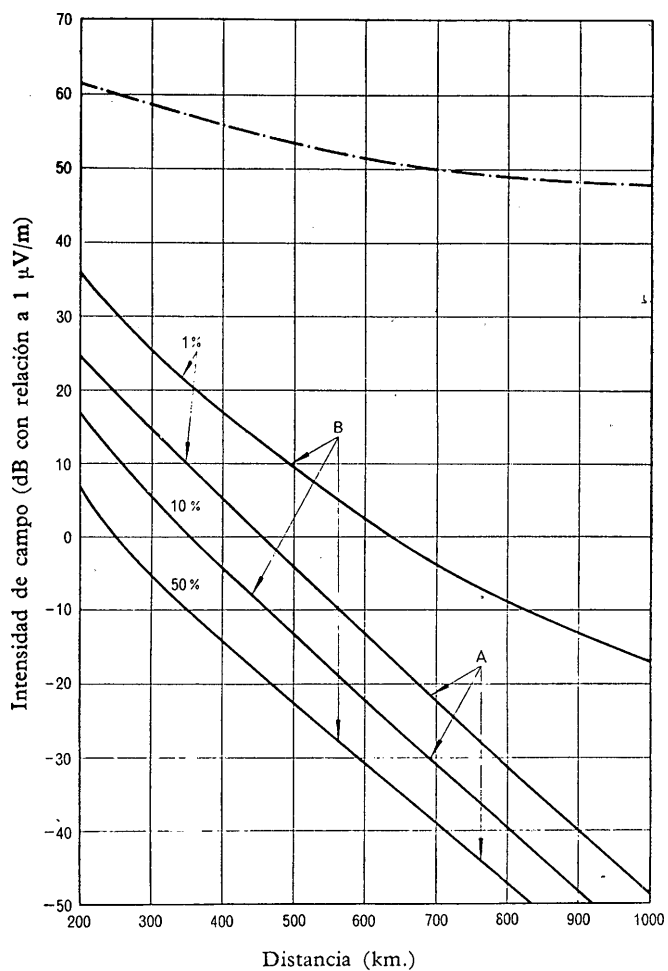


FIGURA 1

Intensidad de campo (dB con relación a $1 \mu V/m$) para $1 kW$ de p. r. a. Frecuencia, 30-250 MHz (bandas I, II, III); 50 % de las ubicaciones; $h_1 = 300$ m; $h_2 = 10$ m. El porcentaje del tiempo está indicado en cada curva

Curva A: Tierra

Curva B: Mar del Norte

----- Espacio libre

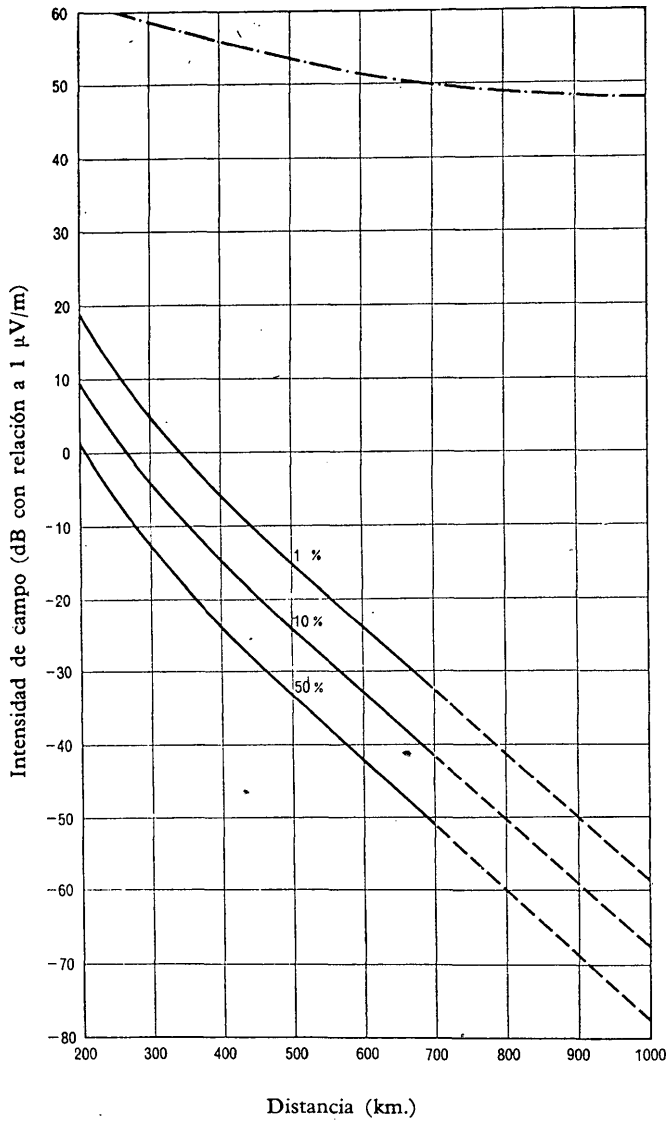


FIGURA 2

Intensidad de campo (dB con relación a $1 \mu V/m$) para 1 kW de p. r. a. Frecuencia, 450-1000 MHz (bandas IV y V); 50 % de las ubicaciones; $h_1 = 300$ m; $h_2 = 10$ m. Tierra: el porcentaje del tiempo está indicado en cada curva

— — — — — Espacio libre

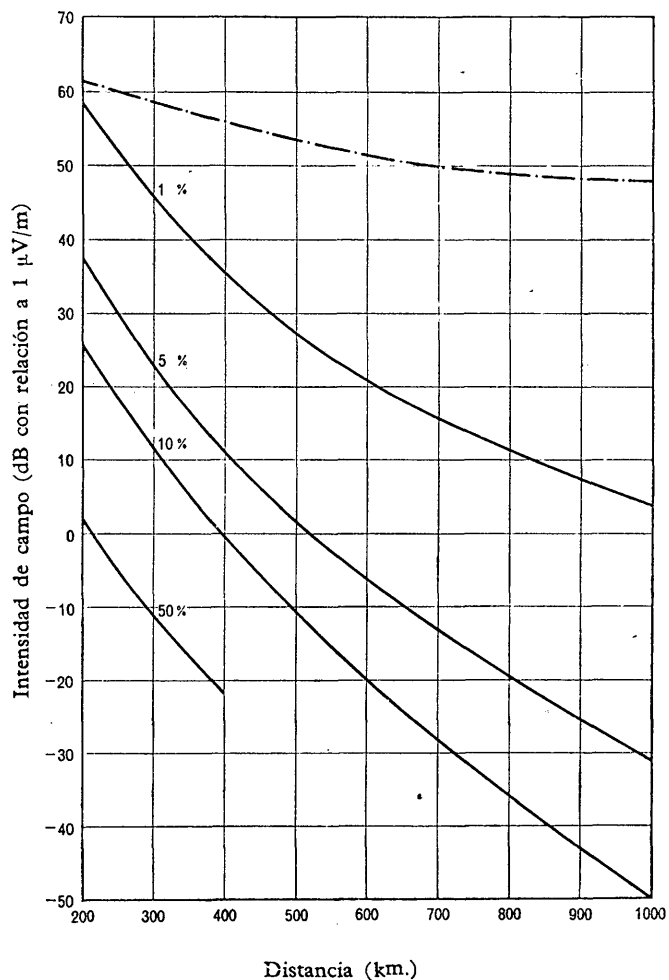


FIGURA 3

Intensidad de campo (dB con relación a 1 $\mu\text{V/m}$) para una p. r. a. de 1 kW. Frecuencia, 450-1000 MHz (bandas IV y V). Para los porcentajes de tiempo indicados en las curvas: 50 % de las ubicaciones receptoras: $h_1 = 300$ m; $h_2 = 10$ m. Mar

————— Espacio libre

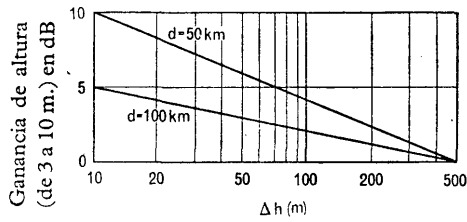


FIGURA 4

Factor de ganancia de altura (de 3 a 10 m) en función de Δh en las frecuencias 450 a 1000 MHz (bandas IV y V); d es la distancia al transmisor

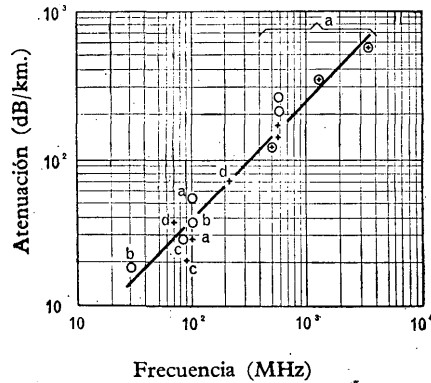


FIGURA 5

Atenuación por los bosques y la maleza en función de la frecuencia

- | | |
|--------------------------------|------|
| (a) Arboles frondosos | [33] |
| (b) Arboledas con maleza densa | [37] |
| (c) Selva tropical | [36] |
| (d) Arboles frondosos | [34] |
| o Polarización vertical | |
| ♦ Polarización horizontal | |

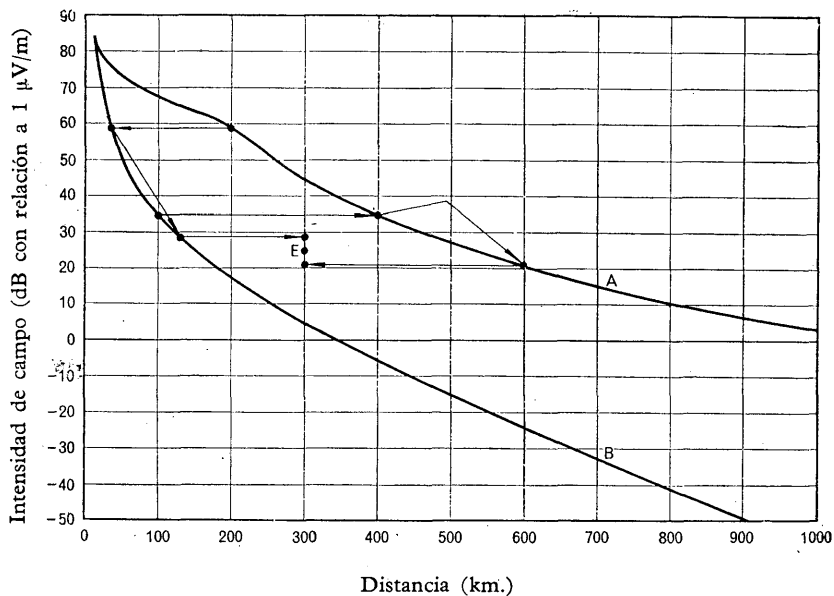


FIGURA 6

Método para evaluar la intensidad de campo en un trayecto mixto terrestre y marítimo

Curva A: Intensidad de campo en función de la distancia (1 % del tiempo) en un trayecto exclusivamente marítimo; $h = 300$ m.

Curva B: Intensidad de campo en función de la distancia (1 % del tiempo) en un trayecto exclusivamente terrestre; $h = 300$ m.

E = Intensidad de campo estimada en el trayecto de dos secciones examinado en el primer ejemplo del texto. Las flechas representan las distintas etapas del método de estimación.

INFORME 241-1 *

**DATOS DE PROPAGACIÓN REQUERIDOS PARA LOS SISTEMAS
DE RELEVADORES RADIOELÉCTRICOS****Compilación de datos**

(Programas de estudios 5-1A-1/5 y 5-1B-1/5)

(1959 - 1963 - 1966)

En respuesta a la Circular administrativa AC/63, se ha obtenido ya gran cantidad de datos sobre los Programas de estudios 5-1A-1/5 y 5-1B-1/5. Estos resultados de las pruebas realizadas por varias administraciones en trayectos de longitudes muy distintas y en regiones de clima completamente diferente, se consideran de gran valor para el establecimiento de sistemas de relevadores radioeléctricos. Puede obtenerse copia de todos estos datos en la Secretaría del C. C. I. R. Los resultados se han dividido en dos secciones, dentro del mismo volumen: una que contiene los datos relativos a trayectos en que la distancia angular es negativa (visibilidad directa) y otra que contiene los datos concernientes a trayectos de distancia angular positiva (trayectos transhorizonte). El volumen se titula: «Datos de propagación requeridos para los sistemas de relevadores radioeléctricos (Programas de estudios 5A/V y 5B/V)», publicados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, Ginebra, 1965.

Es importante seguir obteniendo más datos (particularmente de regiones distintas de la zona templada), por lo que se encarece a las administraciones realicen las medidas pertinentes.

Adviértase que los datos obtenidos sólo pueden utilizarse a condición de que, por lo menos, se suministren los siguientes parámetros: longitud del trayecto, frecuencia, altura y ganancia de las antenas, ángulos de elevación en cada extremo por encima de una tierra de radio equivalente igual a $4/3$ del radio verdadero (para los trayectos transhorizonte) y constante de tiempo del aparato de registro.

INFORME 244-2 **

**EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE TRANSMISIÓN
DE LA ONDA TROPOSFÉRICA**

(1963 - 1966 - 1970)

1. Introducción.

En los Programas de estudios 5-1A-1/5, 5-1B-1/5 y 5-1D-1/5 se especifican las necesidades de datos en materia de propagación radioeléctrica y se solicita que se haga un análisis de los mismos para la banda de frecuencias comprendidas entre 40 MHz y 20 GHz, como mínimo, con miras a la planificación de sistemas de relevadores radioeléctricos y para determinar si es posible efectuar la compartición de frecuencias entre los sistemas, incluidos los sistemas de telecomunicación espaciales y terrenales. Tales datos se están obteniendo en respuesta a la petición hecha por el Director del C. C. I. R. en la Circular administrativa AC/63. Varias administraciones han sugerido métodos para calcular la pérdida de transmisión en trayectos de propagación de longitud superior e inferior a la distancia del horizonte, para una amplia gama de frecuencias y para diferentes climas [1], [2].

* Adoptado por unanimidad.

** Adoptado por unanimidad.

De conformidad con la Resolución 2-1 se ha creado un Grupo interino de trabajo con la misión de continuar recopilando y analizando datos. En el presente Informe preliminar se resume la información facilitada por diversas administraciones, para la gama de frecuencias 40 MHz a 10 GHz, y se indican procedimientos provisionales para calcular la pérdida de transmisión de la onda troposférica y para el estudio de las variaciones de esta pérdida en ciertas zonas climáticas.

Algunas administraciones están de acuerdo en que el procedimiento descrito en el § 2 es útil para las predicciones de la pérdida de transmisión de la onda troposférica. En [1] se explica de forma completa y detallada un método de cálculo en el que se basa este procedimiento. En el § 3 se hace la descripción de otro método. Todavía no se ha llegado a un acuerdo unánime en cuanto al mejor método que puede utilizarse en cualquier circunstancia, y es evidente que hay que proseguir los trabajos para el que Grupo interino de trabajo pueda preparar un informe más completo.

Es conveniente que las administraciones interesadas en este problema comparen sus propios datos experimentales con los obtenidos con los métodos de predicción que se mencionan en el presente Informe, así como con otros métodos posibles, y que envíen sus conclusiones al Grupo interino de trabajo por conducto del Director del C. C. I. R.

Con ninguno de los métodos existentes es posible facilitar predicciones precisas en cualquier circunstancia y, en determinados trayectos entre puntos fijos, se pueden producir errores que llegan excepcionalmente a alcanzar un valor de varias decenas de decibelios cuando se calcula la pérdida de transmisión no excedida en el 0,1 y en el 0,01 % del tiempo (intensidad de campo muy elevada). Conviene señalar, sin embargo, que para obtener predicciones empíricas mucho mejores habrá que realizar mediciones durante un período de tiempo muy largo.

2. Cálculo de la pérdida de transmisión.

2.1 Propagación en el espacio libre.

En la Recomendación 341-1 y en el Informe 112 figura la siguiente relación entre la potencia disponible P en la antena de recepción, la potencia total radiada P_r , la pérdida de transmisión L , la pérdida de transmisión de referencia L_b y la ganancia de antena para un trayecto G_p .

$$P = P_r - L \quad (1a)$$

$$L_b = L + G_p \quad (1b)$$

La atenuación con relación al espacio libre A se define por

$$A = L_b - L_{bf} \text{ (dB)} \quad (2)$$

$$L_{bf} = 32,45 + 20 \log f_{\text{MHz}} + 20 \log r_{\text{km}} \quad (3)$$

Nota.—Puede ser práctico representar esta ecuación en forma de nomograma (véase la fig. 15), siendo L_{bf} la pérdida de transmisión de referencia en el espacio libre, y r la distancia en línea recta entre la antena. En el presente Informe, las distancias se indican en kilómetros y los ángulos en radianes.

Cuando se trata de enlaces entre estaciones terrenas y vehículos espaciales, es importante conocer el valor de la atenuación con relación al espacio libre $A(q)$ entre la estación terrena y la espacial, en función de la duración de servicio satisfactorio q de la distancia r_0 , de la frecuencia f y del ángulo de elevación θ_0 , teniendo en cuenta la atenuación debida a la precipitación y a los gases atmosféricos [1]. Este asunto se trata con más detalle en el Informe 234-2.

La pérdida de transmisión en el espacio libre, sin tener en cuenta la absorción, puede expresarse por:

$$L = L_{bf} - G_t - G_r \text{ (dB)} \quad (4)$$

en donde G_t y G_r son las ganancias, en dB, de las antenas transmisora y receptora en el espacio libre con relación a la ganancia de una antena isótropa.

2.2 Propagación con visibilidad directa.

Para una superficie sin accidentes y perfectamente conductora, la atenuación con relación al espacio libre puede expresarse por:

$$A = -6 - 10 \log \sin^2 (\pi \Delta r / \lambda) \text{ dB} \quad (5)$$

en donde λ es la longitud de onda y $\Delta r = r_1 + r_2 - r_0$ es la diferencia entre el trayecto del rayo directo y el trayecto del rayo reflejado en el suelo (véase la fig. 1). Se utilizó un radio ficticio de la Tierra a , en lugar del radio real, para tener en cuenta en la fig. 1 la refracción media de los rayos radioeléctricos. En la fig. 2, a está representada en función de $N_s = (n_s - 1) \times 10^6$, en donde n_s es el índice de refracción radioeléctrica de la atmósfera en la superficie terrestre. (Véase el Informe 233-2.)

Para ángulos rasantes pequeños, ϕ , y con antenas situadas a h_1 y h_2 kilómetros por encima de la Tierra, se obtiene:

$$\Delta r \approx 2 h'_1 h'_2 / d \quad (6)$$

en donde h'_1 y h'_2 son las alturas de las antenas por encima de un plano tangente a la Tierra en el punto de reflexión.

Para alturas iguales de antena sobre una Tierra esférica de radio ficticio a se tiene:

$$\Delta r = d (\sec \phi - 1) \quad (7)$$

La distancia máxima $d = d_0$ para la cual $A = 0$, se puede obtener gráficamente con la relación:

$$2h_1^2/d_0 - h_1 d_0/(2a) + d_0^3/(32a^2) = \lambda/6 \quad (8)$$

debiendo ser la suma de los campos de la onda directa y de la reflejada en el suelo igual a la intensidad de campo en el espacio libre.

Sea θ_h el ángulo de elevación del rayo directo r_0 con relación a la horizontal, en la ubicación de la antena más baja (h_1), y supongamos que $h_1 \ll h_2$, $h_1 \ll 9a\phi/2$, y que ϕ es pequeño; tendremos entonces:

$$\Delta r \approx 2 h_1 \sin \phi \approx h_1 \left[\sqrt{\theta_h^2 + 4h_1/(3a)} + \theta_h \right] \quad (9)$$

en donde θ_h puede ser positivo o negativo. Para $\theta_h = 0$, tendremos $d_1 \approx 2h_1/(3\phi)$.

Sea un trayecto de propagación cuyos dos puntos terminales tienen por horizonte una elevación de terreno aislada única; puede considerarse que a menudo tal trayecto comprende entre sus puntos terminales una difracción única en arista aguda (véase la fig. 3), y entonces es posible determinar la atenuación de difracción A (v) con relación al espacio libre para trayectos con visibilidad directa ($v < 0$) o para trayectos transhorizonte ($v > 0$).

Para determinar la atenuación de difracción A , con relación al espacio libre, por encima de una tierra uniforme, puede utilizarse, en el caso de la polarización horizontal, la siguiente fórmula aproximada:

$$A = G(\chi_0) - F(\chi_1) - F(\chi_2) - 20,67 \text{ dB} \quad (10)$$

Se han llevado a la fig. 4 las funciones $G(\chi_0)$ y $F(\chi_{1,2})$, así como la función auxiliar $\Delta(\chi_{1,2})$:

$$|\chi_0 = dB_0; \chi_1 = d_{L1}B_0; \chi_2 = d_{L2}B_0; B_0 = 670(f/a^2)^{1/4} \quad (11)$$

en donde $d_{L1} \approx \sqrt{2ah_{1e}}$ y $d_{L2} \approx \sqrt{2ah_{2e}}$ son las distancias entre cada antena y su horizonte radioeléctrico sobre una tierra uniforme. El error del valor de A será menor que 1 dB cuando

$$\chi_0 - \chi_1 \Delta(\chi_1) - \chi_2 \Delta(\chi_2) > 320 \text{ km.} \quad (12)$$

Esto supone que, en la serie de los residuos, se pueden despreciar todos los términos a partir del segundo, y que el segundo término es mucho menor que el primero.

Inmediatamente más allá del horizonte radioeléctrico de un transmisor, el fenómeno de propagación predominante durante más del 50 % del tiempo es, en general, la difracción, mientras que a distancias muy superiores a la del horizonte la dispersión hacia adelante es la que predomina, en particular durante las horas diurnas y las estaciones del año en las que son raros los conductos de nivel de transmisión elevado y las capas a gran altitud.

2.3 *Dispersión hacia adelante.*

El valor medio de la pérdida básica de transmisión a largo plazo, debida a la dispersión hacia adelante, es aproximadamente:

$$L(50) = 30 \log f - 20 \log d + F(\theta d) - G_p - V(d_e) \text{ dB} \quad (13)$$

La fig. 5 muestra las variaciones de $F(\theta d)$ en función del producto θd . La distancia angular θ es el ángulo formado por los rayos en el horizonte radioeléctrico, en el plano del círculo máximo que contiene las antenas, y d la distancia entre las antenas [1].

Por la siguiente fórmula se obtiene una estimación semiempírica de G_p :

$$G_p = G_t + G_r - 0,07 \exp [0,055 (G_t + G_r)] \text{ dB} \quad (14)$$

para valores de G_t y G_r inferiores a 50 dB.

El valor $V(d_e)$ que se indica en la fig. 6, está ajustado para los siguientes tipos de clima.

1. Clima ecuatorial (datos del Congo y de la costa de Marfil).
2. Clima continental intertropical (Sudán).
3. Clima marítimo subtropical (datos de la Costa occidental africana).
4. Clima desértico (Sahara).
5. Clima mediterráneo (no se dispone de curvas).
6. Clima continental templado (datos facilitados por Francia, República Federal de Alemania y Estados Unidos de América).
- 7a. Clima marítimo templado, zonas terrestres (datos del Reino Unido).
- 7b. Clima marítimo templado, zonas marítimas (datos del Reino Unido).
8. Clima polar (no se dispone de curvas).

Esta división es, naturalmente, muy imperfecta, y probablemente las condiciones geográficas locales exigirán profundas modificaciones. En el anexo I se hace una breve descripción de los climas enumerados.

2.4 *Variación de la pérdida de transmisión.*

La calidad de funcionamiento de un servicio de radiocomunicación y la posibilidad práctica de compartición de frecuencias entre los servicios dependen de las relaciones señal/ruido y señal/interferencia. Por regla general, si se quiere obtener un servicio satisfactorio en un trayecto de propagación dado se requerirá una protección contra el ruido cuando las condiciones de propagación son mediocres y una protección contra las interferencias de señales transmitidas en el mismo canal o en canales adyacentes cuando las condiciones de propagación son favorables. Puede observarse que los valores mínimos admisibles de estas relaciones de protección dependen de los tipos particulares de desvanecimiento que presenten las señales deseada y no deseada y el ruido, así como de los sistemas de demodulación y de codificación utilizados. Estas relaciones no varían con el tiempo, a menos que cambie el tipo de desvanecimiento. Por otra parte, las relaciones

disponibles dependen de la intensidad de las señales deseadas y del ruido y son invariables con el tiempo. Por consiguiente, se hace una distinción entre «los desvanecimientos con alteración de fase» (desvanecimientos rápidos), relacionados con fenómenos de propagación por trayectos múltiples, y las variaciones diarias y estacionales lentas o «desvanecimientos de potencia de largo período», relacionados con variaciones del valor medio de refracción, turbulencia o estratificación de la atmósfera.

Es conveniente dividir la potencia instantánea de la envolvente (dBW) en dos componentes sumables, una de las cuales corresponde a los desvanecimientos con alteración de fase y la otra a los desvanecimientos de potencia de largo período. En el presente Informe sólo se consideran los valores horarios medianos de largo período de las pérdidas de transmisión y las variaciones con el tiempo de estos valores en el transcurso de un año.

Para calcular $P(q)$, valor de P excedido durante un porcentaje de tiempo q , o $L(q)$, valor de L excedido durante un porcentaje de tiempo $(100-q)$, se define una «distancia equivalente» d_e en función de la longitud del trayecto de propagación d , de las alturas equivalentes de las antenas h_{te} y h_{re} sobre el terreno, y de la frecuencia radioeléctrica f (MHz).

θ_{sl} se define como la distancia angular en la que las pérdidas de transmisión por difracción y dispersión hacia adelante son aproximadamente iguales sobre una tierra llana de radio ficticio $a = 9000$ kilómetros, y d_{sl} se define por $9000 \theta_{sl}$. Se tiene, pues:

$$d_{sl} = 65(100/f)^{1/2} \text{ km} \quad (15)$$

La longitud del trayecto d se compara con la suma de d_{sl} y las distancias sobre terreno regular hasta los horizontes radioeléctricos:

$$d_L = 3 \sqrt{2h_{te}} + 3 \sqrt{2h_{re}} \text{ km}, \quad (16)$$

en donde las alturas equivalentes de las antenas h_{te} y h_{re} se expresan en metros.

Se ha observado que, por término medio, la variabilidad de los valores medianos horarios a largo plazo (esto es, de la pérdida de transmisión) es mayor cuando los valores de d son ligeramente superiores a la suma de d_{sl} y d_L . La distancia equivalente d_e se define arbitrariamente por:

$$\text{para } d \leq d_L + d_{sl} \quad d_e = 130d/(d_L + d_{sl}) \text{ km} \quad (17a)$$

$$\text{para } d \geq d_L + d_{sl} \quad d_e = 130 + d - (d_L + d_{sl}) \text{ km} \quad (17b)$$

La cantidad $P(q)$ y la pérdida de transmisión correspondiente $L(q)$ se expresan en función de los valores medianos a largo plazo $P(50)$ y $L(50)$:

Se tiene, pues:

$$P(q) = P(50) + Y(q) \text{ dBW} \quad (18a)$$

o bien:

$$L(q) = L(50) - Y(q) \text{ dB} \quad (18b)$$

$$Y(q) = Y_0(q) g(f) \quad (19)$$

En la figura 7 se indican las estimaciones empíricas del factor $g(f)$, y en las figs. 8 a 14 las de $Y_0(q)$ para los diferentes climas.

La estimación del error tipo de predicción para cualquier porcentaje de tiempo dado viene expresado por:

$$\sigma(q) = \sqrt{13 + 0,12 Y^2(q)} \text{ dB} \quad (20)$$

3. Resumen de un segundo método [2].

El método que se resume a continuación se ha establecido en vista de la experiencia profesional adquirida en la construcción de numerosos sistemas de relevadores radio-eléctricos de visibilidad directa y transhorizonte.

Se ha procurado reducir al mínimo los cálculos y utilizar los resultados experimentales, siempre que ha sido posible.

Por conveniencia en la exposición se han utilizado las cuatro zonas siguientes:

- espacio libre,
- zona de interferencia,
- zona de difracción (a: por una arista, y b: por la curvatura terrestre),
- zona de dispersión.

Para las tres primeras zonas, se utiliza una serie de nomogramas [3] (véase la fig. 15).

Para la cuarta zona se utiliza el siguiente procedimiento:

3.1 Método utilizado en la zona de dispersión. [5]

Este método entraña la determinación por separado de la pérdida no excedida durante un porcentaje elevado de tiempo, por ejemplo, el 99 % del mes más desfavorable, y de las pérdidas no excedidas en un pequeño porcentaje de tiempo, por ejemplo, el 1 % del año. La primera pérdida es útil en el diseño de enlaces entre puntos fijos, y la segunda, en problemas de interferencia.

Después de determinar la distancia equivalente definida aquí por el producto de la distancia angular por el radio equivalente de la Tierra, mediante un estudio del perfil del trayecto trazado para un radio terrestre de 8500 km, se utilizan las curvas de las figs. 16 a) y 16 b) correspondientes a una frecuencia de 1 GHz, para los diferentes climas que se definen en el anexo. Se obtiene así, para el clima que interesa, la pérdida entre antenas isotropas.

Para una frecuencia cualquiera comprendida entre 200 y 4000 MHz, a la pérdida antes obtenida se añade la corrección leída en la fig. 17. Se obtienen así para la frecuencia y el clima que interesan las pérdidas no excedidas durante el 99 % del mes más desfavorable y el 1 % del año.

Si es necesario conocer esta pérdida para otro porcentaje de tiempo del mes más desfavorable, por la fig. 18 se determina la desviación estándar y se utiliza una ley logarítmica normal para representar la distribución mensual de las variaciones lentas. Este método puede utilizarse también para determinar las pérdidas de transmisión para pequeños porcentajes del año distintos de 1 %, pero la precisión es menor.

3.2 Cálculo de la atenuación en la zona de dispersión partiendo de los parámetros radiometeorológicos.

3.2.1 Algunos estudios, efectuados por la Administración francesa, han mostrado que la atenuación entre antenas isotropas se puede representar por una fórmula que parece ser válida para todos los climas:

$$L_b = 110,5 + 30 \log d + 30 \log f - T \quad (21)$$

donde

L_b atenuación entre antenas isotropas (equivalente de referencia), en decibelios;

d distancia, en kilómetros;

f frecuencia, en MHz;

T parámetro igual a la expresión

$$(3/8 G_e - 5/4 G_c) \quad (22)$$

G_e gradiente equivalente entre el suelo y el volumen común (que a menudo se puede reemplazar por el gradiente en el primer kilómetro de la atmósfera);

G_c diferencia entre el valor de N en un punto situado a un kilómetro por encima de la base del volumen común y el valor en esta base.

El porcentaje de tiempo al que corresponde el valor de L_b depende de las horas de los sondeos meteorológicos utilizados, como se explica en [7].

Nota.—Las definiciones de N y del gradiente equivalente figuran en el Informe 233-2.

- 3.2.2 La Administración de los Estados Unidos ha comparado la fórmula (21) con todos los datos que han servido de base para la elaboración del método descrito en el § 2.3, encontrando una buena concordancia entre los valores calculados y los medidos. Sin embargo, esta Administración considera que es posible mejorar aún el método de cálculo si se introducen las siguientes modificaciones:

— *Sustitúyanse* los términos $30 \log d + 30 \log f$ de la fórmula (21) por la expresión

$$20 \log (fd) + 10 \log (f^{D_s})$$

donde D_s es la distancia, en kilómetros, entre los horizontes radioeléctricos, para condiciones atmosféricas medias.

— *Sustitúyase* la constante 110,5 dB por la expresión

$$K_1 (D_s) - K_2 (D_s \theta)$$

donde θ es la distancia angular en radianes para condiciones atmosféricas medias.

Las funciones $K_1 (D_s)$ y $K_2 (D_s \theta)$ se han representado en las figs. 19a y 19b.

- 3.2.3 Si no se dispone de datos para determinar G_e y G_c , pueden utilizarse algunos de los mapas que se dan en la referencia [8] y tomar como valor aproximado del gradiente equivalente G_e el gradiente G_0 , que es igual a la diferencia entre los valores de N , a cien metros sobre la superficie de la Tierra y en la propia superficie, multiplicada por diez. En la referencia [8] se dan mapas mundiales para febrero, mayo, agosto y noviembre, que dan los valores de G_0 que son excedidos el 2 % y el 10 % de cada mes. Estos gradientes corresponden a intensidades de campo excedidas el 90 % y el 98 % de cada mes.

Combinando estas distribuciones y empleando los métodos de la referencia [8] para el cálculo de los valores medianos de G_0 y del coíndice de refracción en la superficie N_s , es posible estimar G_0 y N_s para cualquier porcentaje de un año, así como dar una expresión aproximada para el gradiente del volumen común G_c mediante la fórmula semiempírica siguiente:

$$G_c = \begin{cases} \frac{1}{3} [200 - N_s - \frac{2}{3} G_0] & \text{por } 1 < D_s \theta < 2,7 \text{ km} \\ \frac{3}{7} [200 - N_s - \frac{2}{3} G_0] & \text{por } D_s \theta \geq 2,7 \text{ km} \end{cases} \quad (23)$$

Para $D_s \theta < 1$ o $D_s < 50$ km, puede considerarse que la forma dominante de la propagación es la difracción más bien que la dispersión hacia adelante.

Los valores típicos de N que son excedidos durante un 90 % y un 99 % del tiempo, son inferiores en 10 y 20 unidades N , respectivamente, a los valores medianos a largo plazo obtenidos con los métodos del Informe 233-2 o la referencia [8].

4. Otros métodos.

En la referencia [3] se describe otro método para el cálculo de la distribución estadística de los niveles de señal en trayectos con visibilidad directa. Este método tiene en cuenta las variaciones de la señal causada por variaciones del gradiente vertical del índice de refracción, y por reflexiones troposféricas; también se considera en él el efecto de perfil del terreno. Los cálculos correspondientes para trayectos transhorizonte se basan empíricamente en datos experimentales [4]. En el Reino Unido se ha revelado útil otro método para los trayectos transhorizonte [6].

5. Conclusiones.

Para poder utilizar con provecho métodos sencillos de previsión, tales como los descritos en el presente Informe, es preciso definir los límites de estos métodos, así como indicar las ventajas de métodos más perfeccionados. El Grupo interino de trabajo tendrá por tarea establecer un informe completo en el que se indique:

- cómo se pueden tener en cuenta las incompatibilidades de polarización de las antenas de transmisión y de recepción en la propagación en el espacio libre;
- cómo se pueden calcular las variaciones temporales, espaciales y locales de la absorción de las microondas causadas por el oxígeno, el vapor de agua, la lluvia y las nubes, en diferentes condiciones, para la gama de frecuencias comprendidas entre 0,1 y 100 GHz;
- cómo se puede calcular un coeficiente de reflexión en el suelo equivalente que dependa de la conductividad de la constante dieléctrica, de las irregularidades del terreno y de la curvatura de la superficie reflectora, así como de la relación de los productos de la ganancia de tensión de las antenas, en las direcciones de propagación del rayo directo y del rayo reflejado;
- cómo se pueden calcular las zonas de Fresnel y cómo se puede determinar su utilización;
- cómo se puede tener en cuenta los efectos de reflexión en el suelo y las variaciones de fase por difracción sobre una sola arista aguda;
- cómo pasar de modo continuo de los reducidos valores de atenuación característicos de esta clase de difracción, al caso contrario de atenuación elevada que se encuentra inmediatamente más allá del horizonte radioeléctrico, en el supuesto de una tierra uniforme, y, finalmente,
- cómo estimar la ganancia de antena para un trayecto dado y cómo se pueden tener en cuenta la asimetría de los trayectos, la ganancia en función de la frecuencia y las refracciones anormales cuando se calcula la pérdida de transmisión debida a la dispersión hacia adelante.

También habrá que buscar los procedimientos necesarios para evaluar la confiabilidad de los métodos de predicción detallados aplicables a la transmisión entre puntos fijos, y para calcular la probabilidad de funcionamiento en el caso de servicio de nivel de transmisión limitado por el ruido.

BIBLIOGRAFÍA

1. NBS, Technical Note 101, revisada el 1.º de mayo de 1966.
2. Note Technique N.º PR 3104 du Centre National d'Etudes des Télécommunications (1962).
3. KALININ, A. I.: Calculation of radio-relay links, *Sviarz* (1964).
4. KALININ, A. I.: Over-the horizon propagation at VHF. *Sovietskoye Radio* (1965).
5. BOITHIAS, L., y BATTESTI, J.: Les faisceaux hertziens transhorizon de haute qualité. *Annales des Télécommunications* (julio-agosto de 1965).
6. C. C. I. R.: Doc. V/87 (Reino Unido), 1963-1966.
7. BATTESTI, J.; BOITHIAS, L., y MISME, P.: Cálculo de las atenuaciones en propagación transhorizonte a partir de los parámetros radiometeorológicos (en francés). *Annales des Télécommunications* (mayo-junio de 1968).
8. BEAN, B. R.; THAYER, G. D., y CAHOON, B. A.: A world atlas of the atmospheric radio refractive index, ESSA, Monograph 1 (1961). Puede solicitarse al Superintendent of Documents, Washington, D. C., U. S. A.

A N E X O

A continuación se describen los climas considerados en este Informe.

1. **Clima ecuatorial:** Corresponde a la zona comprendida entre las latitudes 10° N. y 10° S. Se caracteriza por temperaturas elevadas que varían ligeramente y por intensas y constantes lluvias que mantienen una humedad permanente. El valor medio anual de N_s (refractividad en la superficie de la Tierra = $(n - 1) 10^6$, en donde n es el índice de refracción del aire) es de unas 360 unidades N , y la gama anual de variación, de 0 a 30 unidades N .
2. **Clima continental subtropical:** Corresponde a las zonas comprendidas entre 10° y 20° de latitud. Se caracteriza por inviernos secos y veranos lluviosos. Se producen acusadas variaciones diarias y anuales de las condiciones de propagación radioeléctrica, registrándose la atenuación mínima en la estación de lluvias. En zonas terrestres secas pueden existir conductos radioeléctricos durante una buena parte del año. El valor medio anual N_s es de unas 320 unidades N , y la gama de variación, durante todo el año, de los valores medios mensuales de N_s es de 60 a 100 unidades N .
3. **Clima marítimo subtropical:** Corresponde también a las zonas comprendidas entre 10° y 20° de latitud, y suele ser típico de las tierras bajas situadas a proximidad del mar. El monzón ejerce una influencia muy acusada. El monzón de verano, que sopla del mar hacia el interior, determina un alto grado de humedad en las capas inferiores de la atmósfera. Aun cuando la atenuación de las ondas radioeléctricas es relativamente baja a comienzos y finales de la estación del monzón, durante la mitad de esta estación la atmósfera presenta un grado de humedad uniforme a grandes alturas, aumentando considerablemente la atenuación radioeléctrica, pese a los elevadísimos valores que acusan N_s . Se registra una media anual N_s de unas 370 unidades N , con una gama de variación anual de 30 a 60 unidades N .
4. **Clima desértico:** Corresponde a dos zonas terrestres que se sitúan, aproximadamente, entre 20° y 30° de latitud. Durante el año se dan condiciones semiáridas y extremas variaciones diurnas y estacionales de la temperatura. Este clima es sumamente desfavorable para la propagación con dispersión hacia adelante, sobre todo en verano. Se registra un valor medio anual de N_s de unas 280 unidades N , y los valores medios mensuales, durante todo el año, pueden variar entre 20 y 80 unidades N .
5. **Clima mediterráneo:** Corresponde a zonas de ambos hemisferios situadas en la periferia de las zonas desérticas a proximidad del mar, y comprendidas entre 30° y 40° de latitud. El clima se caracteriza por temperaturas relativamente altas, aminoradas por la presencia del mar, así como por una ausencia casi completa de lluvias en la estación estival. Las condiciones de propagación de las ondas radioeléctricas varían considerablemente, sobre todo en los trayectos marítimos, donde suelen formarse conductos troposféricos, en verano, durante un elevado porcentaje del tiempo.
6. **Clima continental templado:** Corresponde a las zonas comprendidas entre 30° y 60° de latitud. Este clima presenta, en una extensa masa terrestre, temperaturas extremas, existiendo la posibilidad de que se produzcan acusadas variaciones diurnas y estacionales en las condiciones de propagación. Los océanos ejercen una influencia considerable sobre las zonas occidentales de los continentes, por lo que las temperaturas registradas en ellas acusan variaciones moderadas y cabe la posibilidad de que se produzcan precipitaciones en cualquier época del año. En las situadas más al Este se dan mayores variaciones de temperatura y llueve menos durante los meses invernales. Las condiciones de propagación más favorables se registran en verano, acusando una variación anual relativamente elevada. El valor medio anual de N_s es de unas 320 unidades N , pudiendo variar los valores medios mensuales, durante todo el año, entre 20 y 40 unidades N .
- 7a. **Clima marítimo templado, zonas terrestres:** Corresponde también a zonas o regiones comprendidas entre 30° y 60° de latitud, aproximadamente, donde los vientos dominantes, que no encuentran obstáculos montañosos, transportan la humedad del mar tierra adentro.

Entre las regiones típicas, cuéntanse el Reino Unido, las costas occidentales de América del Norte y de Europa y el litoral del noroeste de África. Se registra un valor medio anual de N_s de una 320 unidades N , con una variación relativamente pequeña de los valores medios mensuales, durante todo el año, de 20 a 30 unidades N . Aunque las islas japonesas se encuentran comprendidas en esas latitudes, su clima es un tanto diferente, acusando una mayor variación anual de los valores medios mensuales de N_s (unas 60 unidades N). Los vientos dominantes en el Japón atraviesan antes una gran masa terrestre, y el terreno es accidentado. Es probable, pues, que el clima del Japón se aproxime más al clima 6 que al 7, pero la propagación por conductos troposféricos puede ser de importancia en las zonas costeras y en las marítimas adyacentes durante un 5 % del tiempo, como máximo.

- 7b. **Clima marítimo templado, zonas marítimas:** Corresponde a las zonas costeras y marítimas en regiones similares a las del clima 7a. La diferencia estriba en que un trayecto de propagación que tenga ambos horizontes en el mar se considera como un trayecto marítimo (aun cuando sus terminales estén en tierra firme); por lo demás, se estima que debe aplicarse el clima 7a. Frecuentemente se producen conductos troposféricos durante pequeños porcentajes de tiempo entre el Reino Unido y el continente europeo, así como a lo largo del litoral occidental de Estados Unidos de América y de México.
8. **Clima polar:** Corresponde aproximadamente a las zonas comprendidas entre 60° de latitud y los polos. Este clima se caracteriza por temperaturas relativamente bajas y por precipitaciones relativamente escasas. No se dispone, por ahora, de curvas de propagación que puedan incluirse en el presente Informe.

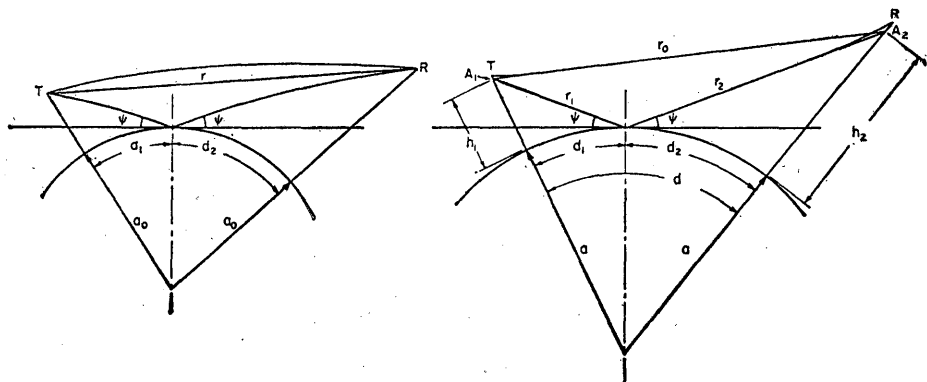


FIGURA 1

Relaciones geométricas para los trayectos a distancias inferiores a la del horizonte

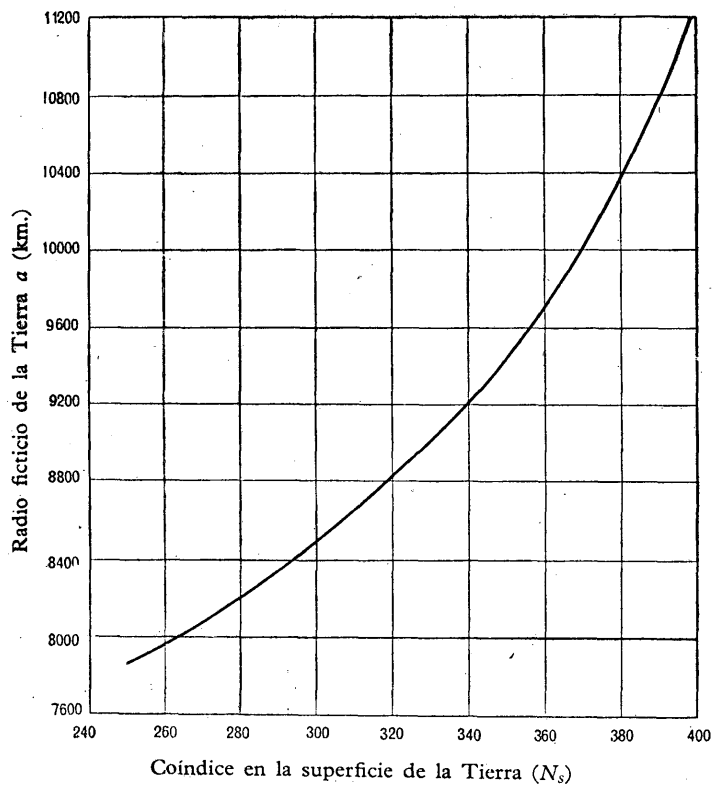
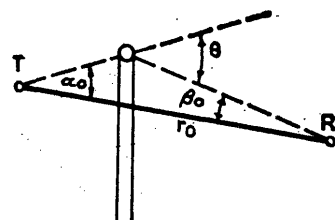
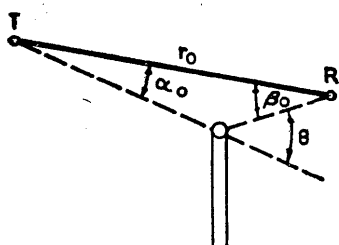


FIGURA 2

Variación del radio ficticio de la Tierra, a , en función de N_s



$$v = \sqrt{(2d/\lambda) \cdot \operatorname{tg} \alpha_0 \operatorname{tg} \beta_0}$$

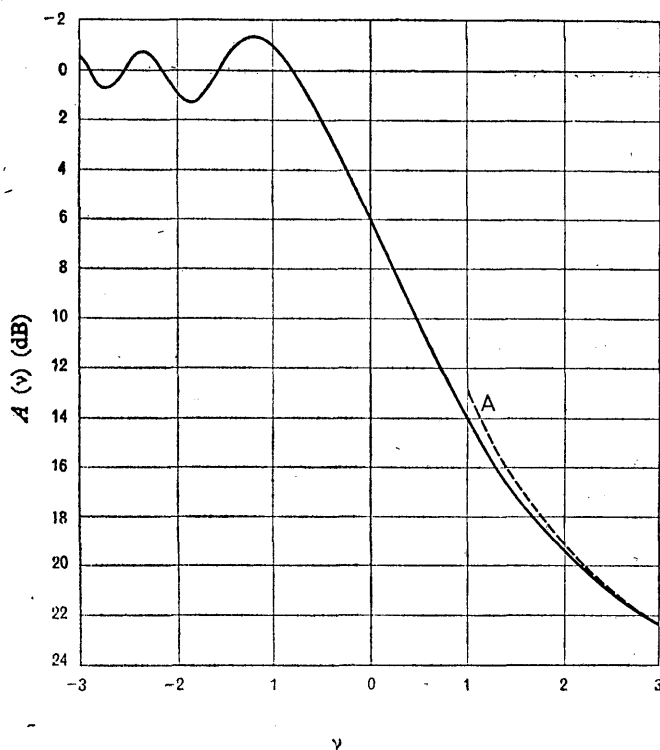


FIGURA 3

Difracción en una arista aguda.—Pérdida de transmisión con relación al espacio libre

Curva A: Asíntota: $A(v) = 12,953 + 20 \log_{10} v$

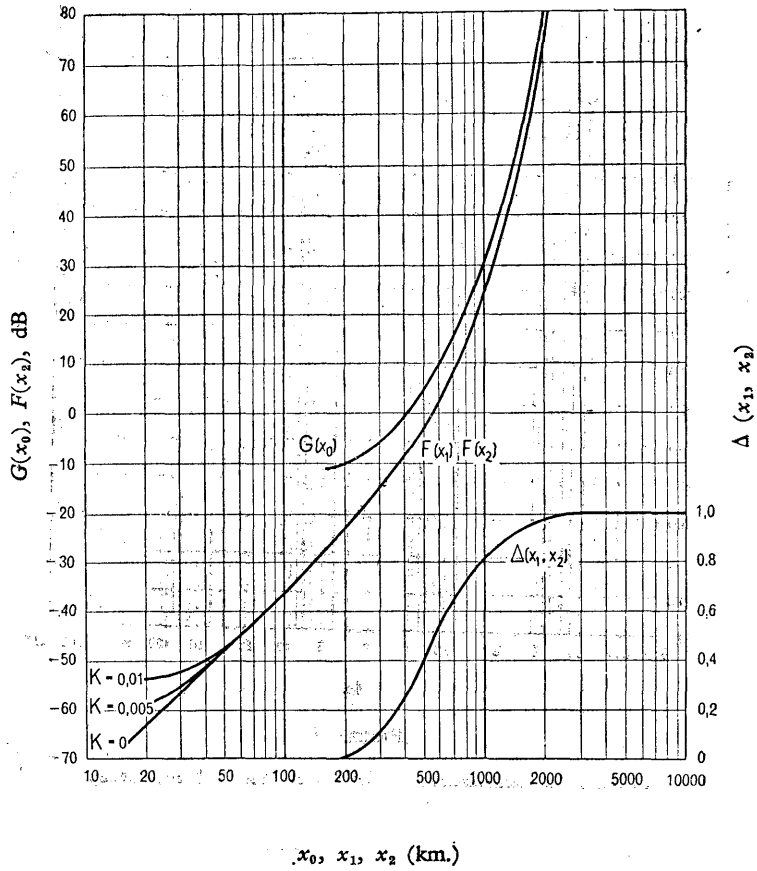


FIGURA 4

Nota: Para valores elevados de x :

$$F(x) \approx G(x) - 1,356$$

$$G(x) \approx 0,0575104 x - 10 \log x + 2,066$$

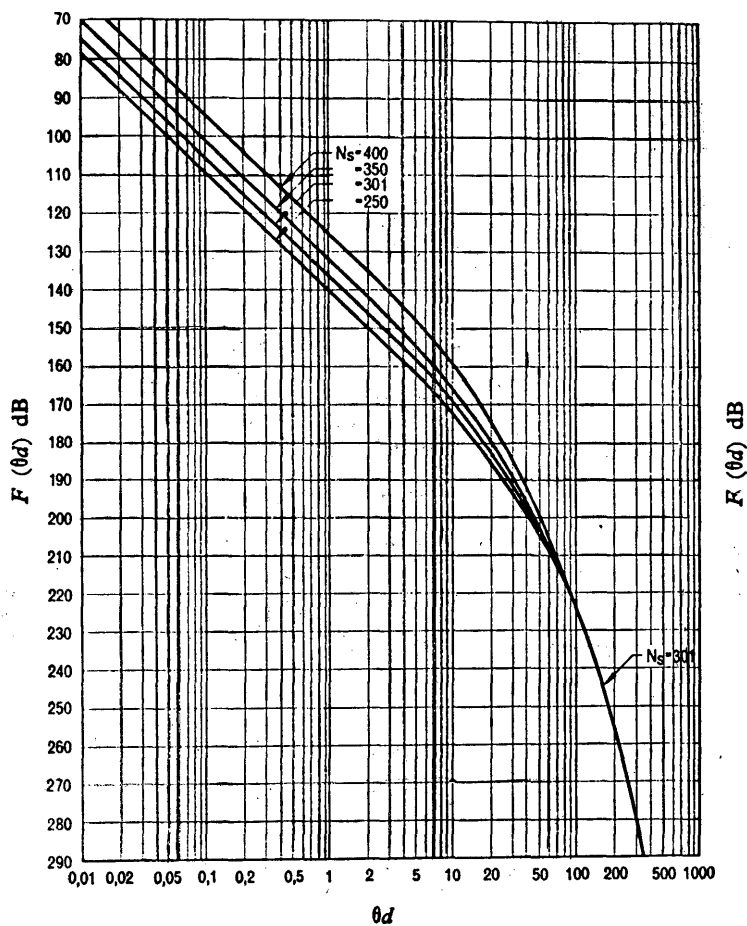


FIGURA 5

Función de atenuación, $F(\theta d)$; d en km. y θ en radianes

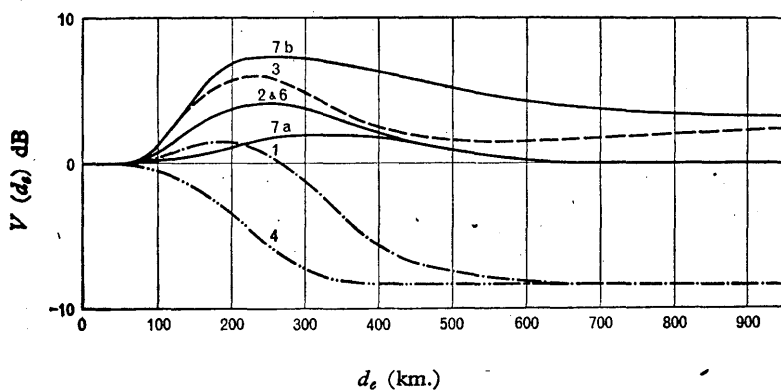


FIGURA 6

Función $v(d_e)$ para los diversos climas indicados en las curvas (véase el § 2.3)

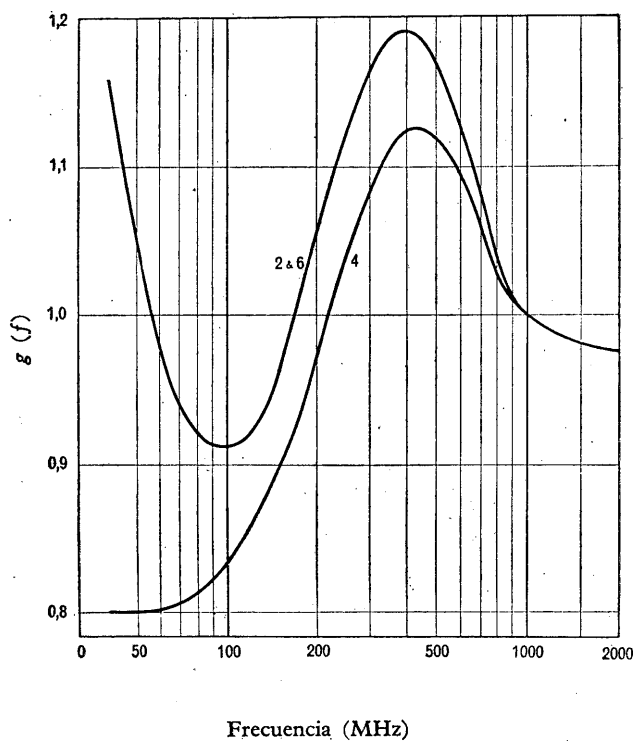


FIGURA 7

Función $g(f)$ para los climas indicados con cifras en las curvas (véase el § 2.3)

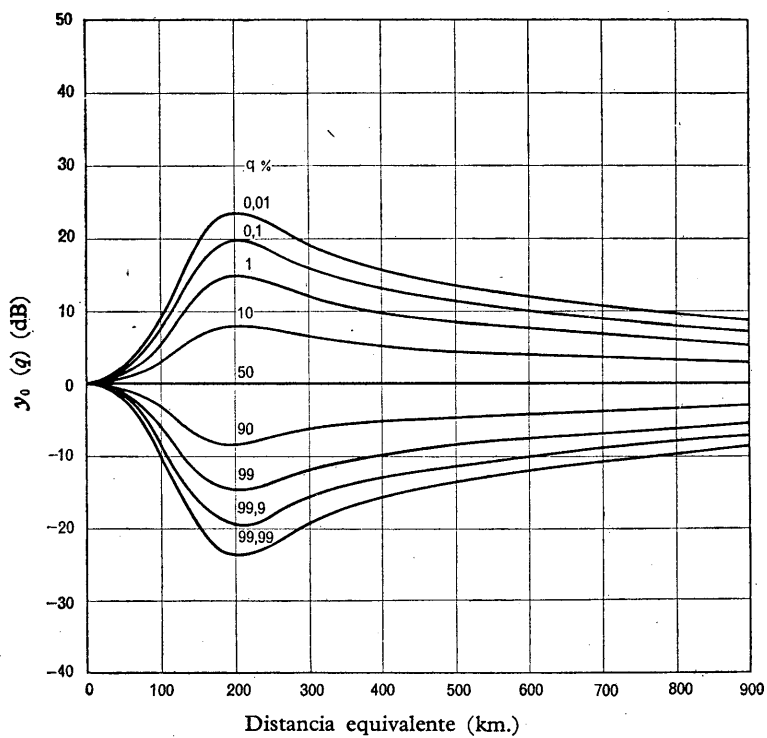


FIGURA 8

Variación de la pérdida de transmisión para el clima 1 (ecuatorial)

(los valores de q están indicados en cada curva)

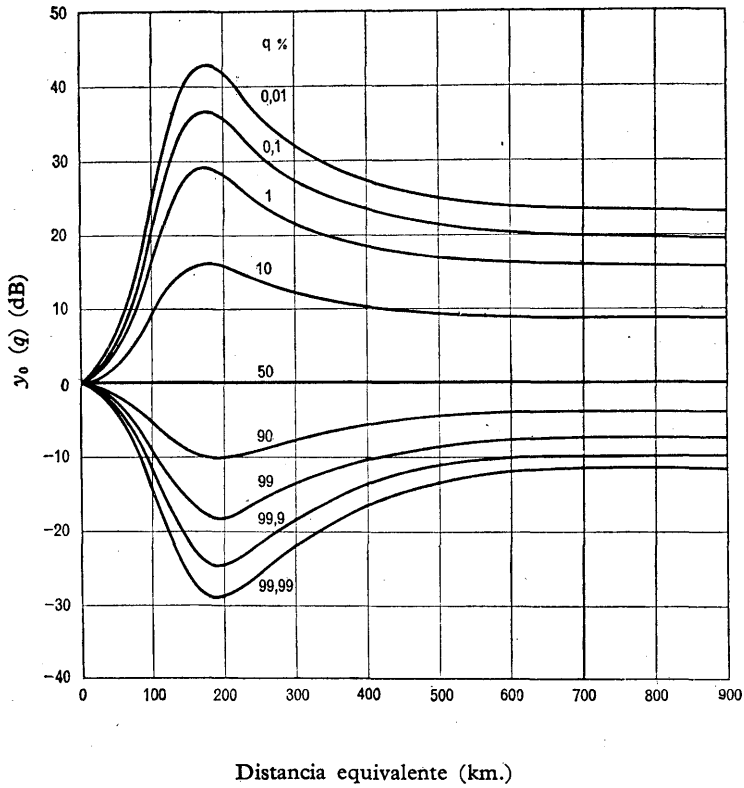


FIGURA 9

Variación de la pérdida de transmisión para el clima 2 (continental subtropical, Sudán)

(los valores de q están indicados en cada curva)

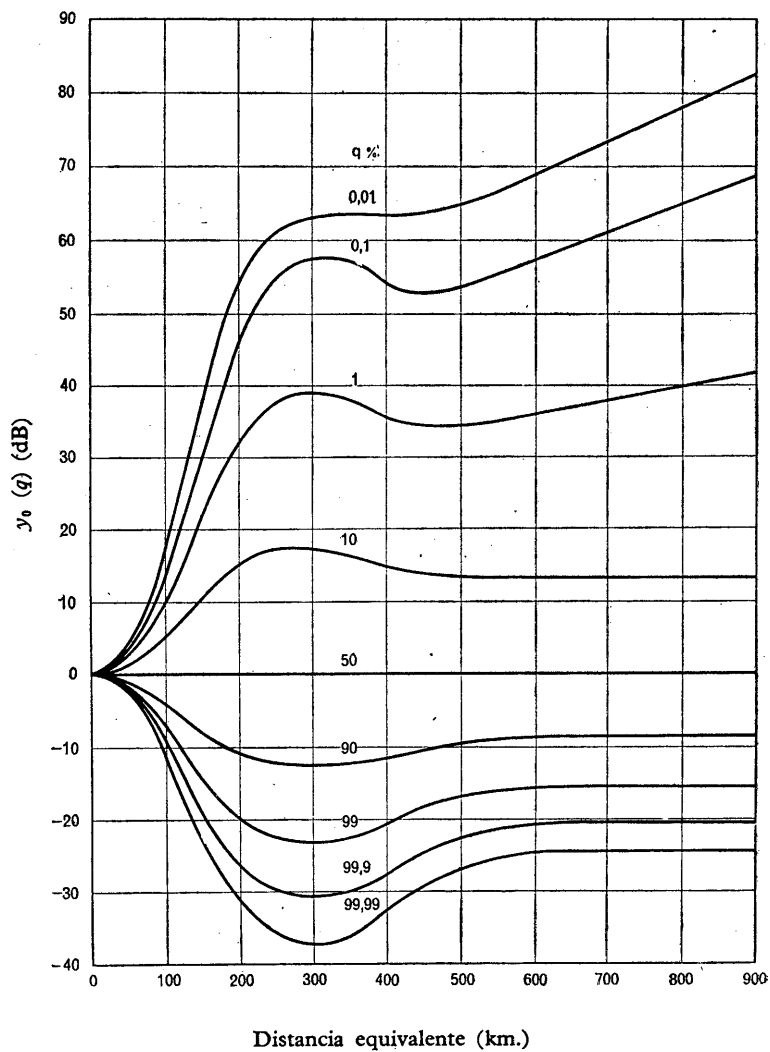


FIGURA 10

Variación de la pérdida de transmisión para el clima 3 (marítimo subtropical)

(los valores de q están indicados en cada curva)

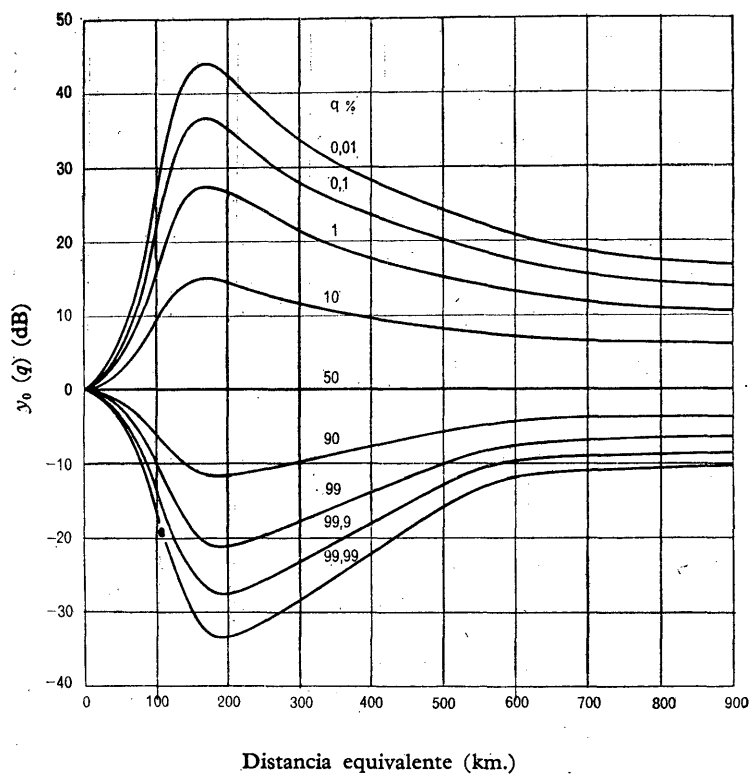


FIGURA 11

Variación de la pérdida de transmisión para el clima 4 (desértico, Sahara)

(los valores de q están indicados en cada curva)

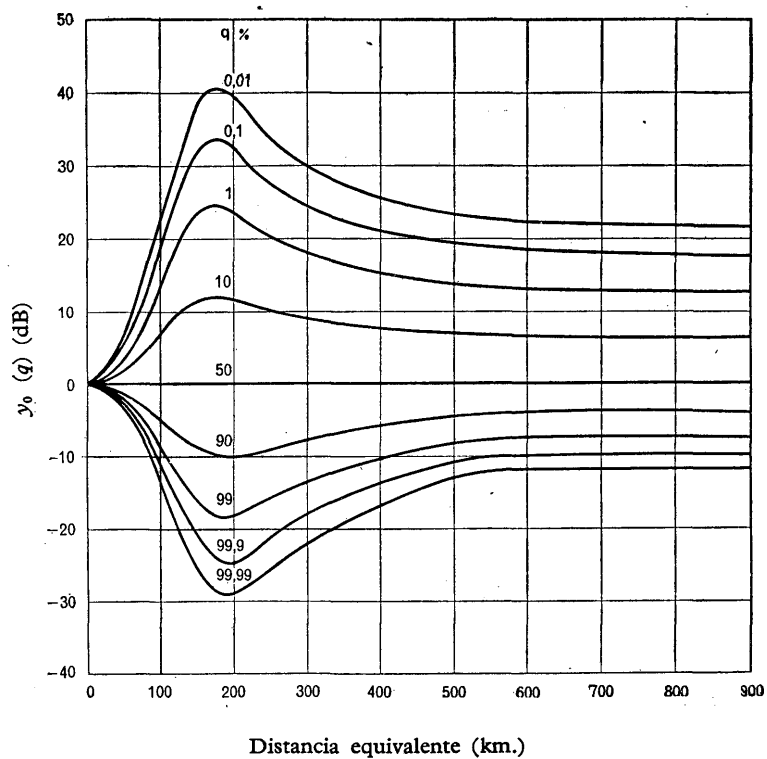


FIGURA 12

Variación de la pérdida de transmisión para el clima 6 (continental templado)

(los valores de q están indicados en cada curva)

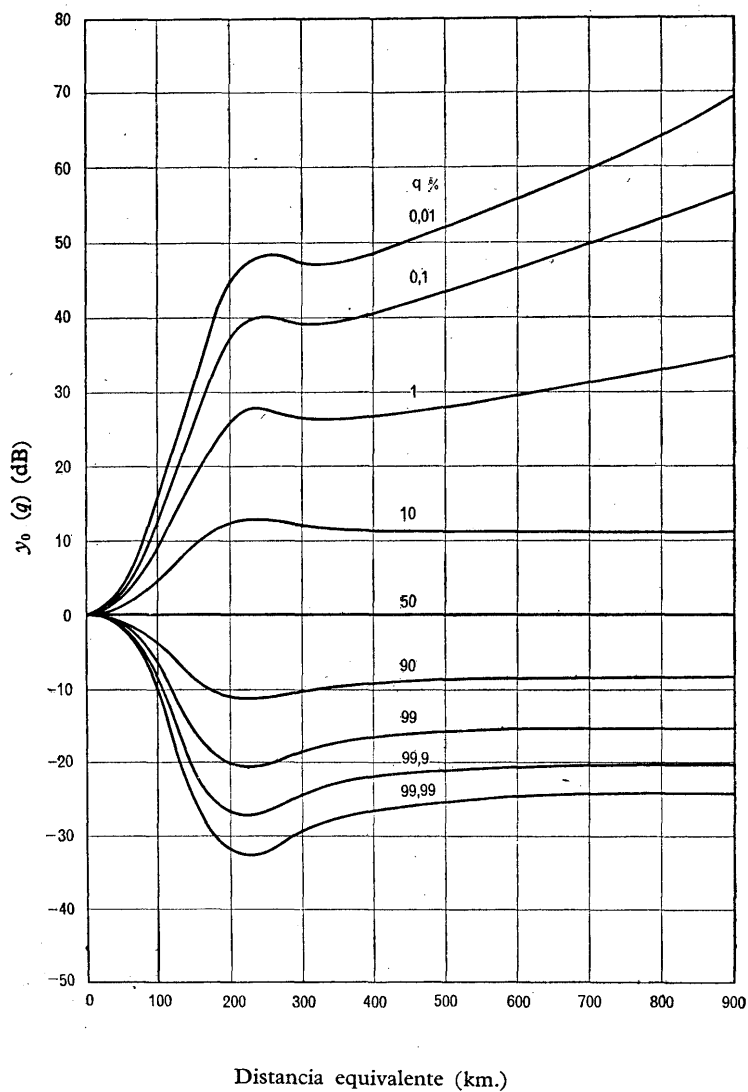


FIGURA 13

Variación de la pérdida de transmisión para el clima 7a (marítimo templado). Trayectos terrestres
(los valores de q están indicados en cada curva)

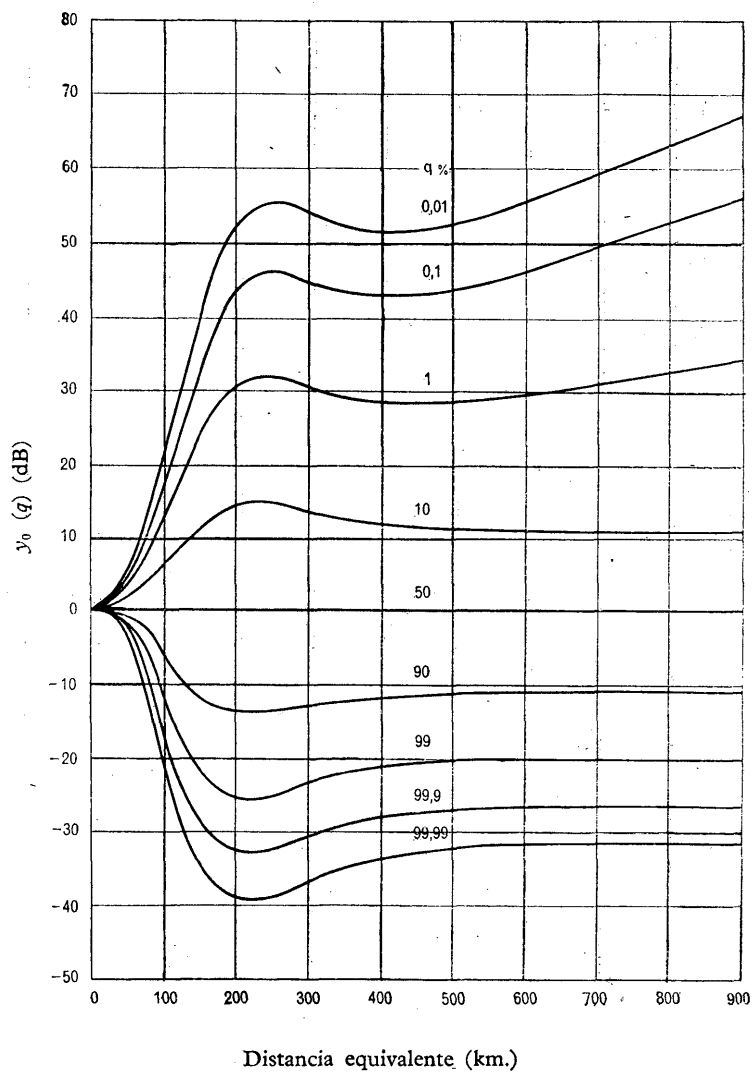


FIGURA 14

Variación de la pérdida de transmisión para el clima 7b (marítimo templado). Trayectos marítimos
(los valores de q están indicados en cada curva)

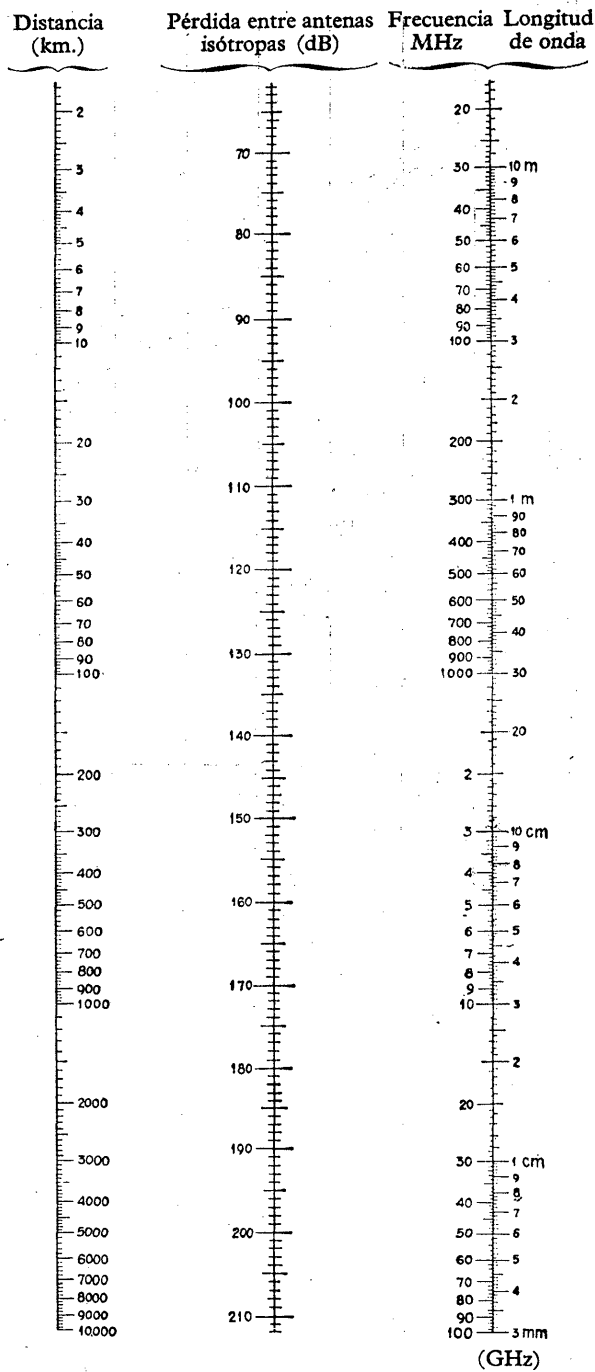


FIGURA 15

Pérdida de transmisión en el espacio libre entre antenas isotropas

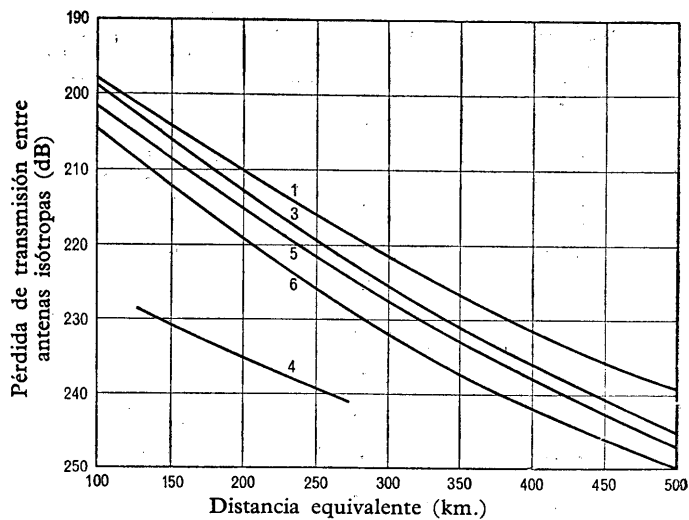


FIGURA 16 a

Pérdida de transmisión no rebasada durante el 99 % del peor mes para los tipos de clima indicados en las curvas (véase el § 2.3)

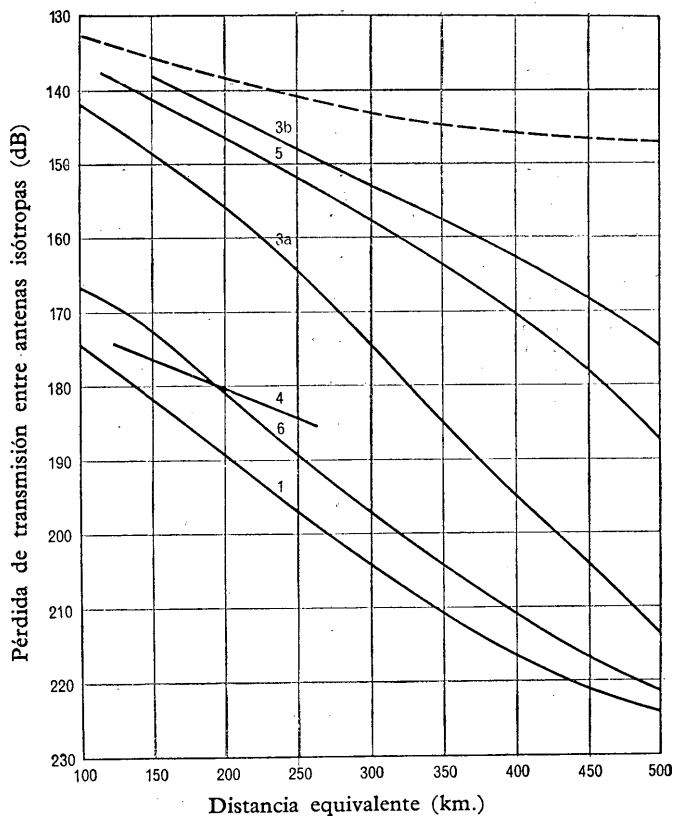


FIGURA 16 b

Pérdida de transmisión no excedida durante el 1 % de todo un año para los tipos de clima indicados en las curvas (véase el § 2.3)

Curvas 1, 4 y 6: trayectos terrestres

Curvas 3 a, 3 b y 5: trayectos marítimos

— — — — — Espacio libre

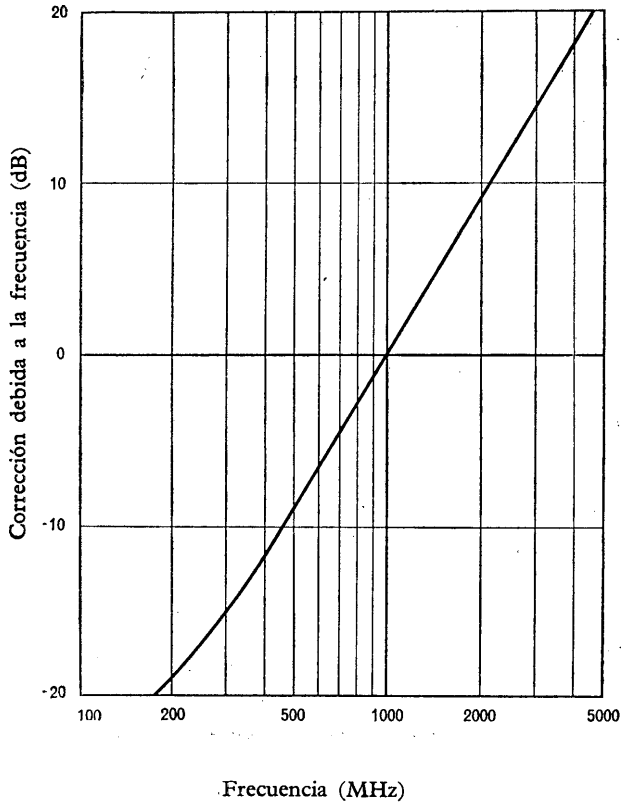


FIGURA 17

Correcciones (dB) que deberán aplicarse a los valores obtenidos con las curvas de la fig. 16 para frecuencias distintas a 1 GHz

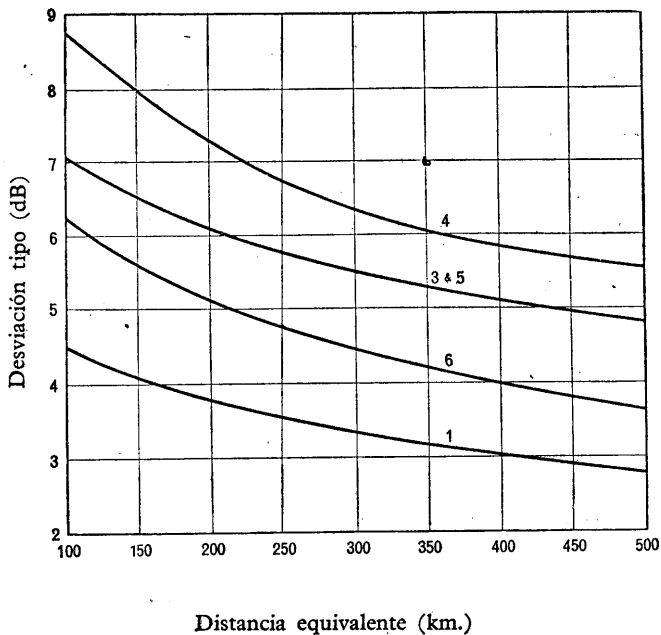


FIGURA 18

Desviación tipo para los climas indicados en las curvas (véase el § 2.3)

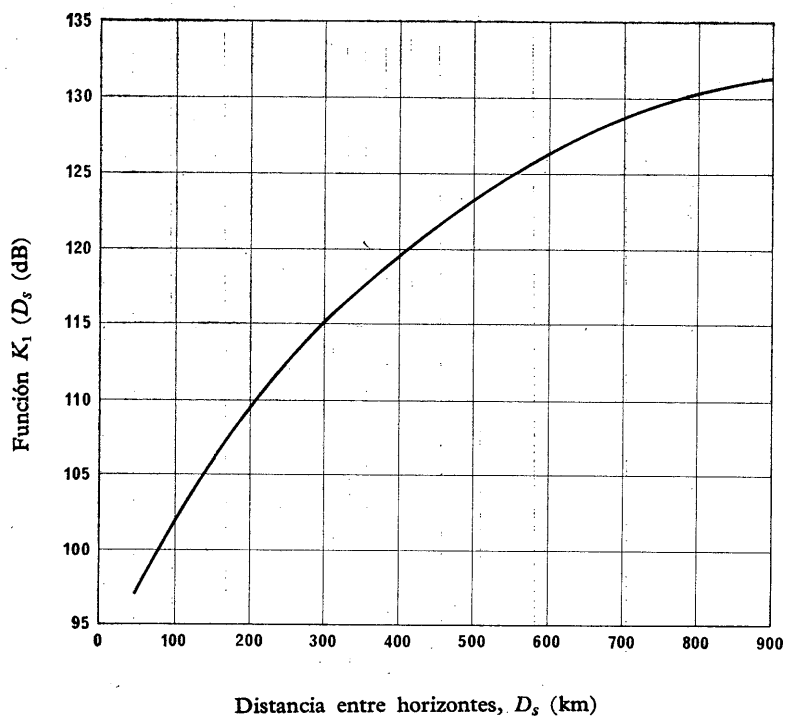
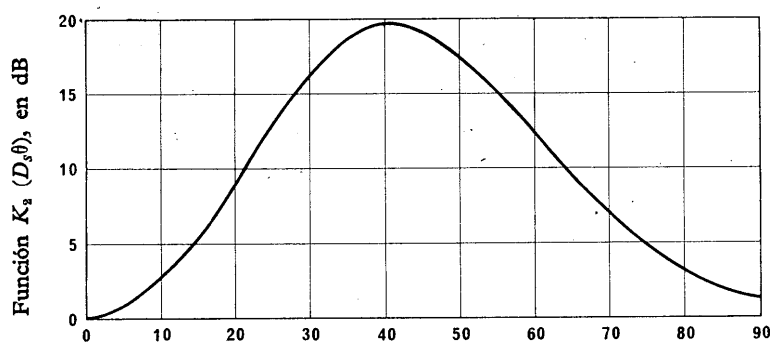


FIGURA 19 a



Parámetro $D_s\theta$, con D_s en km y la distancia angular θ en radianes

FIGURA 19 b

INFORME 336 *

UTILIZACIÓN DE FRECUENCIAS EN LA REGIÓN SITUADA MÁS ALLÁ
DE LA IONOSFERA Y EN LA CARA OCULTA DE LA LUNA

(1966 - 1970)

En el punto 2 de la Cuestión 8/12 presentada a la Comisión de estudio 5 se plantea el problema de la variación del efecto de pantalla de la Luna, en función de la frecuencia, de la distancia angular desde el borde de la Luna hasta el centro de su cara oculta, y de la distancia a la superficie de la Luna.

Los documentos de la Comisión de estudio 5 tratan en general de la difracción alrededor de obstáculos de grandes dimensiones, pero sólo en el caso de la propagación por encima de la Tierra. El problema importante que contiene el punto 2 de la Cuestión planteada por la Comisión de estudio 2 es probablemente el de determinar el factor de pantalla debido a la difracción alrededor de la Luna, considerada como un gran objeto esférico.

El radio de la Luna es inmenso con relación a la mayor longitud de onda que podría presentarse en esta Cuestión y, por ello, cabe resolver este problema aplicando la teoría clásica de la propagación de las ondas radioeléctricas alrededor de una Tierra esférica, puesto que la difracción puede expresarse por medio de un radio a , sin más restricción que: $2\pi/\lambda a \gg 1$, siendo λ la longitud de onda expresada en la misma unidad que a . (Para la Luna, la condición $2\pi a/\lambda = 10$ corresponde aproximadamente a una frecuencia de 300 Hz.)

Esta noción se aplica en principio a la difracción alrededor de colinas de forma esférica o cilíndrica [1] en las que las diversas magnitudes que intervienen se obtienen gráficamente en función de cierto parámetro, que depende a su vez de la frecuencia, del radio del obstáculo y de sus constantes eléctricas. Estas magnitudes están ligadas a factores como la atenuación en decibelios por radián de distancia angular, alrededor de la esfera en la región de difracción así como los parámetros con los que se expresa la ganancia en función de la altura.

Más acá del horizonte pueden aplicarse, con los límites correspondientes, los métodos de la óptica geométrica para la reflexión en una superficie convexa, mientras que en las distancias cortas, en las que la irregularidad de la superficie puede constituir un factor dominante, hay que aplicar los métodos descritos en el Informe 236-2, relativo a la propagación sobre terreno irregular.

Para alturas o distancias en la Luna comparables por lo menos al radio de esta última, pero en el caso de no haber visibilidad directa entre los extremos del trayecto de propagación, se pueden emplear métodos aproximados que permiten tratar el problema como una combinación de la atenuación en el espacio libre (ley de la inversa de la distancia) a lo largo de las tangentes trazadas en la esfera por los extremos del trayecto, y de la atenuación de difracción en la distancia angular de la porción de esfera que constituye un obstáculo para la visibilidad directa.

Parece, pues, que todos los datos esenciales necesarios para resolver este problema existen ya en forma fácilmente adaptable a los parámetros que se consideran aplicables a la superficie curva de la Luna. En realidad, se han hecho ya estudios de acuerdo con estos principios para ciertas constantes eléctricas supuestas de la Luna [2] (véase también el Informe 244-2).

BIBLIOGRAFÍA

1. MILLINGTON, G.: A note on diffraction round a sphere or cylinder, *Marconi Review*, Vol. 23, **139**, 170 (1960).
2. VOGLER, L. E.: NBS, Monograph N.º 85 (1965).

* Adoptado por unanimidad.

INFORME 337-1 *

**FACTORES DE PROPAGACIÓN QUE INTERVIENEN EN LA COMPARTICIÓN
DEL ESPECTRO DE LA FRECUENCIA RADIOELÉCTRICA ENTRE LOS
SISTEMAS DE RELEVADORES RADIOELÉCTRICOS
ESPACIALES Y TERRENALES**

(1970)

Al considerar los aspectos de la compartición entre los sistemas espaciales y terrenales tal vez convenga tener presentes los siguientes factores de propagación:

- influencia del terreno,
- influencia de la vegetación y de los edificios,
- influencia de la falta de homogeneidad de la troposfera,
- influencia de los conductos o capas de la troposfera,
- dispersión por los hidrometeoros,
- dispersión por las aeronaves,
- refracción troposférica.

El Informe 244-2 contiene datos que pueden servir para evaluar los efectos del terreno y las características de la troposfera, pero no trata de los efectos de la vegetación y de los edificios, de la dispersión por las precipitaciones ni de la dispersión por las aeronaves.

El Informe 339-1 trata de los factores fundamentales que intervienen en el cálculo de la intensidad de las señales dispersadas por los hidrometeoros, y puede considerarse como una respuesta parcial a la Cuestión 14-1/4.

El Informe 427 describe un método para obtener los factores de pantalla del terreno y constituye otra respuesta a la Cuestión 14-1/4.

INFORME 338-1 **

**DATOS DE PROPAGACIÓN REQUERIDOS PARA SISTEMAS DE RELEVADORES
RADIOELÉCTRICOS CON VISIBILIDAD DIRECTA**

(Programa de estudios 5-1A-1/5)

(1966 - 1970)

1. Introducción.

Además de los numerosísimos datos recogidos como consecuencia de la circular administrativa AC/63 (véase el Informe 241-1) y de las informaciones pertinentes contenidas en el Informe 244-2, se facilitan en este Informe datos generales adicionales sobre la propagación, que podrán servir de base a los constructores de sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa. En particular, el estudio estadístico de numerosos registros de la pérdida de transmisión permite establecer las curvas generales de propagación.

Aunque existen radioenlaces que trabajan en frecuencias inferiores a 1 GHz, el C. C. I. R. no dispone, por el momento, de suficientes datos sobre las características de propagación de estos sistemas y, por consiguiente, no pueden presentarse por ahora curvas típicas. En las referencias [8, 32, 50] figura cierta información. El presente Informe se refiere, en consecuencia, principalmente a las frecuencias superiores a 1 GHz.

* Este Informe y el 427 reemplazan al Informe 337. Adoptado por unanimidad.

** Adoptado por unanimidad.

2. Efectos de la refracción.

Las variaciones de la refracción atmosférica ocasionan a veces serios desvanecimientos en los enlaces por sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa. La forma general que presentan las variaciones de la pérdida de transmisión por varios trayectos puede explicarse por dos mecanismos de propagación relativamente simples: la refracción ligada a un gradiente vertical del índice de refracción, que varía con el tiempo, y la aparición de interferencias de fase debidas a la difracción y a la reflexión de las ondas en la superficie de la Tierra y a las discontinuidades del índice de refracción atmosférico. La refracción puede ser también la causa de los desvanecimientos cuando, en condiciones extremas, el rayo llega con un ángulo tal que se encuentra fuera del haz principal de la antena receptora.

Las mediciones del gradiente vertical del índice de refracción en las capas inferiores de la atmósfera han revelado que la gama de valores es extraordinariamente extensa.

En Cabo Kennedy, Florida (Estados Unidos) se ha medido el gradiente vertical en los primeros 100 metros próximos a la superficie terrestre, habiéndose comprobado que variaba entre 230 N/km (valor que fue excedido durante el 0,05 % del tiempo) y — 370 N/kilómetro (valor excedido durante el 99,9 % del tiempo), lo que corresponde a valores de k de 0,4 y de — 0,7, respectivamente (tierra cóncava) [48].

En Francia, los estudios realizados en la región de París, y en la misma parte de la atmósfera —los primeros 100 metros próximos a la superficie terrestre—, dieron resultados muy semejantes a los mencionados. Sin embargo, cuando se midió el gradiente en los primeros 500 metros, se advirtió que las variaciones eran mucho menores, registrándose valores comprendidos entre 30 N/km (0,05 % del tiempo) y — 140 N/km (99,8 % del tiempo), lo que corresponde a un valor de k comprendido entre 0,8 y 10 [2].

De las mediciones efectuadas en Japón [3] y en el Reino Unido [4] se desprende que la variación del gradiente depende considerablemente del espesor de las capas. En ambos países, los resultados de las mediciones son similares y muestran que, para los primeros 100 metros, los valores de unos 70 N/km y —200 N/km han sido excedidos durante el 0,1 % y el 99,9 % del tiempo. Se ha ideado un método de previsión de la variación de gradiente a partir de datos de radiosondas [3]; la práctica ha confirmado los resultados de este método.

Las mediciones efectuadas en la U. R. S. S. [5] han mostrado que la distribución estadística del gradiente vertical del índice de refracción en la capa comprendida entre 0 y 200 m se aproxima a la ley normal correspondiente a la mayor parte de las regiones climáticas de la U. R. S. S. (excepción hecha de las regiones montañosas y costeras). Los parámetros de distribución (valor mediano y desviación estándar) varían según las distintas regiones climáticas y según las estaciones del año.

2.1 Efectos en un trayecto libre de obstáculos.

Cuando la atmósfera se caracteriza por una infrarrefracción suficiente, (grandes valores positivos del gradiente de módulo refractivo), los rayos se incurvan de forma que la Tierra parece hallarse en el trayecto directo entre el transmisor y el receptor, lo que da lugar a un tipo de desvanecimiento llamado desvanecimiento por difracción. Este tipo de desvanecimiento puede atenuarse instalando antenas a altura suficiente para que, en condiciones de curvatura muy acentuada de los rayos, el receptor no se encuentre en la región de difracción.

En los sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa, la teoría de la difracción indica que el trayecto directo entre el transmisor y el receptor debe estar libre de obstáculos, a partir de una altura por encima del suelo igual como mínimo al 60 % del radio de la primera zona de Fresnel, para que se cumplan las condiciones de propagación en el espacio libre. Conviene prever también un margen para tener en cuenta cualquier infrarrefracción eventual; habitualmente se consigue asegurándose de que, efectivamente, no existen obstáculos incluso cuando el radio terrestre ficticio es inferior a su valor normal. Por ejemplo, en Estados Unidos de América y en el Reino Unido, los constructores de sistemas de relevadores radioeléctricos exigen a menudo un área libre de obstáculos igual al 60 % del radio de la primera zona de Fresnel, incluso cuando el radio terrestre ficticio

es de 4500 km únicamente ($k = 0,7$). Sin embargo, un análisis de los diagramas correspondientes a 300.000 horas de registro en 21 secciones de relevadores radioeléctricos contruidos de manera más o menos ajustada a las especificaciones sobre los obstáculos antes citados, efectuado en el Reino Unido [6], no ha revelado caso alguno de desvanecimiento debido a la infrarrefracción. Podría sacarse la conclusión de que la regla prescrita es demasiado prudente. Algunas administraciones exigen que el área despejada corresponda a un radio completo de la zona de Fresnel cuando el radio terrestre ficticio tiene su valor normal de 8.500 km ($k = 1,33$). Esta zona despejada es, por lo general, inferior a la que se exige en Estados Unidos de América y en el Reino Unido.

Si se dispone de estadísticas sobre las condiciones de infrarrefracción, puede reemplazarse eventualmente esta regla elemental por un método más preciso que tenga en cuenta el índice real de infrarrefracción que cabe encontrar en diversas regiones.

- En resumen, se ha demostrado ampliamente que un área libre de obstáculos correspondiente al 60 % de la primera zona de Fresnel, para un radio terrestre ficticio de 4.500 kilómetros es más que suficiente para evitar los desvanecimientos originados por la infrarrefracción. Sin embargo, puede ocurrir que en determinadas circunstancias una zona libre de obstáculos menos importantes sea suficiente, e incluso ventajosa, en terrenos propicios a las reflexiones. De todos modos, no se dispone aún lamentablemente de elementos suficientes para sugerir la medida en que esta superficie de la zona libre de obstáculos podría reducirse con seguridad.

Ahora bien, cabe señalar que, por lo que a la propagación de la onda se refiere, los valores extremos del gradiente del índice de refracción medidos en un punto son menos importantes de lo que pudiera suponerse. Esos valores corresponden a condiciones atmosféricas excepcionales reinantes sobre una distancia probablemente muy corta e inferior, por regla general, a la longitud del enlace radioeléctrico. Por consiguiente, hay que tener en cuenta también la correlación en el espacio de los gradientes del índice de refracción en dos puntos del trayecto, pero esta cuestión no ha sido estudiada suficientemente. Deberá, pues, procederse con suma prudencia al utilizar el gradiente del índice de refracción medio en un solo punto (especialmente los valores extremos).

No obstante, la observación simultánea, en Japón, del ángulo de incidencia en un trayecto de 30 km y del gradiente en una capa de 75 m en el centro del trayecto, ha revelado una concordancia bastante buena entre estas magnitudes durante un mes [7].

Las mediciones del ángulo de llegada hechas en la República Federal de Alemania [8], en la frecuencia de 515 MHz y en un trayecto con visibilidad directa de 70 km, muestran que el valor medio de k a lo largo del trayecto no presenta ninguna zona de variación tan grande como cabía esperar, a juzgar por las observaciones meteorológicas efectuadas en un punto aislado del mismo trayecto.

De las mediciones de refracción hechas en el Reino Unido en un trayecto de 55 kilómetros con visibilidad directa [9] se infiere que el valor efectivo de k excede 0,9 durante el 99,9 % del tiempo.

Mediciones hechas en Italia [10] en un trayecto marítimo de gran longitud (240 kilómetros), en las frecuencias 900 MHz y 2164 MHz, no han dado ningún valor de k inferior a la unidad en los 10 meses que duraron las mediciones (meses que comprendían el más desfavorable).

Se ha demostrado [11] que, para un clima templado continental (véase la fig. 1), se puede determinar un valor mínimo efectivo de k en función de la longitud del trayecto.

2.2 Efectos en la variación del ángulo de llegada.

Una variación del índice de refracción atmosférica puede modificar el ángulo aparente de llegada del rayo directo —sobre todo en el plano vertical— y, por consiguiente, reducir en principio la ganancia de las antenas utilizadas en los extremos del trayecto radioeléctrico.

Mediciones hechas durante un año en el Reino Unido [9], en la frecuencia de 11 GHz y en un trayecto de 55 km, no han revelado ninguna variación superior a ± 7 minutos de arco.

Las mediciones hechas en la República Federal de Alemania [8] en 515 MHz y en un trayecto de 70 km, han dado poco más o menos los mismos resultados.

No obstante, en Estados Unidos de América [12, 13] se han realizado mediciones en un trayecto corto (28 km) y en las frecuencias 4 y 24 GHz, que demuestran que el ángulo de llegada puede sufrir variaciones rápidas de hasta $0,75^\circ$ a uno y otro lado de la línea normal de visibilidad directa. La variación en el plano horizontal suele ser mucho más pequeña, del orden de $0,1^\circ$.

Las variaciones del ángulo de incidencia medidas para varios trayectos radioeléctricos en Japón concuerdan bastante bien con las variaciones previstas según los datos estadísticos radiometeorológicos relativos a ΔN y a $\sigma_{\Delta N}$ en el primer kilómetro de la capa y según el espesor ΔH de la capa por encima de la cual se propagan las ondas radioeléctricas [7].

2.3 Efectos en la propagación por trayectos múltiples.

La propagación por trayectos múltiples se presenta bajo dos aspectos: por reflexión en la tierra o en el mar, y por reflexión o refracción en heterogeneidades de la atmósfera.

En ciertas condiciones, el rayo directo se verá perturbado por las ondas reflejadas en el suelo o por las que siguen trayectos múltiples. Los desvanecimientos más profundos se producen en presencia de dos componentes efectivos del mismo orden de amplitud. Mediciones hechas en Estados Unidos [12] han demostrado que puede haber hasta seis componentes al mismo tiempo.

Las mediciones de propagación por trayectos múltiples efectuadas en Japón [31] muestran que la mayoría de los desvanecimientos profundos se deben a interferencias entre los dos rayos predominantes, y que la diferencia de longitud del trayecto entre estos dos rayos varía considerablemente con las condiciones de propagación. En un trayecto marítimo y en un trayecto terrestre se observaron diferencias máximas de longitud de 2 metros y de 20 cm, respectivamente. La relación de amplitud relativa de los rayos múltiples registró una rápida variación en una amplia gama, lo que dió una densidad de probabilidades de distribución de ΔN casi uniforme. Se ha establecido un método de cálculo de las características de los trayectos múltiples que utiliza las probabilidades de desvanecimiento; este método se ha comprobado experimentalmente.

Si el trayecto pasa por encima de superficies acuáticas y su geometría es de tal naturaleza que el punto de reflexión especular coincide con la superficie del agua, pueden producirse desvanecimientos muy importantes, con mínimos cuyo valor puede ser a veces inferior al calculado con el modelo de dos rayos. Este comportamiento puede representarse por un modelo en el que se tengan en cuenta las ondas secundarias, además de las dos ondas primarias [14]. Si no es posible evitar tal trayecto se puede recurrir a la diversidad en altura o en frecuencia para aminorar los desvanecimientos. Por otro lado, se ha observado que se puede establecer el trayecto de modo que el punto de reflexión en la superficie acuática quede enmascarado por el terreno para uno u otro de los extremos del trayecto incluso si la superficie acuática es visible desde los dos extremos, lo que permite reducir los desvanecimientos en proporciones apreciables. No obstante, los experimentos efectuados en un trayecto de 80 km de longitud que pasaba por encima del agua [15] han demostrado que es muy difícil realizar la transmisión de señales complejas (televisión en color, por ejemplo) si la superficie acuática no es totalmente invisible desde uno de los extremos por lo menos.

En condiciones normales y en trayectos marítimos o terrestres que comprendan relativamente pocas irregularidades, cabe esperar que una parte de la onda reflejada en tierra se disperse fuera del trayecto de propagación [16]. No obstante, en condiciones de superrefracción atmosférica y cuando la Tierra parece cóncava, la onda reflejada se refuerza debido a la convergencia de los rayos asociados.

En la República Federal de Alemania [19] se han hecho experimentos que han demostrado que puede producirse una reflexión total en una capa atmosférica próxima al suelo, capa que por lo general está ligada a la presencia de bruma o de niebla sobre valles húmedos o de regiones pantanosas. Los estudios anteriores efectuados en el Reino Unido [18] muestran también la existencia de una correlación entre los desvanecimientos y la niebla baja.

Los desvanecimientos debidos a la propagación por trayectos múltiples causada por la formación de capas en la atmósfera, tienen una frecuencia de aparición y una duración

que guardan relación en el tiempo con la estructura del índice de refracción; dicho de otro modo, las peores condiciones de propagación se producen durante los períodos de extrema estratificación de la atmósfera. En los climas templados y por encima de los trayectos terrestres, esas condiciones se producen normalmente por la noche y durante las primeras horas de la mañana en verano.

También se han observado variaciones rápidas del índice de refracción a varias decenas de metros de altura sobre la superficie de la Tierra, que pueden deberse a fenómenos de propagación por trayectos múltiples. [19].

3. Estadísticas de los desvanecimientos.

El estudio, en el Reino Unido [6], de 27 secciones de relevadores radioeléctricos (longitud de las secciones inferiores a 100 km) ha demostrado que, en primera aproximación la profundidad de los desvanecimientos con relación al nivel de la señal en el espacio libre, excedida durante un pequeño porcentaje de tiempo, depende de la longitud del trayecto y de la naturaleza del terreno atravesado y muy poco de la frecuencia en la gama comprendida entre 2 y 6 GHz.

En cambio, en los trabajos efectuados en Francia [27] en trayectos de más de 100 kilómetros, se ha visto que el desvanecimiento depende en escasa medida de la naturaleza del terreno y bastante más de la frecuencia utilizada.

Se ha observado que los resultados obtenidos en el Reino Unido y en Francia concuerdan bastante bien, si se tiene en cuenta que las longitudes de los trayectos respectivos diferían considerablemente. Los constructores de sistemas de relevadores radioeléctricos europeos pueden encontrar en la fig. 2, a título de indicación, curvas provisionales fundadas en los resultados obtenidos en el Reino Unido y en Francia. Estas curvas dan la distribución de las profundidades de desvanecimiento durante el mes más desfavorable, con relación a los valores en el espacio libre, para diversas longitudes de trayecto por un terreno medio, y en las condiciones de clima del noroeste de Europa. La frecuencia utilizada es de 4 GHz. En estas circunstancias, las curvas corresponden a los datos originales con una desviación estándar de unos 4 dB. Conviene ser sumamente prudente si se desea aplicar estas curvas provisionales en condiciones distintas de clima, terreno u obstáculos del trayecto.

Las correcciones en primera aproximación para las distintas frecuencias son las siguientes: en 2 GHz la profundidad de los desvanecimientos excedidos durante el 1 % del tiempo es inferior a la que da la fig. 2, en un valor que varía de 0,5 dB para 50 kilómetros a 5 dB para 250 km; en 6 GHz, la profundidad del desvanecimiento excedida durante el 1 % del tiempo es superior a la de la fig. 2, en un valor que va de 1 dB, aproximadamente, para 50 km, a 6 dB para 250 km.

En trayectos de menos de 100 km, por encima de un terreno bastante regular, la profundidad del desvanecimiento excedida durante el 0,01 % del tiempo viene a ser unos 6 dB superior a la indicada en la fig. 2. Cuando el trayecto pasa por encima de superficies acuáticas, de valles húmedos o de regiones pantanosas, la profundidad de los desvanecimientos puede ser 12 dB superior a la indicada en la fig. 2. Las observaciones efectuadas en un trayecto de 100 km, utilizando una frecuencia de 6 GHz, han demostrado que incluso en un trayecto muy accidentado se produce un desvanecimiento considerable.

En la U. R. S. S. se ha desarrollado un método para el cálculo de la distribución estadística, de la profundidad de los desvanecimientos en función de la longitud del trayecto, del perfil del terreno, del clima, de la altura de la antena y de la frecuencia [46].

Mediciones efectuadas cerca de Dresden en un trayecto de 56 km de longitud [37], han demostrado que, en la región interesada, había poca diferencia en el desvanecimiento en 8 y en 11 GHz. La profundidad de desvanecimiento en 11 GHz entre 50 y 99,9 %, alcanzó anualmente un promedio de 24 dB. Este valor fue de unos 21 dB en 8 GHz. La diversidad en frecuencia en 11 GHz utilizando una separación de 240 MHz sólo proporcionó una mejora de 5 dB para el 99,9 % del tiempo. Las variaciones diarias y estacionales del desvanecimiento son similares a las que se experimentan en frecuencias más bajas. El máximo desvanecimiento causado por chubascos de verano se produjo sobre todo a última hora de la tarde. El análisis de la intensidad de la lluvia en las dos estaciones de medida de las precipitaciones situadas a una distancia de 50 km muestra distribuciones muy similares.

El grado de coincidencia entre los aumentos del nivel de ruido horario medio imputable a los desvanecimientos en un trayecto y los aumentos en otro trayecto del mismo sistema es un problema de considerable interés para los constructores de sistemas. Mediciones hechas en el Reino Unido [20] indican que, para calcular las características de los sistemas de relevadores radioeléctricos, en lo que respecta a la media horaria del ruido, está poco justificada la suposición de que las horas malas se producen simultáneamente en todos los trayectos.

Para la construcción de sistemas de relevadores radioeléctricos conformes con las Recomendaciones del C. C. I. R. es necesario determinar la probabilidad de aparición de los desvanecimientos profundos durante muy pequeños porcentajes de tiempo (0,0002 % aproximadamente, por ejemplo, para un tramo medio de 50 km). Para vencer la dificultad que pudiera encontrarse en la evaluación de la profundidad de los desvanecimientos para porcentajes de tiempo tan reducidos se ha realizado en el Japón un método basado en la probabilidad de aparición de desvanecimientos de tipo Rayleigh [35]. En dicho país, el estudio de un gran número de enlaces ha demostrado que la probabilidad, P_R , de desvanecimientos de tipo Rayleigh para trayectos con visibilidad directa y con una reflexión despreciable en la superficie terrestre, viene dada por la fórmula empírica indicada a continuación:

$$P_R = K \cdot Q \cdot (f/4)^{1,2} \times d^{3,5}$$

$$K = 5,1 \times 10^{-9}$$

$$Q = 0,4 \text{ (por encima de las montañas)}$$

$$= 1,0 \text{ (por encima de las llanuras)}$$

$$= 72/\sqrt{h}, \quad h = (h_1 + h_2)/2 \text{ (por encima del mar o del litoral)}$$

$$f = \text{frecuencia (GHz)} \quad d = \text{longitud del trayecto (km)}$$

La probabilidad de que un ruido impulsivo en el enlace por efecto de desvanecimientos profundos exceda un valor de N puede calcularse por la expresión:

$$P_R (N_0/N),$$

en la que N_0 representa el ruido térmico de la propagación en espacio libre [36].

4. Recepción por diversidad.

La propagación por trayectos múltiples da lugar a desvanecimientos máximos cuando se trata de dos componentes efectivos con la misma intensidad. Estos desvanecimientos pueden reducirse recurriendo a sistemas de recepción por diversidad (por ejemplo, diversidad de frecuencia o diversidad en el espacio). Funcionan ya de manera totalmente satisfactoria [23, 24, 25], sistemas de relevadores radioeléctricos provistos de equipo para la recepción por diversidad, que pueden hacer frente a este tipo de desvanecimientos.

En los trayectos cortos sobre el agua, los efectos de la diversidad en el espacio pueden representarse por un modelo de dos rayos. En los trayectos largos, puede ser necesario emplear la recepción por diversidad tanto sobre la Tierra como sobre el agua, aunque el modelo de dos rayos no sea ya aplicable. Se han desarrollado técnicas para determinar la distancia entre las antenas o la separación necesaria entre las frecuencias para asegurar una protección por diversidad contra los desvanecimientos profundos. Las técnicas [25, 1] fundadas en un modelo de dos rayos y que tienen en cuenta la variación medida del gradiente del índice de refracción a proximidad de la superficie terrestre, suponen que la señal recibida se compone de una onda directa y de una onda reflejada de amplitudes aproximadamente iguales, pero cuya fase varía en función del gradiente del índice de refracción. En Japón se ha desarrollado y verificado experimentalmente una técnica aplicable a la transmisión por trayectos múltiples en la atmósfera [26].

De los estudios hechos en la República Federal de Alemania se desprende que la diversidad con antenas espaciadas verticalmente 50 longitudes de onda permite reducir los desvanecimientos debidos a la propagación por trayectos múltiples, pero los estudios realizados en Francia [7] y en Italia [10] muestran que conviene utilizar una separación de 150 longitudes de onda. Las mediciones efectuadas a través del Canal de la Mancha en 4 GHz muestran que estas separaciones son insuficientes cuando se produce un desenfoque de la señal y puede ser necesario utilizar separaciones verticales de antena de 700 a 1400 longitudes de onda. En Italia se han efectuado estudios en cuatro trayectos distintos, y se ha comprobado que para trayectos de longitud superior a 100 km, la mejora por diversidad en el espacio es prácticamente la misma que se puede esperar con señales sin correlación.

En Italia [10] se han efectuado mediciones en un trayecto marítimo de gran longitud para estudiar la eficacia de la diversidad en el espacio desde el punto de vista de la calidad de la señal transmitida. Estas mediciones han demostrado que un sistema de diversidad en el espacio por conmutación, controlado por el campo recibido, puede tener suficiente eficacia para mejorar la recepción, sobre todo en los periodos en que se producen desvanecimientos profundos.

Se han efectuado medidas por diversidad de frecuencia en 2,5 GHz en la República Federal de Alemania y en 2 GHz en Italia [17, 14], habiéndose comprobado que en trayectos de 50 a 70 km de longitud es necesaria una separación de frecuencia de 150 a 200 MHz para una diversidad eficaz, pero que en los trayectos de 120 km de longitud puede reducirse la separación de frecuencia a 80 MHz.

Las mediciones efectuadas por la Administración francesa, en la República Federal del Camerún, en un trayecto de 106 km de longitud y en una frecuencia de 6 GHz, han revelado que se puede reducir la correlación entre las señales recibidas con dos antenas dispuestas de modo que una de ellas esté apuntada ligeramente por encima del trayecto directo y constituya así, un sistema de diversidad angular.

Como consecuencia de las numerosas mediciones experimentales realizadas por varias administraciones [27, 28, 29] se han trazado las curvas de la fig. 3 [11] que dan la mejora obtenida por la diversidad en el espacio o en frecuencia. Estas curvas son válidas para el mes más desfavorable, en que los desvanecimientos en el enlace son considerables, y para frecuencias comprendidas entre 2 y 10 GHz aproximadamente. En frecuencias inferiores es probable que la mejora aumente algo. Para la diversidad en el espacio, la separación vertical entre las antenas se supone superior a unas 150 longitudes de onda.

En Estados Unidos [33, 34], se han realizado mediciones para comparar la eficacia de la diversidad de frecuencia y de la diversidad en el espacio. Dichas mediciones han puesto de relieve que los procedimientos actuales de diseño aplicables a trayectos de propagación sobre el agua y por terreno regular no son apropiados, en general, para aplicarlos a trayectos sobre terreno irregular.

5. Ruido de intermodulación debido a la propagación por trayectos múltiples.

La propagación por trayectos múltiples en la atmósfera es la que origina una parte del ruido térmico y del ruido de intermodulación que se producen en un sistema de modulación de frecuencia. En el Reino Unido se ha medido, durante un largo periodo, la amplitud y el tiempo de propagación de señales transmitidas por trayectos múltiples; estas mediciones se hicieron en 4 GHz [30] en un trayecto de 55 km y en 11 GHz [20] en un trayecto de 58 km, y han mostrado la poca importancia que puede tener el ruido de intermodulación así producido en un sistema telefónico de menos de 600 canales. Es posible que la importancia sea mayor en otros trayectos y en climas distintos a los que imperan en el Reino Unido.

Estudios teóricos y experimentales realizados en Japón [31] han revelado que las reflexiones en el suelo pueden dar una distribución del ruido total más favorable que la proveniente del ruido térmico únicamente, incluso en trayectos de propagación que comprenden pocas reflexiones en el suelo.

En Japón se ha desarrollado un método estadístico para calcular la distorsión causada por la interferencia entre dos rayos, método que se ha confirmado mediante expe-

rimentos con carga de ruido en el trayecto de propagación. Según estos experimentos la influencia de la distorsión debida únicamente a la propagación atmosférica por trayectos múltiples no es muy grande en un sistema de relevadores radioeléctricos con capacidad para 2700 canales telefónicos y una desviación de frecuencias de 100 kHz por canal.

En Suecia [47] se ha desarrollado un método para calcular la distorsión cuando en la señal recibida están presentes simultáneamente varios o numerosos componentes con fases de igual probabilidad ($0 - 2\pi$).

En Francia, las mediciones llevadas a cabo en un trayecto de 95 km, con un sistema de relevadores radioeléctricos de 1800 canales en 6 GHz, han demostrado que el ruido de intermodulación debido a los efectos de propagación era de escasa importancia [49].

6. Información adicional relativa a frecuencias superiores a 10 GHz *.

La propagación de las microondas a través de la atmósfera es atenuada por la lluvia, el granizo, la nieve y el vapor de agua. Los efectos de atenuación de la lluvia, si bien son pequeños en la parte inferior de la gama de las microondas, cobran más importancia en frecuencias superiores a 10 GHz. Así, en Japón [38] se ha observado que una lluvia uniforme de 100 mm/h, produce una atenuación adicional de unos 7 dB/km en 15,4 GHz. También se ha observado, en un trayecto de 15 km de longitud, una atenuación de 49 dB debida a precipitaciones del orden de 72 mm/h. En Estados Unidos de América [39] se ha observado un aumento de la atenuación superior a 22 dB/km, en 18 GHz, debida a una lluvia uniforme de 100 mm/h. En estas condiciones, es imposible, de toda evidencia, asegurar la transmisión por trayectos de longitud superior a algunos kilómetros. Sin embargo, recientes mediciones han demostrado que las distribuciones temporales y espaciales de lluvias de esta intensidad son muy limitadas. No obstante, para que los relevadores radioeléctricos que funcionan en esas frecuencias tengan un elevado grado de confiabilidad, es necesario prever tramos de corta longitud [40, 41]. El aumento de la atenuación se debe principalmente a la lluvia, pero también hay que tener en cuenta la atenuación producida por el vapor de agua y la niebla.

Mediciones efectuadas en el Reino Unido a lo largo de seis trayectos, en 11 GHz [20, 9], muestran que, si bien los desvanecimientos en esta frecuencia son más profundos que en 4 y 6 GHz, los desvanecimientos en 11 GHz a causa de las precipitaciones no crean grandes dificultades tanto desde el punto de vista anual como desde el mensual; pero no ocurre forzosamente lo mismo en los países de clima distinto. Estudios realizados en Japón [21] indican que, en las regiones lluviosas, la atenuación causada por la lluvia tiene una importancia decisiva en las frecuencias superiores a unos 10 GHz. En Japón y en otros países se han establecido métodos para calcular la atenuación debida a la lluvia, a base de datos de observaciones obtenidos por estaciones meteorológicas; estos datos muestran que se debe tener en cuenta la distribución no uniforme de las precipitaciones en el espacio. En Canadá se han efectuado mediciones en 15 GHz, en un trayecto de 16 km [22], que han revelado considerables desvanecimientos suplementarios a causa de la lluvia. Además, es muy posible que las caídas de aguanieve influyan también en los desvanecimientos [20].

En el cuadro se indican las mediciones comparativas [45] realizadas en el sur del Reino Unido sobre los desvanecimientos causados por las precipitaciones en un trayecto de 24 km, en las tres frecuencias de 11, 18 y 36 GHz.

Los cálculos basados en trabajos realizados en los Estados Unidos [44] demuestran que en el Reino Unido [42, 43] en una frecuencia de 100 GHz, utilizada en un enlace de modulación por impulsos codificados, de 2 km de longitud, sería adecuado un valor de 20 microvatios, excepto en el caso de lluvias de intensidad superior a 25 mm/h, que se producen el 0,008 % del tiempo. Sin embargo, en un enlace de 6 km de longitud, un valor de confiabilidad del 99,99 % requeriría una potencia de transmisión de unos 5 vatios, en el supuesto de que las características del receptor fueran las mismas.

* Véase también el Informe 234-2, que contiene, además, información concerniente al diseño de relevadores radioeléctricos de visibilidad directa.

Aunque estos resultados deben considerarse como provisionales en espera de información más detallada sobre las características de las precipitaciones muy intensas, proporcionan una indicación acerca de la viabilidad de sistemas prácticos.

Para desvanecimientos debidos al centelleo y con antenas parabólicas cuyo diámetro puede ser de varios metros, se considera que el orden de magnitud de las fluctuaciones cresta a cresta, que a veces se producen en enlaces terrenales con terminales situados a 10 o 20 metros de altura, es el siguiente:

en 100 GHz: ± 1 dB en 2 km; ± 5 dB en 10 km;

en 35 GHz: ± 3 dB en 10 km; ± 8 dB en 50 km.

En el estudio de ciertos problemas (por ejemplo, el cálculo de la disminución de la ganancia en las grandes antenas), a menudo hay que hacer un cálculo de las diferencias de fase que pueden producirse en el frente de la onda. También pueden hacerse cálculos basándose en la teoría, y suponiendo ciertos modelos de perfiles del índice de refracción. Con una separación de 6 m se estima que, para pequeños porcentajes de tiempo, el valor eficaz de la diferencia de fase en el frente de la onda, en los enlaces terrenales (sistemas de relevadores radioeléctricos), puede llegar a los siguientes valores:

en 100 GHz: 30° en 2 km; 70° en 10 km;

en 35 GHz: 25° en 10 km; 55° en 50 km.

Aunque los resultados indicados están basados en gran parte en consideraciones teóricas, concuerdan bastante bien con los pocos resultados experimentales de que se dispone. No obstante, conviene utilizarlos con prudencia mientras no se hayan efectuado estudios teóricos y experimentales más completos.

7. Conclusiones.

Las indicaciones precedentes pueden servir de normas generales para los constructores de sistemas de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa. Aunque estén fundadas en gran número de datos, todavía no se pueden dar normas más precisas; de ahí que convenga ser prudente al utilizar el presente Informe. En particular no es posible determinar con precisión las consecuencias de una reducción importante del espacio libre de obstáculos del trayecto con relación a los valores deducidos de la sencilla regla que se da en el § 2.1.

CUADRO I

Profundidad del desvanecimiento (dB) excedida durante el porcentaje de tiempo indicado

GHz	Todo el año				Mes más desfavorable			
	0,001	0,01	0,1	1,0	0,001	0,01	0,1	1,0
11	15	8	2	0	24	14	1	0
18	34	18	7	2	> 50	26	7	0
36	> 50	> 50	38	9	> 50	> 50	> 50	31

BIBLIOGRAFÍA

1. NORTON, K. A.; HUFFORD, G. A.; DOUGHERTY, H. T., y WILKERSON, R. E.: Diversity design for within-the-horizon radio-relay systems. *NBS, Report 8787* (1965).
2. C. C. I. R.: Doc. V/8 (Francia), 1963-1966.
3. C. C. I. R.: Doc. V/20 (Japón), 1966-1969.
4. C. C. I. R.: Doc. V/12 (Reino Unido), 1966-1969.
5. KALININ, A. I.: Cálculo de relevadores radioeléctricos (en ruso). *Sviáz*, Moscú, 128-135 (1964).
6. C. C. I. R.: Doc. V/11 (Reino Unido), 1963-1966.
7. IKEGAMI, F.; AKIYAMA, T.; AOYAGI, S., y YOSHIDA, H.: Variation of radio refraction in the lower atmosphere. *IEEE Trans.*, Vol. AP-16, 3, (marzo de 1968).
8. C. C. I. R.: Doc. V/3 (República Federal de Alemania), 1966-1969.
9. BELL, J.: Propagation measurements at 3, 6 and 11 GHz over a line-of-sight radio path. *Proc. I. E. E.*, 114, 5, 545 (1967).
10. C. C. I. R.: Doc. V/53 (Italia), 1966-1969.
11. BOITHIAS, L., y BATTISTI, J.: Nouvelles expérimentations sur la baisse de gain d'antenne dans les liaisons transhorizon. *Annales des Télécommunications* (noviembre-diciembre de 1967).
12. CRAWFORD, A. B. y JAKES, W. C.: Selective fading of microwaves. *B. S. T. J.*, 68-90 (1952).
13. SHARPLESS, W. M.: Measurements of the angle of arrival of microwaves. *Proc. I. R. E.*, Vol. 34, 837-845 (noviembre de 1946).
14. C. C. I. R.: Doc. V/106 (Italia), 1963-1966.
15. GIUGLIARELLI, G.: On the influence of oversea propagation on the transmission of colour television signals. *E. B. U. Review*, 90-A, Technical (april, 1965).
16. RICE, P. L.; LONGLEY, A. G.; NORTON, K. A., y BARSIS, A. P.: Transmission loss predictions for tropospheric communication circuits. *NBS Technical Note 101* (1965).
17. C. C. I. R.: Doc. V/23 (Japón), 1963-1966.
18. SMITH-ROSE, R. L., y STICKLAND, A. C.: An experimental study of the effect of meteorological conditions upon the propagation of centimetre radio waves. Meteorological factors in radio wave propagation, published by the Physical Society (1946).
19. FEHLHABER, L., y GROSSKOPF, J.: Zur Deutung der Schwunderscheinungen auf Sichtstrecken im dm und cm Wellenbereich (Contribución para la explicación del fenómeno de desvanecimiento en radioenlaces con visibilidad directa en las bandas de ondas decimétricas y centimétricas). *Technischer Bericht No 5578 of Fernmeldetechnisches Zentralamt of Deutsche Bundespost* (1.º de abril de 1965).
20. TURNER, D., y otros: Experimental investigation into radio propagation at 11.0-11.5 GHz. *Proc. I. E. E.*, 113, 9, 1477 (1966).
21. UGAI, S., y KAMEDA, Y.: Statistical evaluation of microwave attenuation due to rain cells. *Rev. of th E. C. L.*, Vol. 11, 5-6 (mayo-junio de 1963).
22. BLEVIS, B. C.; DOHOO, R. M., y MACCORMICK, K. S.: Measurements of rainfall attenuation at 8 and 15 GHz. *IEEE Trans.*, AP-15, 394-403 (1967).
23. ALBERTSON, J. N.: Space diversity on the microwave system of the Southern Pacific. *Wire Radio Commun.* 83-87 (noviembre de 1964).
24. CABESSA, R.: Réalisation de liaisons par faisceaux hertziens de qualité sur des trajets maritimes en Grèce. *L'Onde Electrique*, 35, 714-727 (1955).
25. LEWIN, L.: Diversity reception and automatic phase correction. *Proc. I. E. E.*, 109 B, 295-304 (1962).
26. C. C. I. R.: Doc. V/102 (Japón), 1963-1966.
27. BATTISTI, J., y BOITHIAS, L.: Etude des sections longues dans les faisceaux hertziens en visibilité. *Annales des Télécommunications* (julio-agosto de 1964).
28. MAKINO, M., y MORITA, K.: The space diversity reception and transmission systems for line-of-sight microwave links. *Rev. Electr. Commun. Lab. Jap.* (enero-febrero de 1965).
29. KAYLOR, R. L.: A statistical study of selective fadings of S. W. F. radio signals. *B. S. T. J.* (septiembre de 1953).

30. MEADOWS, R. W., y otros: Measurement of multipath propagation over a line-of-sight radio link at 4 GHz using frequency-sweep technique. *Proc. I. E. E.*, 113, 1, 41 (1966).
31. NOMURA y otros: Distortion due to fading in high-capacity FDM-FM transmission. *Electronic and Electrical Communications in Japan*, Vol. 50, 6 (1967).
32. KINASE, A., y otros: Oversea propagation statistics of the UHF band within-the-horizon and VHF band beyond-the-horizon. *NHK Tech. Jour.*, 19, 7 (1967).
KINASE, A., y otros: Statistical characteristics of field strength variation on the UHF and VHF bands. *NHK Tech. Jour.*, 19, 4 (1967).
33. MCGAVIN, R. E., y otros: Microwave diversity over irregular terrain. *ESSA Technical Memorandum ERLTM-WPL3* (diciembre de 1968).
34. SKERJANEC, R. E., y otros: Space and frequency diversity measurements on a line-of-sight path in Ohio. *ESSA Technical Memorandum ERLTM-ITS 145* (octubre de 1968).
35. MORITA, K., y KAKITA, K.: Fading in microwave relays. *Rev. of E. C. L.*, 6, 9, 352-357 (1958).
36. MAKINO, H., y MORITA, K.: Design of space diversity receiving and transmitting systems for line-of-sight microwave links. *IEEE Trans.*, CT-15, 4, 603-614 (agosto de 1967).
37. C. C. I. R.: Doc. V/139 (O. I. R. T.), 1966-1969.
38. TAKADA, M., y otros: SF-F2 short-haul radio-relay system in the 15 GHz. *Review of the Electrical Communication Laboratory, N. T. T.*, 16, 613-641, (julio-agosto de 1968).
39. HOGG, D. C.: Millimetre wave communication through the atmosphere. *Science*, 159, 3810, 39-46.
40. HICKIN, E. M.: 18 GHz Propagation. I. E. E. Conference on Tropospheric Wave Propagation, Londres (septiembre-octubre de 1968).
41. HARROLD, T. W.: Attenuation of 8.6 mm-wavelength radiation in rain. *Proc. I. E. E.*, 114, 201 (1967).
42. LANE, J. A.: Scintillation and absorption fading on line-of-sight links at 35 and 100 GHz. *I. E. E. Conference Publication No. 48, Tropospheric wave propagation*, I. E. E., Londres, 166 (1968).
43. C. C. I. R.: Doc. V/1 (Reino Unido), 1966-1969.
44. WEIBEL, G. E., y DRESSEL, H. O.: Propagation studies in millimetre-wave link systems. *Proc. IEEE*, 55, 497 (1967).
45. C. C. I. R.: Doc. IX/164 (Reino Unido), 1966-1969.
46. C. C. I. R.: Doc. V/196 (U. R. S. S.), 1963-1966.
47. RUE, O.: Investigation of intermodulation noise due to multipath reception in high capacity microwave links, Central Administration of Swedish Telecommunications Report 170 (1968).
48. DOUGHERTY, H. T.: A survey of microwave fading mechanisms, remedies, and applications. *ESSA Techn. Rept. ERL 69-WPL 4* (1968).
49. C. C. I. R.: Doc. IX/186 (Francia), 1966-1969.
50. KINASE, A., e ITO, S.: UHF space diversity statistics on a long line-of-sight oversea path diversity efficiency. *NHK Tech. Jour.*, 21, 2 (1969).

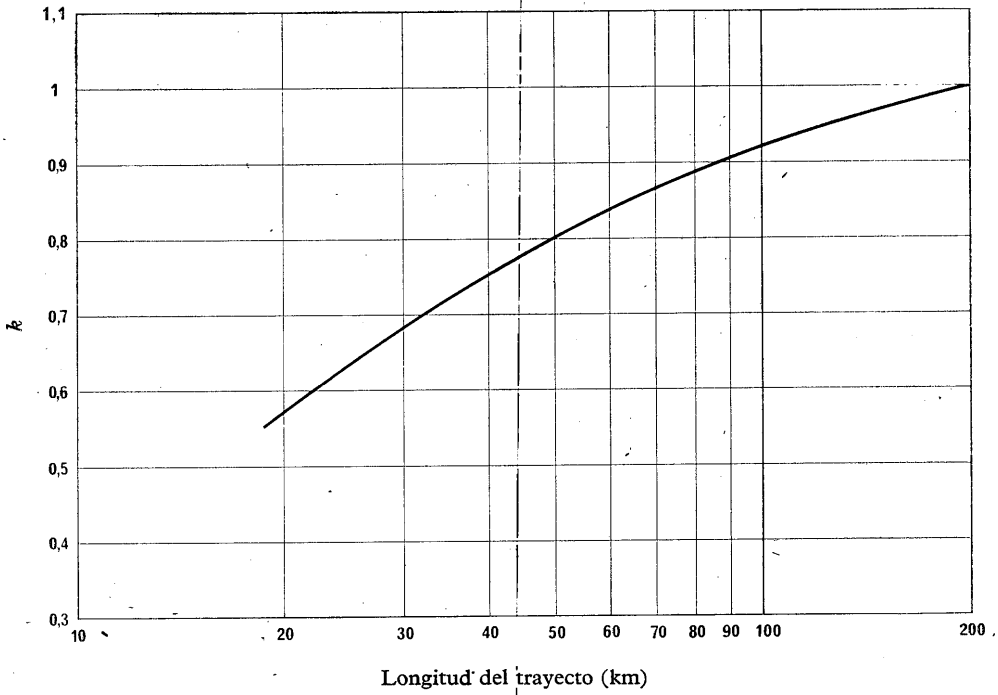
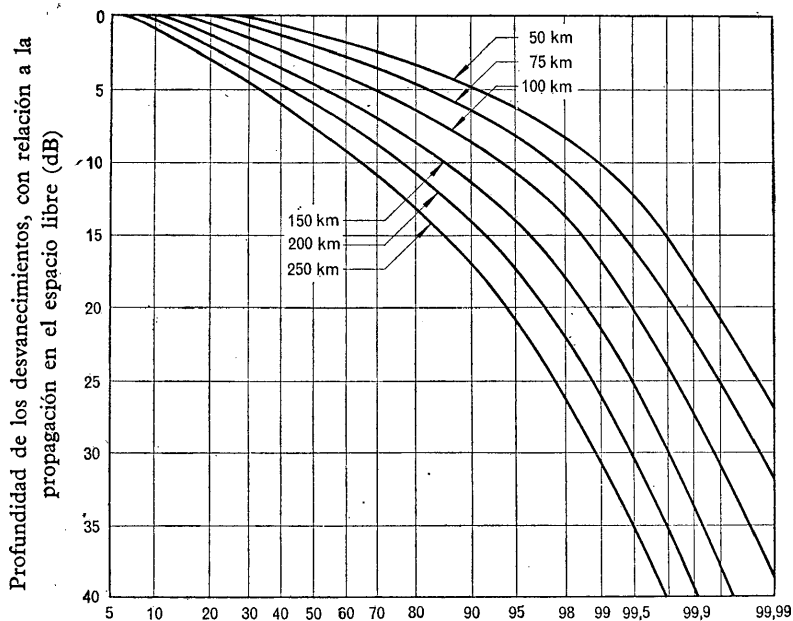


FIGURA 1

*Valor mínimo de k excedido aproximadamente durante el 99,9 % del tiempo
(clima templado continental)*



Porcentaje de tiempo en que no se excede la profundidad de los desvanecimientos

FIGURA 2

Curvas provisionales de la profundidad de los desvanecimientos no excedida durante un determinado porcentaje del mes menos favorable: 4 GHz; terreno medianamente ondulado; noroeste de Europa

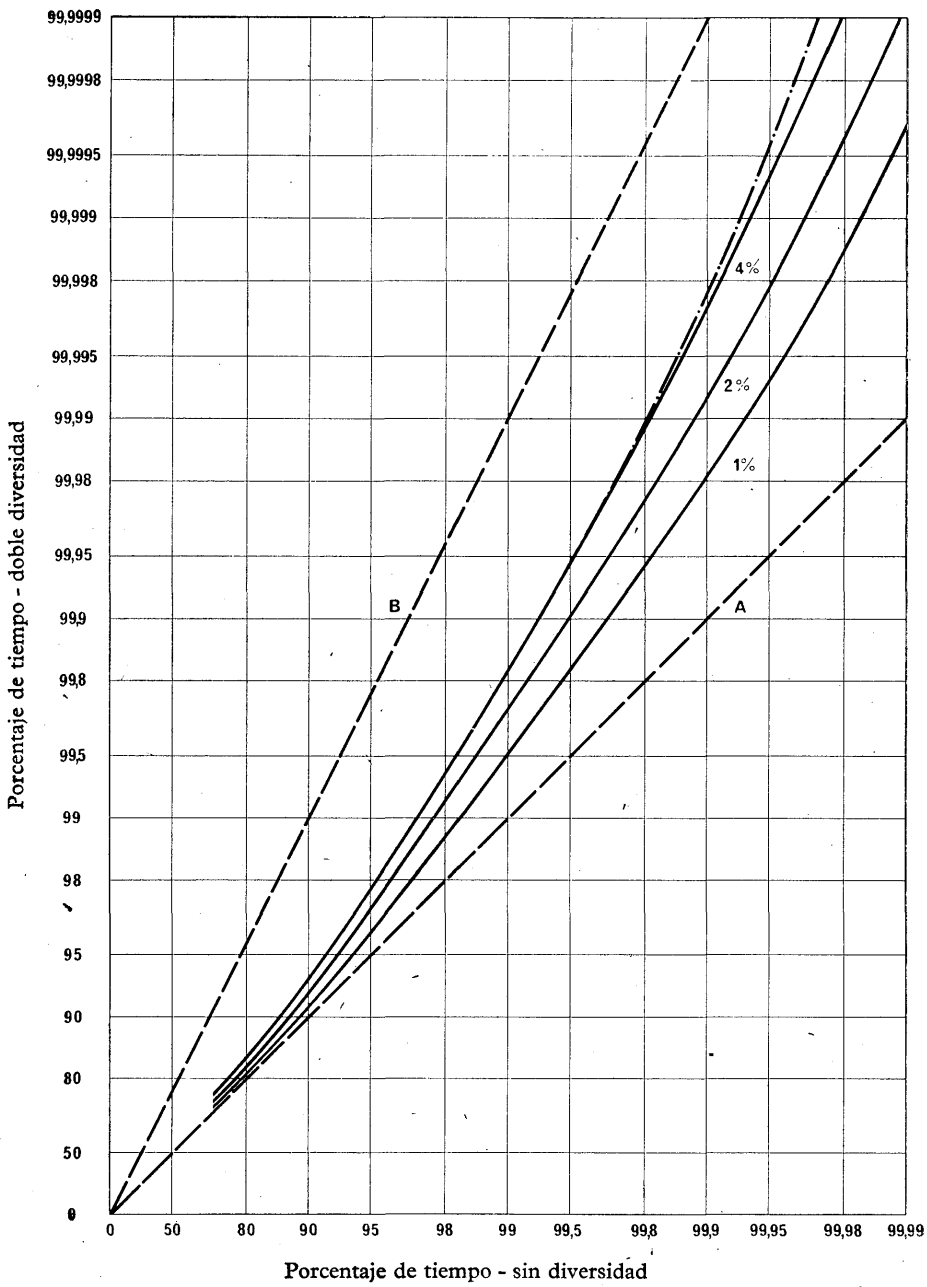


FIGURA 3

Curva A: Curva límite sin diversidad.

Curva B: Curva límite con doble diversidad.

— Diversidad de frecuencia con $\Delta F/F = 1\%$, 2% y 4%

— Diversidad en el espacio.

INFORME 424 *

**CURVAS DE PROPAGACIÓN DE ONDAS MÉTRICAS, DECIMÉTRICAS
Y CENTIMÉTRICAS PARA EL SERVICIO MÓVIL AERONÁUTICO**

(Programa de estudios 7A/5)

(1970)

1. Introducción.

El rápido y constante desarrollo de la aviación ha estimulado al C. C. I. R. a guiar a los ingenieros encargados de planificar las radiocomunicaciones del servicio móvil aeronáutico en las distintas bandas de frecuencias atribuidas a este servicio. Las curvas de propagación de la Recomendación 370-1 no responden a las necesidades del servicio móvil aeronáutico, debido a las mayores alturas de las antenas y las frecuencias más elevadas. El presente Informe contiene nuevas curvas especialmente trazadas para las necesidades de este servicio, y propone que las administraciones las apliquen y vean la medida en que pueden utilizarse para determinar, en los estudios sobre las interferencias, los valores de la relación señal deseada/señal interferente. Mediante una separación geográfica juiciosa de las estaciones aeronáuticas en el suelo, pueden evitarse razonablemente las interferencias de que son objeto esas estaciones o las de aeronave que funcionan en un mismo canal o en canales adyacentes. El empleo de las curvas anexas al presente Informe permite resolver fácilmente este problema. Convendría que las administraciones que estudien estas curvas sometan una recomendación al respecto en una futura asamblea.

2. Elaboración de las curvas.

Las curvas constituyen un análisis resumido de varios millares de registros de estaciones del servicio móvil y de numerosos valores medianos a largo plazo de pérdida de transmisión. Para calcular los valores medianos a largo plazo de la pérdida de transmisión de referencia, se han utilizado los métodos descritos en [1]. Se ha supuesto que la superficie de la Tierra es regular y que el coeficiente de su radio equivalente es de $4/3$. Las estadísticas utilizadas para los desvanecimientos de potencia a largo plazo corresponden a un clima continental templado (véase el Informe 244-2).

A excepción de una zona «próxima» del horizonte radioeléctrico, se han obtenido los valores de la pérdida de transmisión para los trayectos «dentro del horizonte» agregando la atenuación debida a la absorción atmosférica (en decibelios) a la pérdida de transmisión correspondiente a las condiciones en el espacio libre. Para la zona «próxima» del horizonte radioeléctrico, se han calculado los valores de pérdida de transmisión según las leyes de la óptica geométrica, a fin de tener en cuenta la interferencia entre el rayo directo y un rayo reflejado en la superficie de la Tierra. Uniendo los segmentos de las curvas obtenidas por estos dos métodos, se ha constituido una curva que indica la pérdida de transmisión en su crecimiento uniforme con la distancia.

En ningún caso los valores de pérdida deducidos de las curvas son inferiores a los correspondientes a una transmisión en el espacio libre. No se ha utilizado exclusivamente el modelo de interferencia de dos rayos para los cálculos «dentro del horizonte» debido a que la forma lobulada resultante de este modelo para los trayectos cortos depende mucho de las características de la superficie del suelo (tanto de su irregularidad como de sus constantes eléctricas), de las condiciones atmosféricas (el radio ficticio de la Tierra varía con el tiempo), y de las características de la antena (polarización, orientación y diagrama de directividad). Las curvas así obtenidas, en lugar de ser útiles, conducirían a errores, ya que los detalles de la forma lobulada están muy sujetos a la influencia de parámetros difíciles de determinar con exactitud suficiente.

* Adoptado por unanimidad.

3. Descripción de las curvas.

Las curvas son objeto de las figs. 1 a 5. Conviene señalar:

- 3.1 Las figs. 1 a 5 indican los valores medianos de la pérdida de transmisión de referencia L_r para las frecuencias 125, 300, 1600, 5100 y 15 500 MHz.
- 3.2 Dichas figuras indican una media de la diferencia entre el caso de la polarización horizontal y el de la polarización vertical, tanto para un suelo medio como para el trayecto marítimo. La diferencia sólo se percibe en la frecuencia 125 MHz y para alturas de antena de 15 m y 15 m, no excediendo de ± 2 dB.
- 3.3 Siendo la milla marina una unidad de longitud corrientemente utilizada en aviación para expresar distancias, el eje de abscisas se ha graduado en millas marinas (con una escala auxiliar en kilómetros). En forma similar las alturas de antenas se dan básicamente en pies con sus equivalentes en metros.
- 3.4 Las alturas de antena indicadas en la parte superior de las figuras van de 15 a 18.300 metros (50 a 6000 pies) (se trata lo mismo de estaciones en el suelo que de aeronaves en vuelo). En el § 2 del Informe 239-2 se indica el procedimiento que debe emplearse para interpolar las alturas de antenas dadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. RICE, P. L.; LONGLEY, A. G.; NORTON, K. A., y BARSIS, A. P.: Transmission loss predictions for tropospheric communications circuits. Vol. I & II. *NBS Technical Note 101* (revisión de 1967)

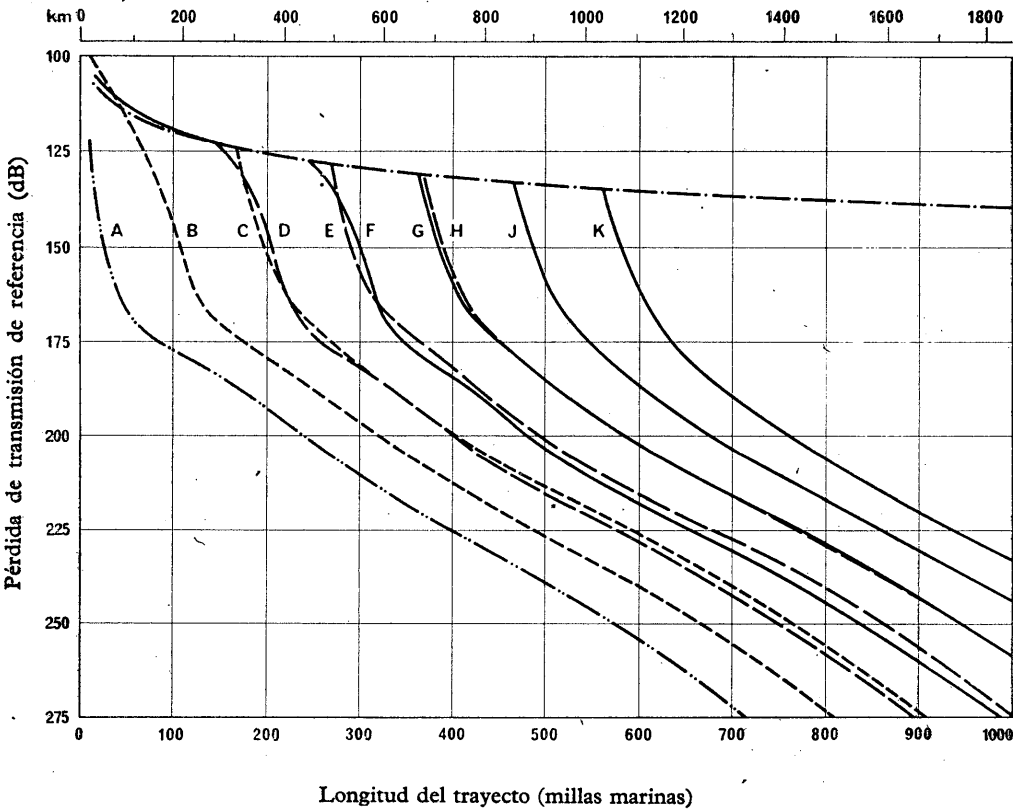


FIGURA 1
Valores medianos a largo plazo de la pérdida de transmisión de referencia,
clima continental templado

$N_s = 301$ ($d = 4/3$), $\Delta h = 0$, antenas isotropas, alturas H_1 y H_2 en los dos extremos, según se ha indicado

Frecuencia: 125 MHz

H_1					
	m	pies		m	pies
A	15,2	50	F	15,2	50
B	15,2	50	G	1.524	5.000
C	1.524	5.000	H	7.620	25.000
D	15,2	50	J	7.620	25.000
E	1.524	5.000	K	18.300	60.000

H_2			
—	18.300 m	60.000 pies	— espacio libre
—	7.620 m	25.000 pies	
—	1.524 m	5.000 pies	
—	15,2 m	50 pies	

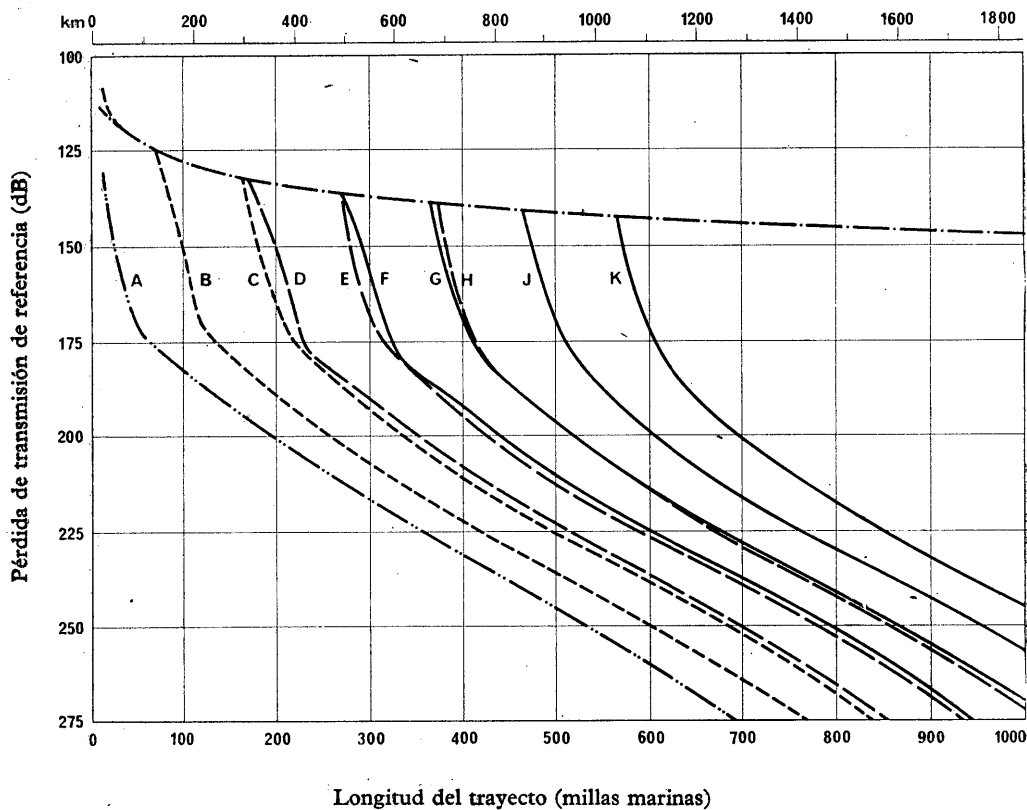


FIGURA 2

Valores medianos a largo plazo de la pérdida de transmisión de referencia,
clima continental templado

$N_s = 301$ ($d = 4/3$), $\Delta h = 0$, antenas isotropas, alturas H_1 y H_2 en los dos extremos, según se ha indicado

Frecuencia: 300 MHz

H_1					
	m	pies		m	pies
A	15,2	50	F	15,2	50
B	15,2	50	G	1.524	5.000
C	1.524	5.000	H	7.620	25.000
D	15,2	50	J	7.620	25.000
E	1.524	5.000	K	18.300	60.000

H_2

—————	18.300 m	60.000 pies
———	7.620 m	25.000 pies
- - - - -	1.524 m	5.000 pies
.....	15,2 m	50 pies

----- espacio libre

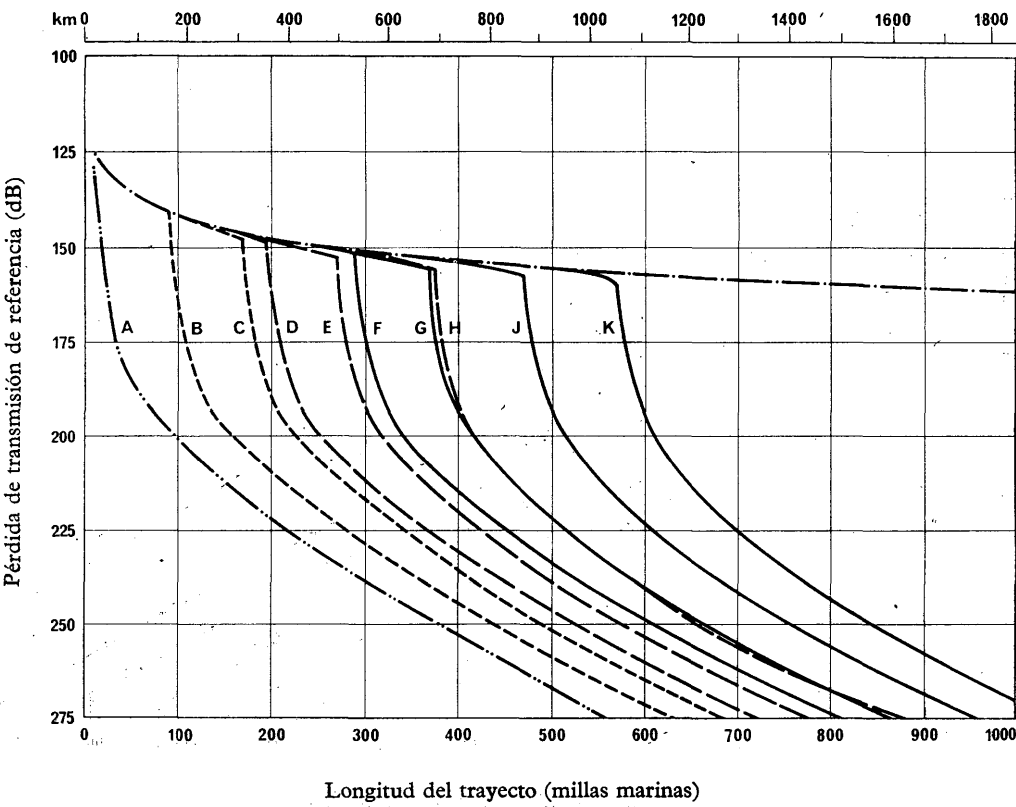


FIGURA 3

Valores medianos a largo plazo de la pérdida de transmisión de referencia,
clima continental templado

$N_s = 301$ ($d = 4/3$), $\Delta h = 0$, antenas isotropas, alturas H_1 y H_2 en los dos extremos, según se ha indicado

Frecuencia: 1600 MHz

H_1					
	m	pies		m	pies
A	15,2	50	F	15,2	50
B	15,2	50	G	1.524	5.000
C	1.524	5.000	H	7.620	25.000
D	15,2	50	J	7.620	25.000
E	1.524	5.000	K	18.300	60.000

H_2			
—————	18.300 m	60.000 pies	————— espacio libre
—————	7.620 m	25.000 pies	
—————	1.524 m	5.000 pies	
—————	15,2 m	50 pies	

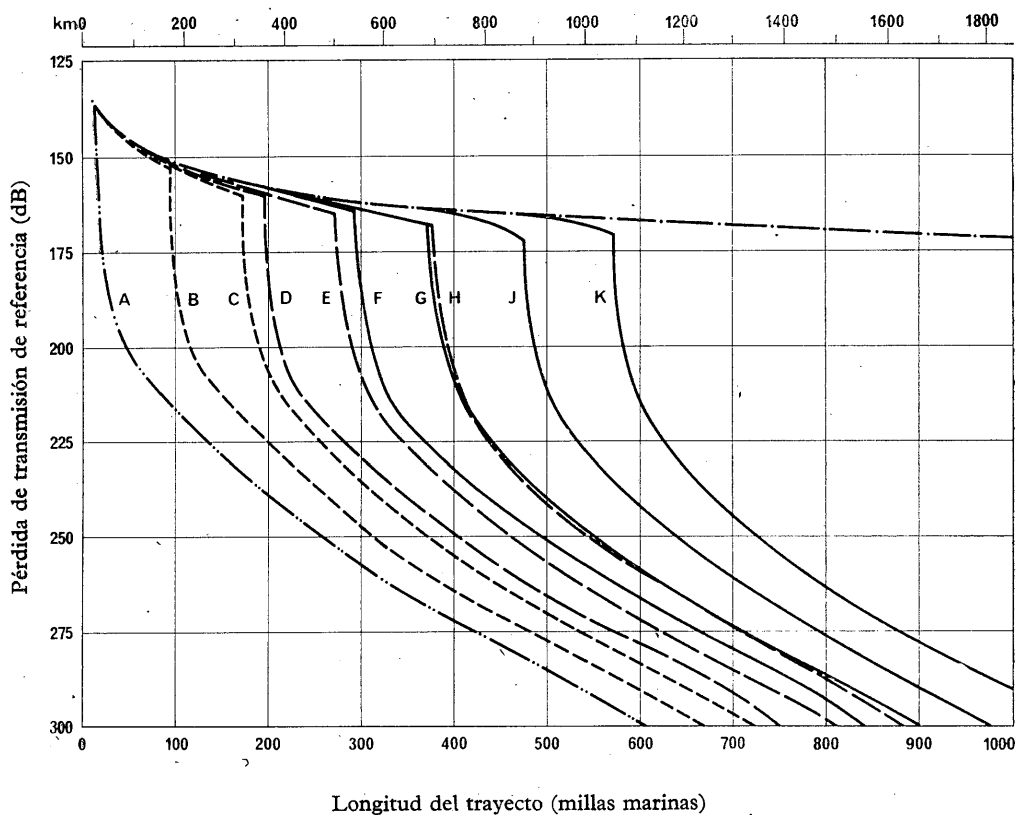


FIGURA 4

Valores medianos a largo plazo de la pérdida de transmisión de referencia,
clima continental templado

$N_s = 301$ ($d = 4/3$), $\Delta h = 0$, antenas isotropas, alturas H_1 y H_2 en los dos extremos, según se ha indicado

Frecuencia: 5100 MHz

H_1					
	m	pies		m	pies
A	15,2	50	F	15,2	50
B	15,2	50	G	1.524	5.000
C	1.524	5.000	H	7.620	25.000
D	15,2	50	J	7.620	25.000
E	1.524	5.000	K	18.300	60.000

H_2

—————	18.300 m	60.000 pies
—————	7.620 m	25.000 pies
—————	1.524 m	5.000 pies
—————	15,2 m	50 pies

----- espacio libre

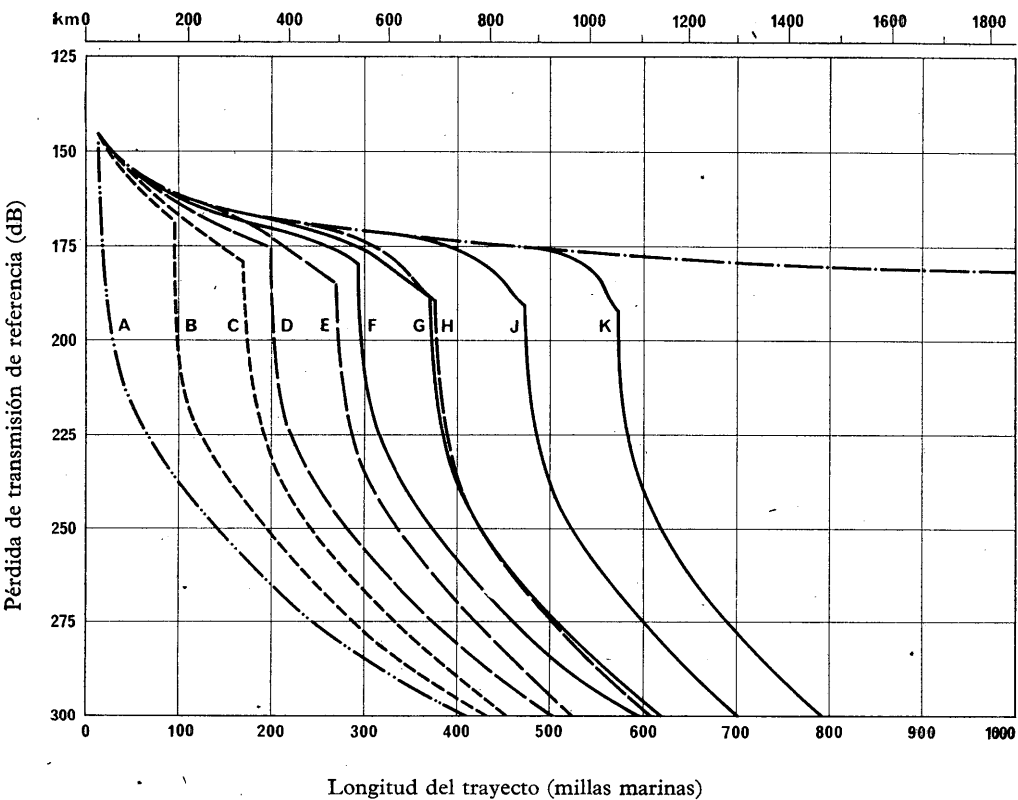


FIGURA 5

Valores medianos a largo plazo de la pérdida de transmisión de referencia,
clima continental templado

$N_s = 301$ ($d = 4/3$), $\Delta h = 0$, antenas isotropas, alturas H_1 y H_2 en los dos extremos, según se ha indicado

Frecuencia: 15 500 MHz

H_1					
	m	pies		m	pies
A	15,2	50	F	15,2	50
B	15,2	50	G	1.524	5.000
C	1.524	5.000	H	7.620	25.000
D	15,2	50	J	7.620	25.000
E	1.524	5.000	K	18.300	60.000

H_2

- 18.300 m 60.000 pies
- 7.620 m 25.000 pies
- 1.524 m 5.000 pies
- 15,2 m 50 pies

espacio libre

INFORME 425 *

EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE TRANSMISIÓN EN LA PROPAGACIÓN
TROPOSFÉRICA

Utilización de calculadoras electrónicas para preparar curvas de propagación
destinadas al servicio de radiodifusión y a los servicios móviles

(1970)

1. En el presente Informe se describen dos métodos en los que se utilizan calculadoras para evaluar la pérdida de transmisión en la propagación troposférica por encima de terreno accidentado. En la actualidad, el método A [1, 4] sólo se utiliza para la radiodifusión en la banda 9 (ondas decimétricas), mientras que el método B [2] se destina a una aplicación mucho más general. En sus campos de aplicación y en los estudios de gran envergadura, estos dos métodos son más precisos y permiten obtener resultados con mucha mayor rapidez que con curvas de propagación similares a las de la Recomendación 370-1 o los métodos gráficos descritos en el Informe 244-2. En las figs. 1 y 2 se compara, para el método A con calculadora electrónica y para el «método de Estocolmo» (casi análogo al método de la Recomendación 370-1), la dispersión de los valores de la relación (dB): intensidad de campo calculada/intensidad de campo medida, a base de registros de emisiones de radiodifusión en la banda 9 (ondas decimétricas) efectuadas en el Reino Unido. Hay que subrayar que el método A sirve principalmente para evaluar la intensidad de campo durante un 1 % y un 5 % del tiempo, a fin de obtener un valor de la interferencia causada por estaciones que funcionan en el mismo canal.

A continuación se describen brevemente los dos métodos y se da información suficiente para efectuar, en el caso del método A, los cálculos necesarios sin la ayuda de una calculadora, aunque incluso en este caso se recurre generalmente a ésta para efectuarlos rápidamente.

2. Método A.

Las alturas h_1 y h_2 de las antenas en los dos extremos del trayecto son las alturas sobre el nivel medio del mar y el análisis que se hace aquí es sólo aplicable al tipo de terreno ondulado que se encuentra en Europa septentrional. La suma de las distancias desde la antena transmisora y desde el receptor hasta el horizonte (nivel del mar) se llama «distancia combinada hasta el horizonte», y está dada por la fórmula $d_h = 4,12 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$, en la que d está expresada en kilómetros, h en metros, y en el supuesto de que las condiciones de refracción son normales.

Para determinar la intensidad de campo E_T cuando T es igual a un 50 %, a un 5 % o a un 1 % del tiempo, se utiliza, habida cuenta del valor de d_h , la curva apropiada de las figs. 3, 4, 5 y 6. Las figs. 3, 4 y 5 son aplicables a un trayecto enteramente terrestre, y la fig. 6 a un trayecto enteramente marítimo. En el caso de un trayecto mixto (terrestre y marítimo), conviene conocer la proporción de trayecto marítimo y efectuar una interpolación entre los valores obtenidos para el trayecto terrestre y para el trayecto marítimo. El factor de interpolación A es lineal en los límites de la distancia hasta el horizonte; más allá del horizonte y para porcentajes de tiempo de un 1 % y de un 5 %, el factor de interpolación se determina a partir de la fig. 7. Para definir el valor de la intensidad de campo en un trayecto mixto, se evalúa la diferencia del campo entre un trayecto enteramente marítimo y un trayecto enteramente terrestre y se multiplica el

* Adoptado por unanimidad.

valor obtenido por el factor de interpolación; el nuevo valor se añade al del trayecto enteramente terrestre. La intensidad de campo requerida en el trayecto mixto tierra/mar se obtendrá como sigue:

$$E_T = E_{L,T} + A (E_{S,T} - E_{L,T})$$

El valor de E_T es aplicable, claro es, a los trayectos en que no haya ningún obstáculo importante entre el transmisor y el receptor. Para tener en cuenta las pérdidas debidas a los «obstáculos» situados a menos de 16 km de cada estación terminal, se aplicará a los valores de E_T un factor de corrección de terreno para obtener la intensidad de campo recibida en el trayecto dado. Con este fin se calculará, para cada antena, el ángulo formado por la horizontal y la recta por encima de la cual se encuentran todos los obstáculos situados en un radio de 16 km a partir de la antena en la dirección del trayecto. Estos ángulos libres de obstáculos se representan en la fig. 8 (ángulos θ_1 a θ_2), y deben medirse con ayuda de mapas topográficos.

Para trayectos de longitud menor que d_h , el ángulo que ha de medirse es el que determina si el trayecto se encuentra o no en «visibilidad óptica». Este ángulo se llama «ángulo redefinido» y es el ángulo libre de obstáculos con relación a la recta que une las antenas transmisora y receptora, y no con relación a la horizontal. Los símbolos θ_1 y θ_2 se reemplazan entonces por los símbolos α_1 y α_2 ; el ángulo libre de obstáculos puede calcularse, si se conoce el valor de h_1 y h_2 y d , por medio de la fig. 10. Recuérdese, al hacer uso de la fig. 10, que h_1 representa siempre la altura de la antena en el extremo en el que es necesario conocer el «ángulo redefinido», y que a), b), etc., representan las escalas por orden de utilización.

Una vez obtenidos los ángulos libres de obstáculos, se obtiene de la fig. 9 el valor de la corrección de terreno (dB) en cada extremo del trayecto, valor que se añade al valor de E_T determinado para un terreno no accidentado. Se obtiene así la intensidad de campo para el porcentaje de tiempo requerido.

De este último valor se deduce un factor de corrección de 10 dB si el emplazamiento receptor se encuentra en una zona edificada. Esta corrección debe introducirse en los valores obtenidos para todas las instalaciones domésticas de recepción de televisión en las zonas citadas.

3. Método B.

Para adaptar el método B [2] a diferentes tipos de servicio, basta con considerar, para los parámetros fundamentales, las gamas de valores que normalmente corresponden a los servicios de que se trate. Este método puede emplearse con los perfiles efectivos del terreno para trayectos reales; cuando se desconocen estos perfiles, o cuando los disponibles son inaplicables (por ejemplo, en radiodifusión o en el servicio móvil), pueden utilizarse perfiles representativos de un terreno «mediano» y de características atmosféricas medianas en una zona dada.

En la fig. 11 se comparan las curvas de propagación establecidas según los métodos A y B para el caso especial de una frecuencia de 700 MHz y $d_{Ls} = 40$ y 80 km; este parámetro es igual a la suma de las distancias hasta el horizonte en un terreno regular con alturas equivalentes de antena h_{e1} y h_{e2} .

$$d_{Ls} = 4,1 (\sqrt{h_{e1}} + \sqrt{h_{e2}}) \text{ km} \quad (1)$$

Nota 1.—Estos métodos son especialmente útiles para los enlaces con visibilidad directa o para los que utilizan la propagación por difracción, pero no pueden ser empleados para los enlaces entre puntos fijos que excedan la zona de difracción.

Nota 2.—El presente Informe no tiene en cuenta todos los parámetros meteorológicos descritos en el Informe 233-2.

Los dos valores elegidos para d_{Ls} en la fig. 11 corresponden, aproximadamente, a las siguientes combinaciones de alturas equivalentes de antena: 10 m, 37,5 m y 10 m, 300 metros. En este ejemplo no se ha tenido en cuenta el factor «urbano» para el método A, a fin de facilitar la comparación entre ambos métodos.

Cuando se conoce perfectamente el perfil del terreno para un trayecto determinado, puede evaluarse una «atenuación de referencia calculada», A_{cr} , que se expresa en decibelios por debajo de la intensidad de campo o de la pérdida de transmisión en el espacio libre. Esta evaluación se efectúa a base de los parámetros siguientes:

- longitud del trayecto de propagación d , km. Véase la fig. 12;
- frecuencia radioeléctrica f , MHz;
- alturas equivalentes de las antenas, h_{e1} y h_{e2} . Estas alturas se definen en [1] y [2]. Para una antena cuyo centro de radiación se halle a proximidad del suelo (de 0,5 a 20 m), h_e es normalmente igual a la altura por encima del nivel del suelo, h_g . En los demás casos, la altura equivalente suele definirse por la altura sobre el nivel del mar, sobre el terreno medio o sobre un plano que dé una reflexión dominante;
- conductividad σ y constante dieléctrica ϵ equivalente de la superficie (tierra o agua);
- coincide de la atmósfera cerca de la superficie N_s (véase el Informe 233-2);
- radio terrestre equivalente, a , o $a(N_s)$, que es una función de N_s [2];
- polarización eléctrica, horizontal o vertical;
- distancias efectivas del horizonte, d_{L1} y d_{L2} . Véase la fig. 12;
- la suma, θ_e , de los ángulos de elevación del horizonte para las antenas, θ_{e1} y θ_{e2} , por encima de la horizontal en la ubicación de cada antena, fig. 12. Estos ángulos pueden ser positivos o negativos;
- un parámetro Δh que tenga en cuenta las irregularidades de un tipo particular de terreno, o un parámetro $\Delta h(d)$, que tenga en cuenta las irregularidades del terreno en toda la longitud, d , de un trayecto de propagación. Este parámetro tiene en cuenta, a la vez, la *irregularidad* (esencialmente, para la probabilidad de grandes ángulos de difracción o de dispersión) y los *accidentes de terreno* a los que corresponde el parámetro Δh definido en la Recomendación 370-1. El nuevo parámetro $\Delta h(d)$, representa el intervalo interdecilo de las alturas de terreno (metros) por encima y por debajo de la pendiente media del terreno, para un trayecto dado de longitud d , kilómetros. El intervalo interdecilo es igual a la diferencia entre (a) alturas excedidas por un 10 % de las colinas y (b) cuencas excedidas por un 10 % de los valles. Supongamos que una de las antenas, o las dos, se desplazan, o que se quiere obtener un valor típico de la pérdida de transmisión para antenas situadas en una determinada zona. En estas condiciones los datos a la entrada de la calculadora, o las curvas de propagación por ella suministradas, corresponden al valor mediano $\Delta h_m(d)$ para una serie de trayectos tomados al azar en la zona considerada y de una longitud d . Al estudiar varios centenares de perfiles en diferentes tipos de terreno, se ha comprobado que, cuando aumenta la distancia, $\Delta h_m(d)$ alcanza un máximo $\Delta \bar{h}$:

$$\Delta \bar{h} = \Delta h_m(d) / [1 - 0,8 \exp(-0,02d)] \text{ metros} \quad (2)$$

Cuando la distancia se aproxima a 150 km, o rebasa este valor, la expresión (2) muestra que $\Delta h_m(d)$ alcanza el valor constante $\Delta \bar{h}$ que, con el método B, sirve para caracterizar el terreno. Los valores $\Delta \bar{h} = 50, 100, 200$ y 500 metros corresponden, respectivamente, a un terreno regular, a un terreno algo regular, a un terreno muy ondulado y a un terreno extremadamente irregular.

Los datos que deben aplicarse a la entrada de la calculadora pueden ser los primeros cuatro o la totalidad de los siguientes parámetros: $d, f, h_{g1,2}, h_{e1,2}, \sigma, \epsilon, N_s, a, d_{L1,2}, \theta_e, \Delta h(d), \Delta \bar{h}$ y polarización. Si sólo se utilizan los primeros cuatro parámetros, es importante, en ciertos casos, precisar la polarización e indicar si uno de los trayectos o un grupo de trayectos es terrestre o marítimo. De todos modos, el programa actualmente utilizado da valores medios o valores representativos de todos los parámetros no especificados, salvo para los primeros cuatro, que han de especificarse.

En [2] se indican los resultados obtenidos con valores calculados según este método, para alturas de antena muy pequeñas, distancias cortas y para la frecuencia de 100 MHz. Los primeros de estos resultados corresponden a valores medianos para cierto número de perfiles de terreno; representan, poco más o menos, los valores que cabría prever para ubicaciones «medianas» y para cada distancia. Para obtener evaluaciones medianas (tiempo

y ubicaciones) de la pérdida de transmisión para mayores distancias —distancias para las cuales los efectos atmosféricos introducen normalmente diferencias de hasta 100 dB entre las medianas horarias máxima y mínima medidas en el curso de un año—, se utilizan curvas que pasan por los puntos correspondientes a los datos disponibles. La fig. 13 representa, para diferentes grupos de estos datos, la dispersión de las relaciones (dB): valores calculados/valores medidos de la pérdida de transmisión, a base de cálculos realizados según el método B.

Los métodos A y B tienen tales características que los programas de calculadora correspondientes debieran revelarse útiles en todos los estudios de esta índole. El método A es de mayor utilidad para el cálculo de la intensidad de campo en el caso de pequeños porcentajes de tiempo, y conviene utilizarlo para calcular las interferencias en un mismo canal, en ondas decimétricas. El método B es más ambicioso y complicado; se apoya más en la teoría y puede adaptarse a un mayor número de parámetros y a una gama de datos más vasta. De igual modo que en el método A, se agrega un factor de corrección de 10 dB a las pérdidas de transmisión calculadas por el método B, si el lugar de recepción se halla en una zona donde abunden las construcciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. CAUSEBROOK, J. H., y LEE, R. W.: Calculation of the field strength required for a television service, in the presence of co-channel interfering signals. Part 1. *B. B. C. Res. Rep. N.º RA-12/1* and *Technical Memorandum N.º RA-1015*.
2. LONGLEY, A. G. y RICE, P. L.: Prediction of tropospheric radio transmission loss over irregular terrain. A computer method - ESSA, U. S. Department of Commerce, Tech. Report ERL 79/ITS 67 (1968).
3. NBS Technical Note 101, Revised (enero de 1967).
4. CAUSEBROOK, J. H.; DAVIS, B., y SANDELL, R. S.: The prediction of co-channel interference to Television Broadcasting Services in the frequency range 470-960 MHz. *B. B. C. Research Department*, Report 1969/33.

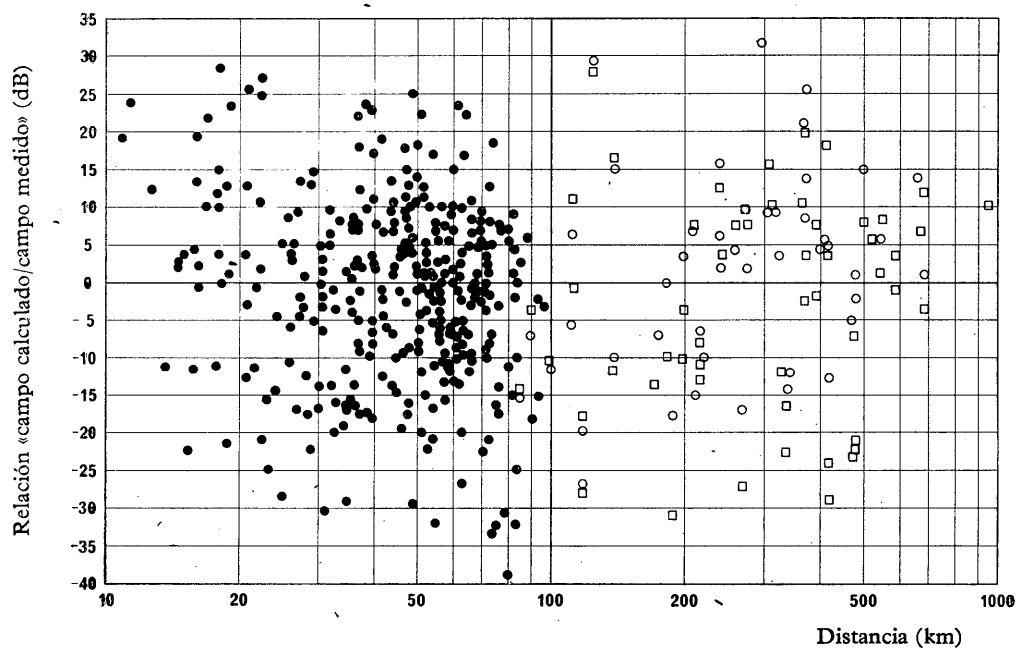


FIGURA 1

Representación de la relación «campo calculado/campo medido» en función de la distancia en radiodifusión por ondas decimétricas

(Cálculo según el «método de Estocolmo»).

● = 50 % del tiempo

○ = 10 % del tiempo

□ = 1 % del tiempo

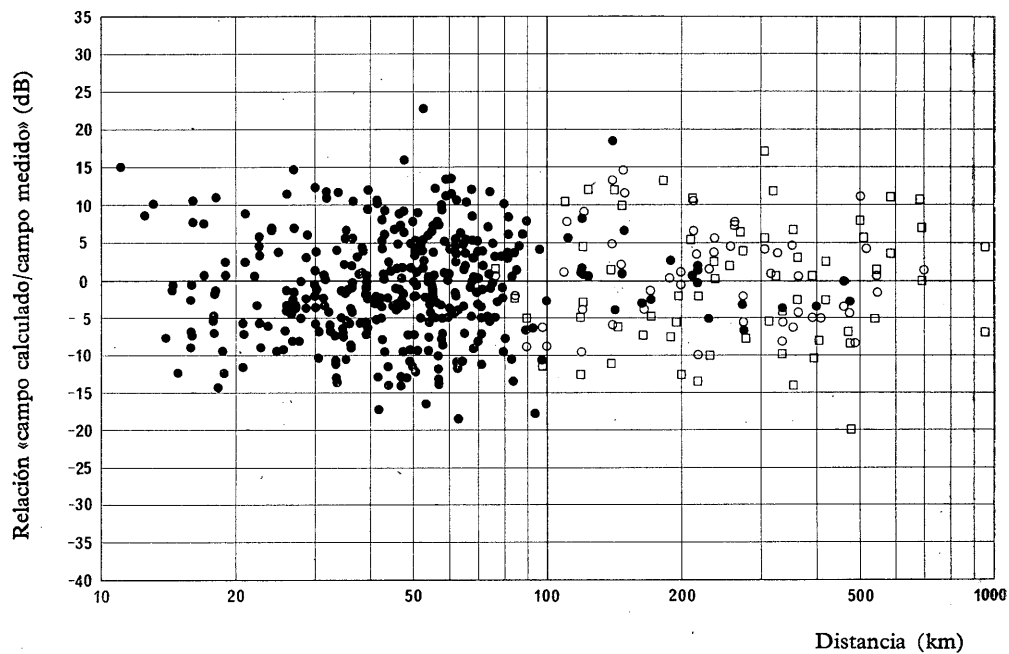


FIGURA 2

Representación de la relación «campo calculado/campo medido» en función de la distancia en radiodifusión por ondas decimétricas

(Cálculo con calculadora por el «Método A»)

● = 50 % del tiempo

○ = 5 % del tiempo

□ = 1 % del tiempo

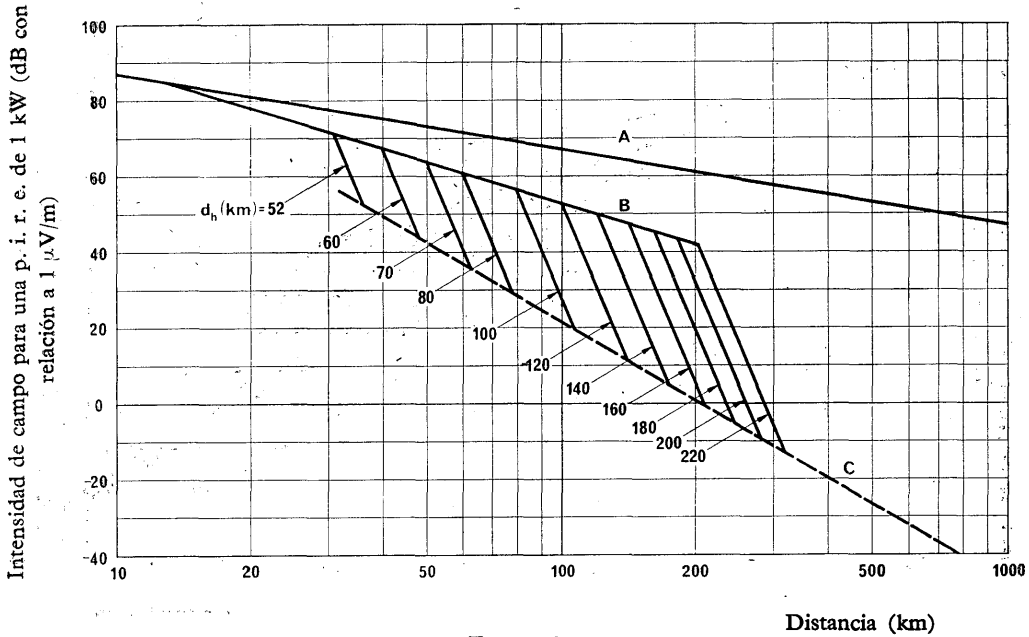


FIGURA 3

Intensidad de campo en función de la distancia; trayecto terrestre; 50 % del tiempo

Curva A: espacio libre.

Curva B: hasta el horizonte.

Curva C: más allá del horizonte.

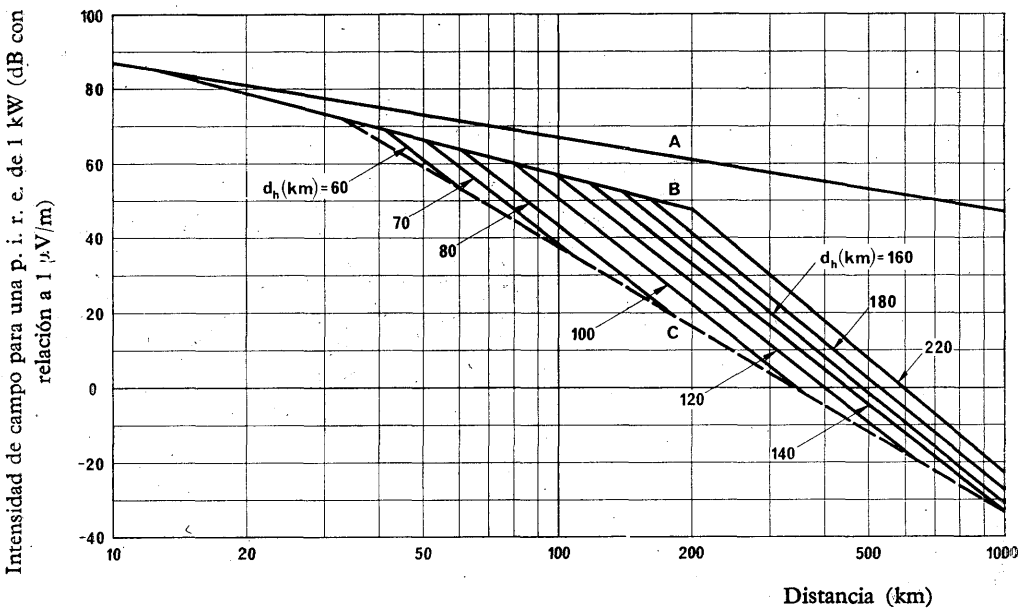


FIGURA 4

Intensidad de campo en función de la distancia; trayecto terrestre; 5 % del tiempo

Curva A: espacio libre.

Curva B: hasta el horizonte.

Curva C: más allá del horizonte.

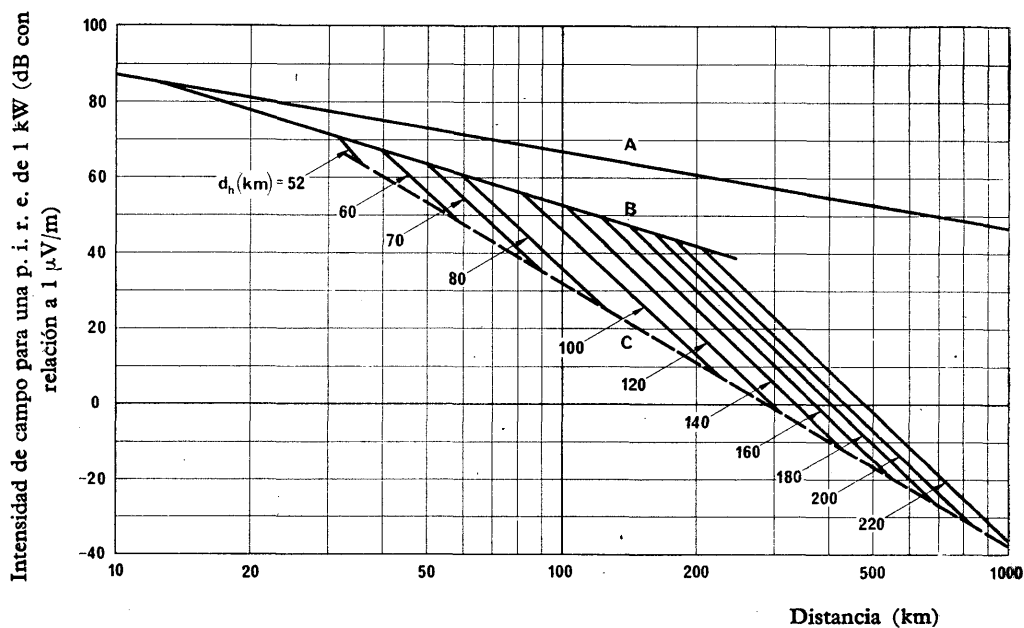


FIGURA 5

Intensidad de campo en función de la distancia; trayecto terrestre; 1 % del tiempo

Curva A: espacio libre.

Curva B: hasta el horizonte.

Curva C: más allá del horizonte.

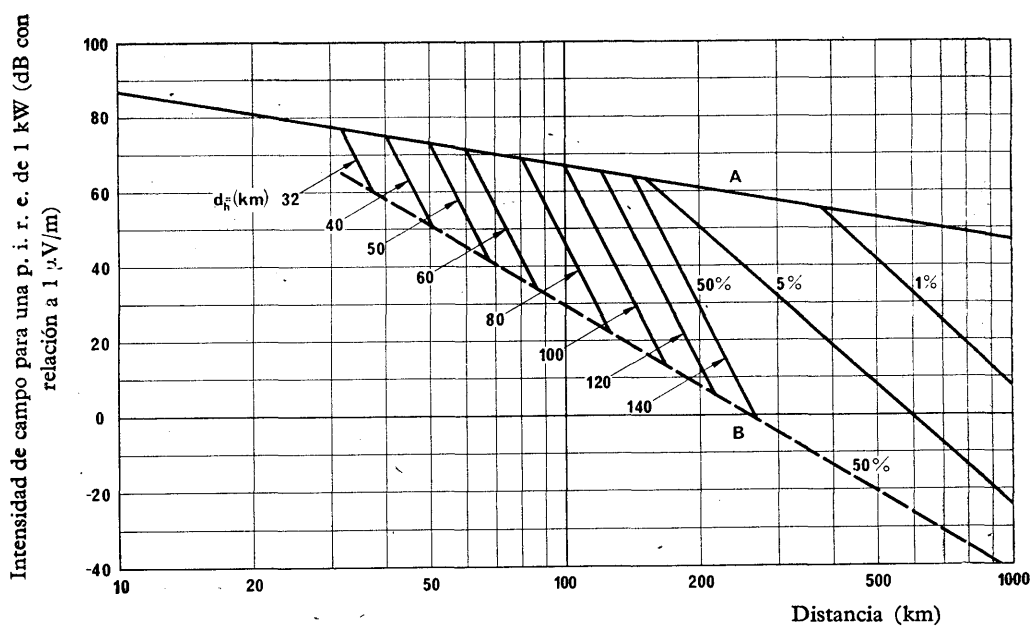


FIGURA 6

Intensidad de campo en función de la distancia; trayecto marítimo

Curva A: espacio libre.

Curva B: más allá del horizonte.

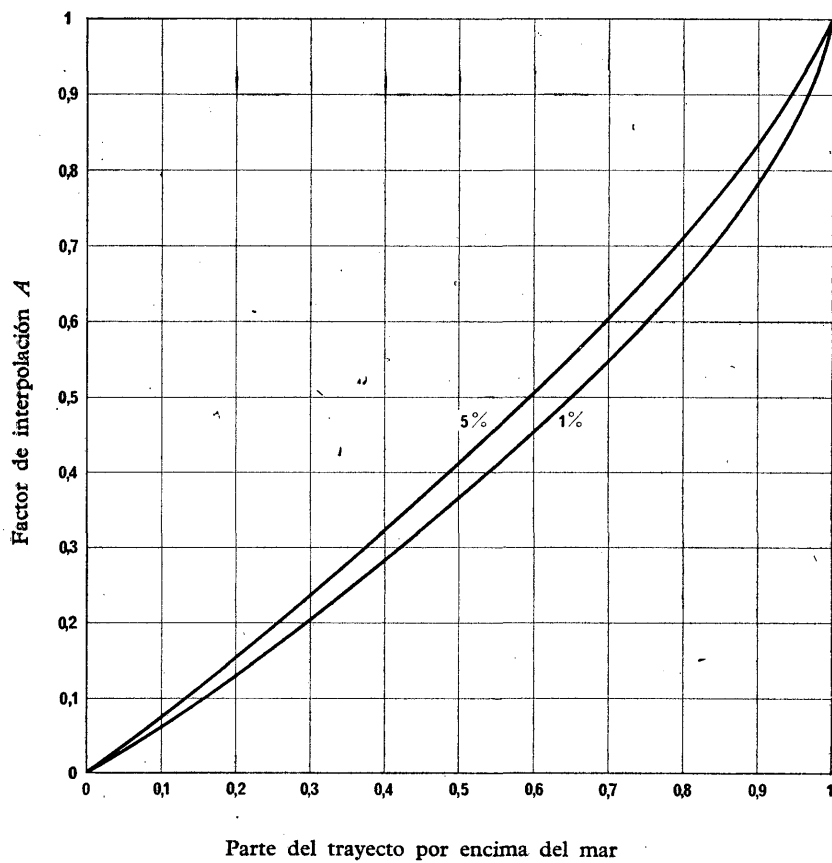


FIGURA 7

Interpolación para trayectos mixtos tierra-mar

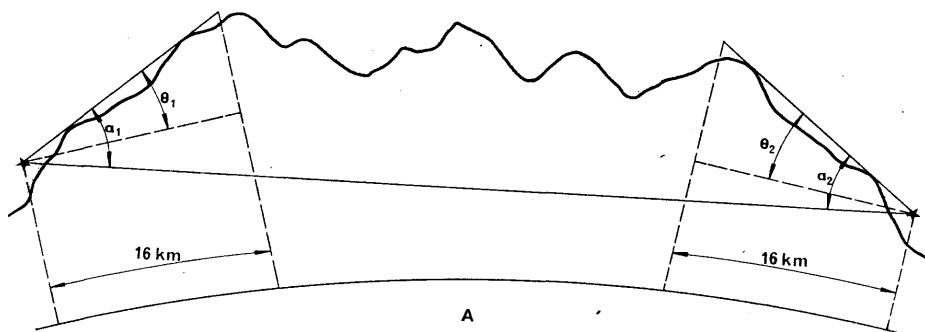


FIGURA 8

Geometría del trayecto: A = Nivel del mar

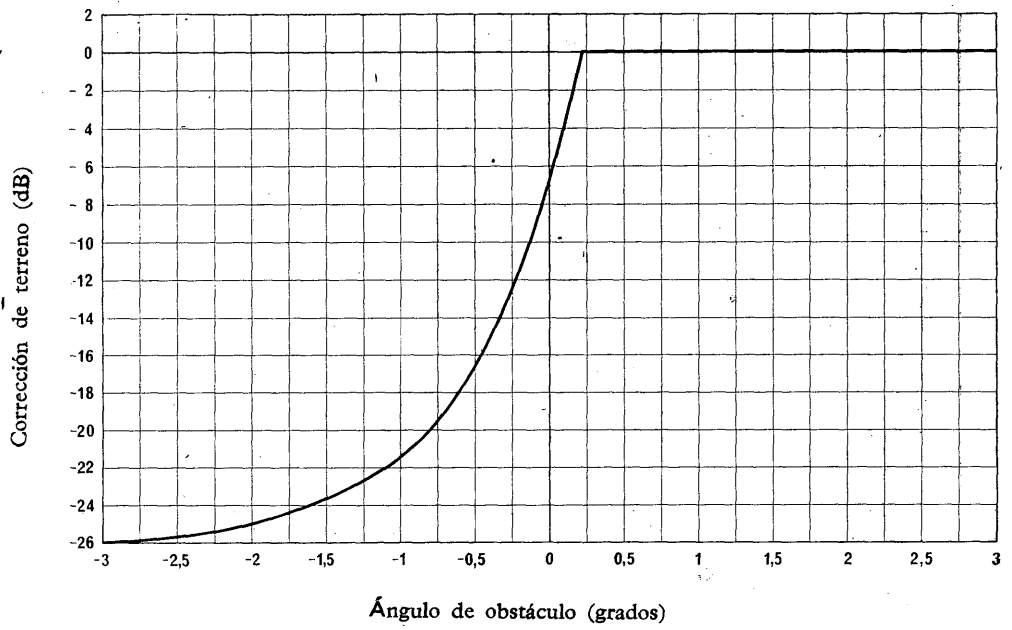


FIGURA 9

Corrección de terreno

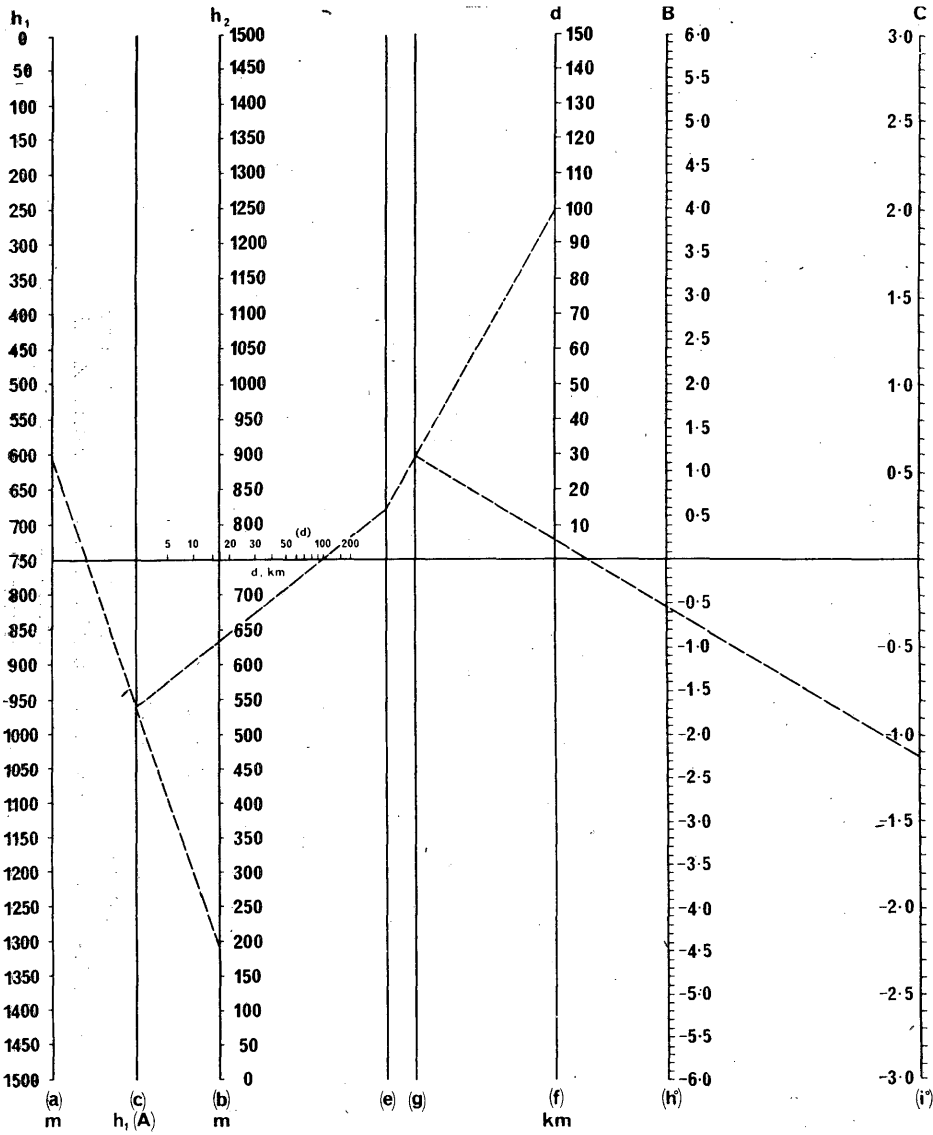


FIGURA 10

Nomograma para el «ángulo redefinido»

A: altura en el extremo a «redefinir»

B: ángulo libre de obstáculos (en grados a partir de la horizontal)

C: «ángulo redefinido» α

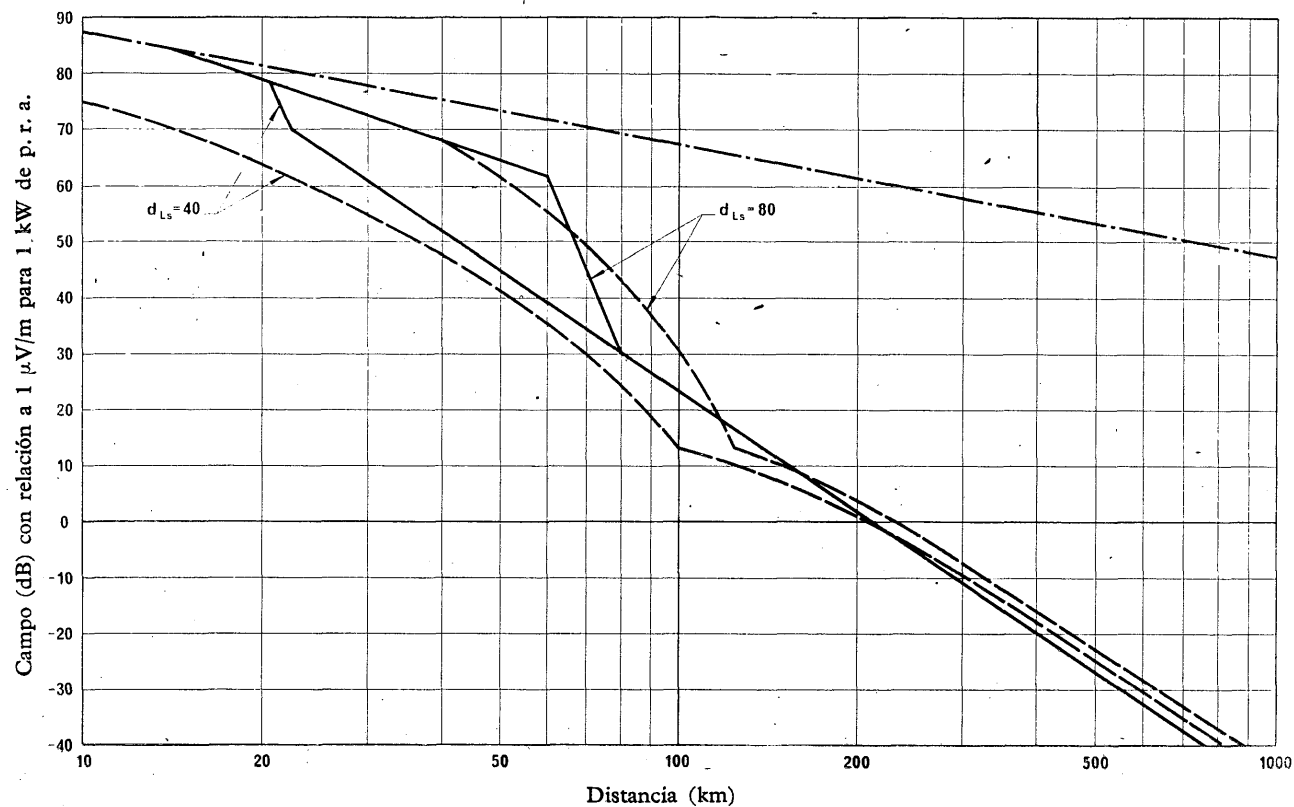


FIGURA 11

Gráficos representativos del campo calculado en radiodifusión por ondas decimétricas.
 Comparación de los cálculos efectuados con calculadora según los métodos A y B

———— método A
 - - - - - método B
 - . - . - . espacio libre

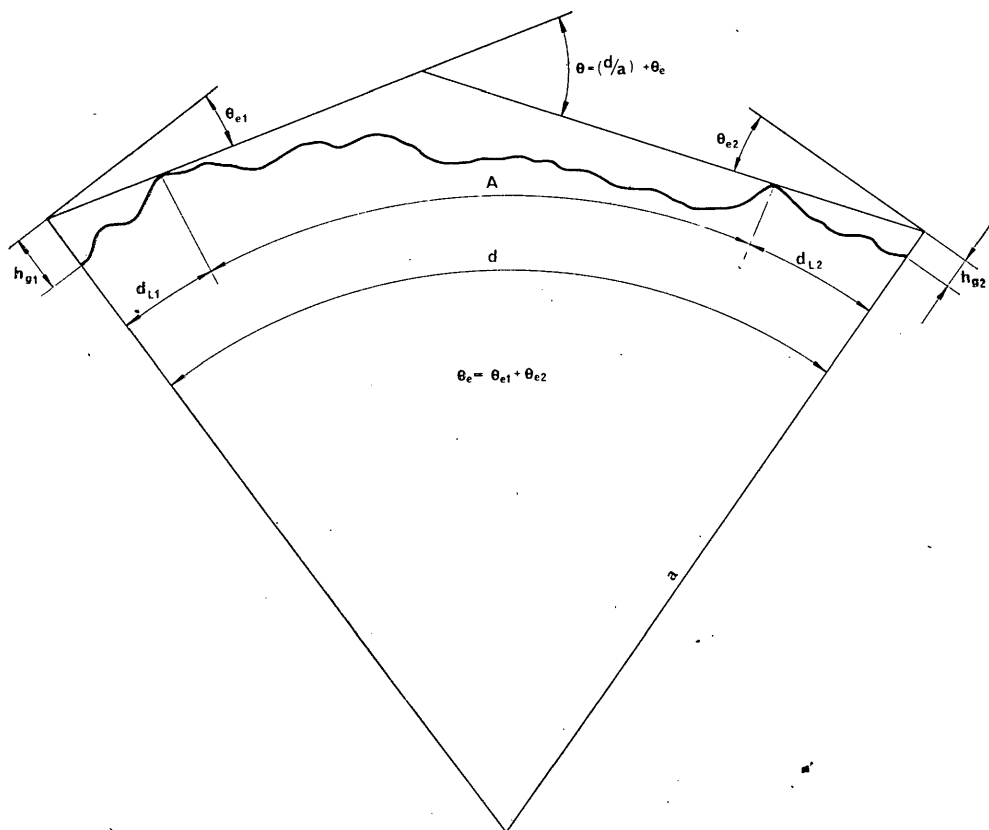


FIGURA 12

Geometría de un trayecto radioeléctrico transhorizonte

A: nivel del mar

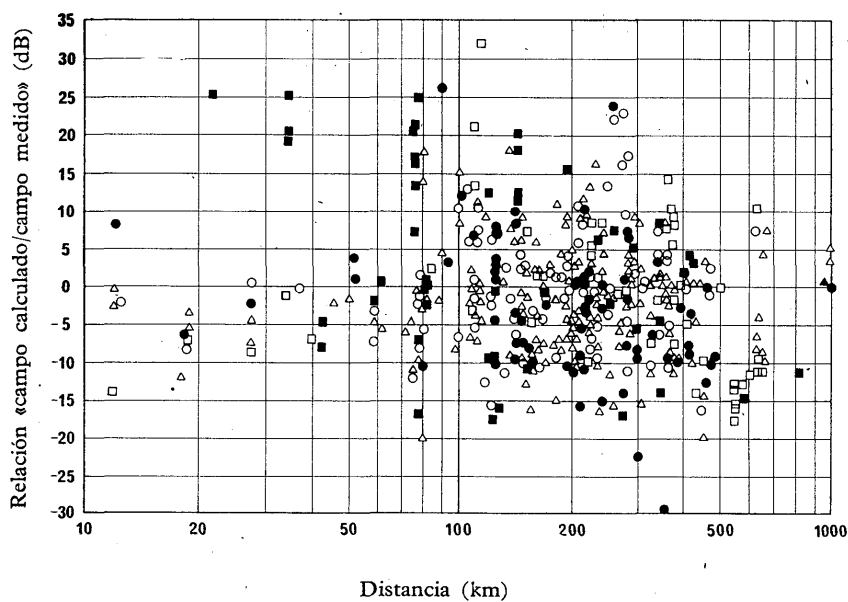


FIGURA 13

Representación de la relación «campo calculado/campo medido» en función de la distancia

(Cálculo con calculadora por el «Método B»)

Frecuencia (MHz):

- △ < 110;
- 110-299;
- 300-699;
- 700-1100;
- > 1100;

$N = 780$

SECCIÓN 5 B: RADIÓMETEOROLOGÍA

RECOMENDACIONES E INFORMES

Recomendaciones

RECOMENDACIÓN 310-2

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS RELATIVOS A LA PROPAGACIÓN TROPOSFÉRICA

El C. C. I. R.,

(1951 - 1959 - 1966 - 1970)

CONSIDERANDO:

Que es notorio que las condiciones meteorológicas en la troposfera influyen considerablemente en la propagación de las ondas de frecuencias superiores a 30 MHz,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

Que se adopte la siguiente lista de definiciones para su inclusión en el Vocabulario.

VOCABULARIO DE LOS TÉRMINOS RELATIVOS A LA PROPAGACIÓN TROPOSFÉRICA

Término	Definición
1. <i>Troposfera:</i>	Región inferior de la atmósfera terrestre, situada inmediatamente por encima de la superficie de la Tierra y en la que la temperatura disminuye a medida que aumenta la altitud, salvo en determinadas capas locales de inversión de temperatura.
2. <i>Tropopausa:</i>	Límite superior de la troposfera, por encima del cual la temperatura aumenta ligeramente con la altitud o permanece constante. (En el Doc. V/9, del C. C. I. R., 1966-1969, figura una definición más detallada que ha dado la O. M. M.).
3. <i>Inversión de temperatura:</i>	Aumento de la temperatura con la altura.
4. <i>Relación de mezcla:</i>	Relación entre la masa del vapor de agua y la masa del aire seco en un volumen dado de aire (expresada frecuentemente en g/kg).
5. <i>Humedad relativa con relación al agua (o al hielo):</i>	Relación expresada en porcentaje, entre presión de vapor de agua presente en el aire húmedo y la presión de vapor saturante, con relación al agua (o al hielo) a la misma temperatura y a la misma presión.
6. <i>Índice de refracción (n):</i>	Relación entre las velocidades de las ondas en el vacío y en el medio considerado.
7. <i>Coíndice (N):</i>	El exceso de <i>n</i> con relación a la unidad, expresado en millonésimas.
8. <i>Unidad N:</i>	Unidad en la que se expresa el coíndice.
9. <i>Índice de refracción modificado:</i>	Suma del índice de refracción del aire a cierta altura sobre el nivel del mar y de la relación entre esta altura y el radio de la Tierra.
10. <i>Módulo de refracción:</i>	Exceso del índice de refracción modificado con relación a la unidad, expresado en millonésimas.
11. <i>Unidad M:</i>	La unidad en que se expresa el módulo de refracción.

Término	Definición
12. <i>Gradiente normal del módulo de refracción:</i>	La variación uniforme del módulo de refracción en relación con la altura sobre el suelo que se considera como base normal de comparación. El gradiente que se considera normal tiene un valor de 0,12 unidades M por metro (3,6 unidades M por cien pies).
13. <i>Atmósfera radioeléctrica normal:</i>	Una atmósfera con un gradiente normal del módulo de refracción.
14. <i>Atmósfera fundamental de referencia:</i>	Atmósfera cuyo coíndice (N) es una función exponencial de crecimiento de la altitud. (Véase la Recomendación 369-I.)
15. <i>Refracción normal:</i>	La refracción que se produciría en la atmósfera radioeléctrica normal. (Véase la fig. 1.)
16. <i>Infrarrefracción:</i>	Toda refracción cuyo módulo de refracción tiene un gradiente positivo y mayor que el normal. (Véase la fig. 1.)
17. <i>Superrefracción:</i>	Toda refracción cuyo módulo de refracción tiene un gradiente menor que el normal y puede hacerse cero y aumentar negativamente. (Véase la fig. 1.)
18. <i>Propagación troposférica:</i>	Uno cualquiera de los diversos mecanismos posibles de propagación en la troposfera. A continuación se definen algunos de estos mecanismos.
19. <i>Propagación normal:</i>	La propagación de las ondas radioeléctricas sobre una tierra esférica regular, de características eléctricas uniformes, en condiciones de refracción atmosférica normal.
20. <i>Horizonte radioeléctrico:</i>	El lugar geométrico de los puntos en que los rayos directos procedentes de la antena son tangentes a la superficie de la Tierra, habida cuenta de la curvatura debida a la refracción.
21. <i>Radio ficticio de la Tierra:</i>	El radio de una Tierra hipotéticamente esférica en la que la distancia hasta el horizonte radioeléctrico, en el supuesto de que la propagación se haga en línea recta, es la misma que en la Tierra verdadera rodeada de una atmósfera con un gradiente vertical constante del índice de refracción (para la atmósfera radioeléctrica normal, el radio ficticio de la Tierra es igual a 4/3 del radio verdadero).
22. <i>Conducto troposférico radioeléctrico:</i>	Capa quasi horizontal de la troposfera entre cuyos límites la energía de una frecuencia dada suficientemente alta se halla prácticamente confinada y se propaga con una atenuación anormalmente baja.
23. <i>Conducto sobre el suelo (conducto de superficie):</i>	Conducto troposférico cuyo límite inferior es la superficie de la Tierra.
24. <i>Conducto elevado:</i>	Conducto troposférico cuyo límite inferior está por encima de las superficies de la Tierra.
25. <i>Espesor del conducto:</i>	La diferencia de altura entre los límites superior e inferior de un conducto troposférico.
26. <i>Altura del conducto:</i>	La altura sobre el suelo del límite inferior de un conducto elevado.
27. <i>Propagación guiada (modo guiado):</i>	Tipo de propagación en el interior de un conducto troposférico. En frecuencias suficientemente altas pueden existir varios modos de propagación (como en un guíaondas).
28. <i>Propagación transhorizonte:</i>	Término general de la propagación por trayectos que van más allá del horizonte radioeléctrico normal. Puede referirse a distintos fenómenos tales como la difracción, la dispersión hacia adelante, la reflexión especular y difusa y la propagación guiada.
29. <i>Propagación por dispersión troposférica:</i>	Propagación en que interviene la dispersión por numerosas heterogeneidades o discontinuidades del índice de refracción de la atmósfera, caracterizado generalmente por una atenuación que aumenta rápidamente cuando la dirección se aparta de la dirección incidente.

30. *Propagación por dispersión debido a las precipitaciones:* Propagación debida a la dispersión producida por las partículas de las precipitaciones.
31. *Propagación por trayectos múltiples:* Propagación por varios trayectos de transmisión.

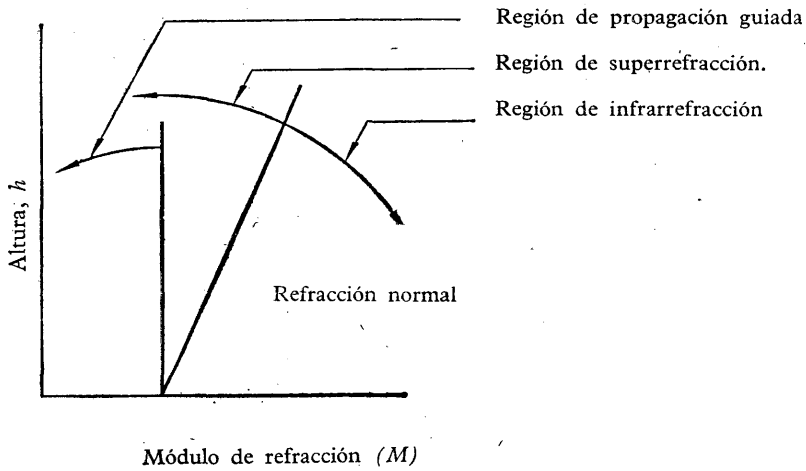


FIGURA 1

Curvas M

RECOMENDACIÓN 369-1

DEFINICIÓN DE UNA ATMÓSFERA FUNDAMENTAL DE REFERENCIA

El C. C. I. R.,

(1959 - 1963 - 1966)

CONSIDERANDO:

Que la variación del índice de refracción n de la atmósfera en función de la altura h en las frecuencias radioeléctricas queda expresada de manera satisfactoria por la ley

$$n(h) = 1 + a \cdot e^{-bh}$$

siendo a y b constantes que se pueden determinar por métodos estadísticos para diferentes climas (véase el Informe 231-2),

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

Que la atmósfera fundamental de referencia se defina por la relación

$$n(h) = 1 + 289 \times 10^{-6} \cdot e^{-0,186h}$$

en la que h es la altura en kilómetros sobre el nivel del mar.

Nota.—El gradiente del índice de refracción que da esta atmósfera en la superficie del suelo es casi igual al de una atmósfera cuyo efecto puede representarse por un radio equivalente igual a 4/3 del radio verdadero de la Tierra.

RECOMENDACIÓN 453 *

FÓRMULA DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN RADIOELÉCTRICA

(Cuestión 2-1/5)

El C. C. I. R.,

(1970)

CONSIDERANDO:

- a) La necesidad de utilizar una fórmula única para calcular el índice de refracción radioeléctrica de la atmósfera, y
- b) El interés de expresar esta fórmula en un sistema coherente de unidades,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

que el índice de refracción radioeléctrica, de la atmósfera, n , se calcule mediante la siguiente fórmula:

$$n = 1 + N \cdot 10^{-6}$$

donde

N es el coíndice expresado por:

$$N = \frac{77,6}{T} (p + 4810 \frac{e}{T})$$

p = presión atmosférica (mb),

e = presión del vapor de agua (mb),

T = temperatura absoluta $^{\circ}K$.

* Anula al Informe 232.

5 B: Informes

INFORME 231-2 *

ATMÓSFERA DE REFERENCIA

(Cuestión 2-1/5)

(1959 - 1963 - 1966 - 1970)

Atmósfera de referencia para calcular las características de propagación.

Para calcular ciertas características de propagación hay que especificar, por una parte, la curva de variación del índice de refracción n del aire, en función de la altura h sobre la superficie de la Tierra, y por otra, las características del suelo. Hasta fecha reciente la mayoría de los cálculos de la intensidad de campo, de la fase y de la curvatura de la trayectoria de las ondas, se efectuaban admitiendo que el gradiente del índice de refracción en función de la altura era constante, y se ha demostrado que los valores de la intensidad de campo obtenidos fundándose en esta hipótesis de una atmósfera de característica lineal son los mismos que en el supuesto de una tierra sin atmósfera, pero de radio equivalente igual a ka , siendo a el radio verdadero y definiéndose k por la relación:

$$k = \left(1 + \frac{a}{n} \cdot \frac{dn}{dh} \right)^{-1} \quad (1)$$

Últimamente, ha habido que ampliar los cálculos de las características de propagación a regiones para las cuales la hipótesis de un gradiente constante no representa una descripción satisfactoria de la atmósfera; esta hipótesis haría posibles errores importantes en el cálculo de la intensidad de campo a alturas muy grandes o en el cálculo de la fase en frecuencias poco elevadas.

Se ha observado que las variaciones del índice medio de refracción del aire se pueden representar también, con gran aproximación, por la expresión exponencial siguiente [1, 2]

$$n(h) = 1 + N_s \cdot 10^{-6} \cdot e^{-bh} \quad (2)$$

en donde $N = (n^2 - 1) \cdot 10^6$, el índice s se refiere al valor en la superficie de la Tierra, h es la altura sobre esta superficie, expresada en km, y b es un número definido por:

$$e^{-b} = 1 + \frac{\Delta N}{N_s} \quad (3)$$

En esta última expresión, ΔN representa la diferencia entre el valor de N a una altura de 1 km sobre la superficie de la Tierra, y el valor de N sobre esta superficie. Se observará que ΔN es una cantidad negativa.

En los estudios hechos [2, 3, 4 y 5] se ha demostrado que ΔN está frecuentemente en correlación con el valor de N_s en la superficie de la Tierra, pudiendo deducirse de esto las siguientes relaciones de correlación que varían con el clima:

$$\Delta N = -7,32 \exp(0,005577 N_s) \text{ en Estados Unidos de América} \quad [2] \quad (4)$$

$$\Delta N = -9,30 \exp(0,004565 N_s) \text{ en la República Federal de Alemania} \quad [5] \quad (5)$$

$$\Delta N = -3,95 \exp(0,0072 N_s) \text{ en el Reino Unido} \quad [4] \quad (6)$$

* Adoptado por unanimidad.

Pueden emplearse estas fórmulas para calcular ΔN en el caso corriente en que los datos meteorológicos disponibles sólo se refieran a la superficie de la Tierra. Si $N_s = 289$ y $a = 6370$ kilómetros, se obtiene mediante las fórmulas (2), (3) y (4): $k \ 4/3$ y $b = 0,136$; estos valores representan la atmósfera fundamental de referencia. En climas templados, el valor medio de N_s varía entre 310 y 320 aproximadamente y el de ΔN entre -38 y -42 aproximadamente, por lo que cabe definir una atmósfera media como aquella en que $N_s = 315$ y $\Delta N = -40$, con lo cual,

$$n(h) = 1 + 315 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-0,136h}$$

En esta atmósfera, el gradiente del índice de refracción en la superficie corresponde a un valor de k igual a 1,38.

Si se dispone de gran número de datos obtenidos por radiosondas (de modo que se pueda determinar con exactitud el valor medio de la diferencia ΔN entre los valores de N en la superficie y a una altura de 1 km), se podrán utilizar estos valores medios medidos de ΔN y de N en las ecuaciones (2) y (3), y determinar así las características de la atmósfera.

En resumen, las fórmulas que acaban de indicarse definen un método de evaluación de las curvas del índice medio de refracción para cualquier ubicación geográfica. Cuando se conocen al mismo tiempo los valores medios de ΔN y de N_s , se pueden llevar estos valores a las ecuaciones (2) y (3); por el contrario, si sólo se conoce N_s , podrá utilizarse la ecuación (4) para hallar ΔN . En este último caso, el método empleado confirma que la hipótesis expuesta más arriba sobre la correlación entre ΔN y N_s es acertada.

Para los cálculos de la pérdida de transmisión, de la fase y de la curvatura de la trayectoria de las ondas, se admite generalmente que la atmósfera es homogénea en la dirección horizontal; esta hipótesis se confirma con frecuencia cuando imperan condiciones medias de propagación.

Si se necesitasen determinaciones más precisas de $n(h)$, pueden encontrarse en los cuadros, muy completos, que figuran en la documentación indicada en [6], donde se presentan, para cada mes del año, diagramas mundiales en los que se indican los componentes seco y húmedo de $n(h)$.

Varias administraciones creen que tal vez pueda representarse mejor el radioclima de su región adoptando para $n(h)$ un modelo biexponencial [6, 7, 8].

BIBLIOGRAFÍA

1. MISME, P.: Essai de radioclimatologie dans le Nord de la France. *Annales des Télécommunications* T. 13, Vol. 11-12 (1958).
2. BEAN, B. R., y THAYER, G. D.: On models of the atmospheric radio refractive index. *Proc. I. R. E.*, 47, 740-755 (1959).
3. DU CASTEL, F., y MISME, P.: Eléments de radioclimatologie. *Onde Electrique* (diciembre de 1957).
4. LANE, J. A.: The radio refractive index gradient over the British Isles. *Journal of Atmos. and Terr. Physics*, Vol. 21, págs. 157-166 (1961).
5. BEAN, B. R.; FEHLHABER, L., y GROSSKOPF, J.: Die Radiometeorologie und ihre Bedeutung für die Ausbreitung der m-, dm- und cm-Wellen auf grosse Entfernungen (Importancia de la radiometeorología para la propagación a gran distancia de las ondas métricas, decimétricas y centimétricas). *NTZ*, 1, 9 (1962).
6. BEAN, B. R.; CAHOON, B. A.; SAMSON, C. A., y THAYER, G. D.: A World Wide Atlas of Radio Refractive Index. Monograph No. 1, Environmental Sciences Services Administration, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. (1966).
7. WICKERTS, S.: Atmósfera radiometeorológica normal (en sueco). Instituto de Investigaciones del Ministerio de Defensa Nacional, Dep. 3, *Informe A 3740-60* (1968).
8. PAWLOWSKI, W.: Distribución de la refractividad en el sur del mar Báltico durante el verano de 1964, desde el punto de vista de la influencia de la circulación atmosférica y del tipo de masas de aire (en polaco). *Acta Geophysica Polonica*, Vol. XV, 4 (1967).

INFORME 233-2 *

INFLUENCIA DE LAS REGIONES NO IONIZADAS DE LA ATMÓSFERA EN LA PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS

Propagación suelo-suelo

(Cuestión 2-1/5)

(1959 - 1963- 1966 - 1970)

1. Introducción.

En el presente Informe se estudian la influencia de la atmósfera en la propagación de las ondas y la elección de los parámetros radiometeorológicos, acompañándose al mismo mapas de las características del índice de refracción, para su uso en los problemas prácticos de propagación.

Los problemas de propagación en los cuales interviene la atmósfera, pueden clasificarse de forma diferente:

1.1 *En función del elemento que se mide, por ejemplo, una distancia, un ángulo, una pérdida de transmisión:*

— en la medición de una distancia interviene directamente el índice de refracción del aire en forma de una integral

$$l = \int_S n ds$$

en la cual l es la longitud eléctrica del trayecto S , n el índice de refracción en cualquier punto de trayecto y ds el incremento de longitud a lo largo del trayecto;

— en la medición de un ángulo interviene el gradiente del índice de refracción, puesto que la curvatura de un trayecto en un punto es directamente proporcional al gradiente del índice de refracción en ese punto;

— la pérdida de transmisión en la propagación transhorizonte es función de algunos parámetros radiometeorológicos, tales como el gradiente del índice de refracción y la estabilidad de la atmósfera.

1.2 *En función del ángulo en que se atraviesa la atmósfera.*

Si el trayecto atraviesa la atmósfera en un ángulo de elevación relativamente grande, por ejemplo, en el caso de enlace con satélite, la atmósfera no interviene más que como un término de corrección con respecto a la propagación en el vacío. Este término es pequeño para ángulos de elevación grandes, y resulta difícil calcularlo con precisión en el caso de pequeños ángulos de elevación, por lo que interesa evitarlos. Un modelo sencillo de la atmósfera es suficiente para evaluar esta corrección.

Si el trayecto permanece fijo en las capas inferiores de la atmósfera, por ejemplo en el caso de enlaces de relevadores radioeléctricos, la atmósfera desempeña un papel importante, en especial en el caso de los relevadores radioeléctricos transhorizonte (distintos de los que utilizan la difracción), para los cuales no habría enlace posible sin la intervención de la atmósfera. En este caso, si pudiera concebirse un modelo de atmósfera, sería por completo diferente del anterior.

* Adoptado por unanimidad.

2. Correlación entre la propagación transhorizonte y parámetros radiometeorológicos.

Desde hace varios años ha habido que tener en cuenta en muchas mediciones, hechas en países de clima templado, la variación vertical del índice de refracción. Para simplificar el problema se ha representado la atmósfera por la diferencia ΔN entre el índice de refracción a 1 km de altura y el correspondiente al nivel del suelo. En cierto número de casos se ha determinado en teoría y se ha comprobado experimentalmente que existe una correlación entre las variaciones del campo observado y la cantidad ΔN . Esta correlación sólo se ha podido poner claramente de manifiesto en los climas templados cuando la comparación se hace a base de valores medianos mensuales, o por lo menos semanales [1, 2, 3 y 4].

Utilizando valores medios anuales, se ha introducido una atmósfera radioeléctrica normal a la que corresponde un radio terrestre equivalente igual al radio terrestre verdadero multiplicado por 4/3. En el caso general este factor, habitualmente representado por k , puede determinarse para cualquier región partiendo de observaciones meteorológicas o de medidas de propagación. En general, el valor de k deducido de mediciones de propagación representa una media en el espacio que, de otro modo, sólo podría obtenerse mediante numerosos sondeos meteorológicos efectuados simultáneamente a lo largo del trayecto de propagación. La distribución de los valores así determinados presenta menos variabilidad que la deducida de medidas meteorológicas efectuadas en puntos aislados. Esta variabilidad disminuye a medida que aumenta la distancia.

Se ha introducido la noción de gradiente equivalente, que es el gradiente ficticio constante que produce, cuando reemplaza a los gradientes reales en un trayecto dado, los mismos efectos de refracción [5].

Se ha tratado de mejorar la correlación entre el gradiente en las capas inferiores y las características del campo, teniendo en cuenta las condiciones de la atmósfera en las proximidades del volumen común. Se ha estudiado [6, 7, 8 y 9] la influencia de la estabilidad y de los movimientos del aire. No obstante, estos parámetros no parecen tener efectos comparables en todos los climas. La adición del gradiente del índice de refracción en la base del volumen común mejora la correlación [11].

Se ha demostrado que un parámetro de forma $T = aG_e + bG_c$ es representativo de la media mensual de la atenuación de propagación para distancias y climas muy distintos [10]. La experiencia ha llevado a asignar a los coeficientes a y b los valores respectivos $-3/8$ y $-5/4$.

G_e es el gradiente equivalente entre el suelo y el volumen común (que puede sustituirse a menudo por la diferencia entre el valor de N a 1 km por encima del suelo y el valor en el suelo).

G_c es la diferencia entre el valor de N en un punto situado a 1 km por encima de la base del volumen común y el valor en esta base, habiéndose calculado la altitud del volumen común mediante G_e .

T se expresa entonces en dB con relación a un cero arbitrario.

Se ha estudiado también una función del índice de refracción potencial [12]. Adviértase que el gradiente de este índice potencial está teóricamente relacionado con la medición de la estabilidad atmosférica.

Se ha comprobado en ciertos casos que existe una correlación entre el gradiente vertical del índice de refracción y el valor de este índice en la superficie de la Tierra [2, 13, 14, 15], al menos para los valores medios mensuales [25]. Esta correlación permite deducir una atmósfera básica de referencia de base en la que N varía exponencialmente con la altura, según la definición que figura en el Informe 231-2.

Se ha comprobado igualmente que existe una correlación entre la pérdida de transmisión observada y los valores del índice de refracción en la superficie [16 y 17]. No obstante, esto no se produce, al parecer, más que cuando existe una buena correlación entre el gradiente vertical del índice de refracción (por ejemplo ΔN) y el valor de este índice en la superficie [2, 13, 14, 15]. Tomando como base datos estadísticos meteorológicos, es más fácil determinar el valor del índice de refracción en la superficie que el del gradiente de índice; para determinar éste es necesario efectuar medidas con radio-

sondas que, en general, se hacen diariamente en los observatorios meteorológicos mundiales, a horas precisas. Se ha estudiado a fondo en los Estados Unidos la correlación entre la pérdida de transmisión y el valor del índice de refracción en la superficie, muy superiores a la del horizonte, habiéndose hallado entre los valores medianos coeficientes de correlación de 0,75, por lo menos, para períodos de unos 10 días. En los climas templados se ha observado que el mes correspondiente a la pérdida mayor de transmisión es también el que corresponde a los valores menores de N_s , donde N_s es el valor de N al nivel del suelo.

Si en estas regiones la variación anual de la media mensual de N_s es pequeña (inferior 10 a 15 N aproximadamente), no es de esperar una buena correlación entre la variación de la pérdida de propagación y el valor medio mensual de N_s .

En otros climas, los datos de correlación no permiten llegar a ninguna conclusión. Ciertas mediciones han revelado una buena correlación [18, 19], y otras, una mala correlación [20]. En este último caso, la correlación parece satisfactoria, salvo durante el período del año en el que N_s excede 350 aproximadamente. Sin embargo, la aplicación de este valor como criterio mundial debe efectuarse con prudencia. Con los pocos datos sobre los valores de la pérdida de transmisión de que se dispone para el sur de Estados Unidos (valores medidos en verano, cuando N_s rebasa 350), se encuentra que la correlación con N_s es casi la misma que en los meses de invierno. En uno de estos estudios [22], donde se han calculado las regresiones con arreglo a los ciclos anuales de la media mensual de N_s y de la pérdida de transmisión mediana mensual, el coeficiente de correlación medio de 9 trayectos, en los que las medias de N_s estaban comprendidas entre los valores aproximados de 360 y 370 durante el verano, era de 0,70, mientras que en los 11 trayectos restantes, en los que N_s era generalmente inferior a 350, se comprobó que la correlación media no pasaba de 0,69. La causa de la disminución de la correlación observada en las demás regiones del mundo parece demasiado compleja para poder representar esa disminución mediante un parámetro tan simple como N_s , y que tenga por origen las características verticales de las masas de aire (por ejemplo, la subsidencia).

N_s suele ser útil para predecir las variaciones regionales, estacionales y diurnas de las pérdidas de transmisión, pero, en cambio, no es de gran utilidad para predecir esas variaciones en las regiones tropicales y ecuatoriales.

Por esta razón, se estima necesario proseguir estos estudios en regiones del mundo de climas diversos.

A título informativo se señala que si ΔA representa la variación de la media mensual de las pérdidas de transmisión en dB; $\Delta(N_s)$ la variación de la media mensual de N_s en unidades N ; $\Delta(\Delta N)$ la variación de la media mensual de ΔN en unidades N ; α_1 y α_2 los coeficientes de proporcionalidad en unidades correspondientes, puede escribirse entonces

$$\Delta A = \alpha_1 \Delta(N_s) \text{ y } \Delta A = \alpha_2 \Delta(\Delta N)$$

Se ha encontrado experimentalmente que:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 0,2 \text{ en Estados Unidos y Japón;} \\ &= 0,6 \text{ en Francia y en la República Federal de Alemania.} \end{aligned}$$

El documento V/45 (U. R. S. S.), Ginebra, 1965, demuestra que α_1 varía con la distancia.

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= 0,5 \text{ en los Estados Unidos y Japón,} \\ &= 0,9 \text{ en Francia, pero en determinados años no se ha observado proporcionalidad alguna entre } \Delta A \text{ y } \Delta(\Delta N), \\ \alpha_2 &= \text{no ha sido medido ni en la República Federal de Alemania ni en la Unión Soviética.} \end{aligned}$$

La validez de estas proporcionalidades no ha sido establecida en el Reino Unido. No se dispone de los valores de α_1 y α_2 para los demás países.

El conocimiento de las variaciones de todos los parámetros arriba indicados es importante para determinar las probabilidades de interferencia entre estaciones y la

formación de conductos atmosféricos capaces de perturbar los enlaces con visibilidad directa. Por ejemplo, las variaciones en la Tierra de los valores del índice de refracción están muy ligadas a la refracción de las ondas radioeléctricas en Estados Unidos para ángulos de elevación de 1° como mínimo; sin embargo, para ángulos inferiores a $0,5^\circ$, es preciso tener en cuenta el gradiente vertical [19, 21]. Debido a ello, puede ser útil conocer, además del valor medio de ΔN , la ley de distribución del gradiente cerca del suelo y su dependencia respecto de las condiciones climáticas.

No parece posible preparar mapas mundiales para todos los parámetros anteriormente enumerados. No obstante, en las figs. 1 a 8, se reproducen mapas de ΔN y de N_0 para ciertos meses representativos (véase en el § 3 la definición de N_0).

3. Mapas del índice de refracción en el suelo.

Se estudia a continuación la cantidad N definida por $N = (n - 1) \cdot 10^6$, donde n es el índice de refracción del aire. Se toma para N su valor medio mensual.

Sabido es que sistemáticamente N disminuye con la altura. Para no confundir las variaciones de N debidas a la altura h de un observatorio y las debidas a la climatología, es interesante tratar de calcular el valor que tendría N referido al nivel del mar.

En tal caso, puede corregirse cada valor de N medido en el suelo por un factor mayor que la unidad para obtener el valor N_0 que alcanza N al nivel del mar.

Este procedimiento permite paliar la dificultad que presenta la preparación de mapas de N_0 . Puesto que no es posible obtener un valor «correcto» de N_0 , puede, en cierto modo, hacerse una elección arbitraria del método que ha de utilizarse. Sin embargo, para que N_0 sea perfectamente representativo de la atmósfera en un lugar dado, es necesario y suficiente que sea aplicable la ley exponencial $N(h)$. Para calcular N_0 se utiliza una función exponencial única con una constante fija.

Se ha estudiado igualmente la media mensual de $N(h)$. Consideraciones de orden teórico y experimental inducen a pensar que $N(h)$ es sistemáticamente exponencial en las regiones de alta latitud. Sin embargo, dada la no homogeneidad de los datos obtenidos en las regiones intertropicales, cabe dudar de que sea aplicable en estas regiones una función exponencial o cualquier otra función elemental [15].

Las figs. 1 y 2 indican respectivamente las isopletas de los valores medios de N_0 en febrero y agosto, y la fig. 3 muestra las zonas en las que $N_0 > 350$ en valor medio mensual.

Nota.—Dada la escala de los mapas, el número de puntos de medida y los métodos de cálculo, el grado de incertidumbre de los valores N_s que pueden obtenerse es del orden de algunas unidades N en las regiones templadas y de una decena de unidades N en las regiones intertropicales.

Algunas administraciones nacionales han efectuado análisis más minuciosos para sus respectivos territorios. Además, la Administración de Estados Unidos ha establecido un gran número de mapas y gráficos para el mundo entero y para ciertos meses elegidos [23].

4. Mapas de ΔN .

Para esta magnitud, parece que la altitud de la estación de observación tiene escasa importancia si el relieve no es demasiado irregular. Se ha calculado, pues, ΔN por la fórmula:

$$\Delta N = N_s - N_1$$

en la cual N_1 es el valor de N a 1 km por encima del suelo. Gracias a la instalación de un gran número de estaciones en las regiones en que su densidad era anteriormente muy escasa (especialmente durante el Año Geofísico Internacional y después), se puede ya preparar mapas mundiales de ΔN .

5. Preparación de los mapas de ΔN .

Valores medios de datos meteorológicos para grandes altitudes se publican mensualmente en un periódico patrocinado por la O. M. M. con el título «Datos climatoló-

gicos mensuales mundiales». Se han seleccionado los datos obtenidos durante cinco años por 269 estaciones repartidas por todo el mundo y se han calculado los valores medios mensuales de ΔN de estos datos, interpolando los datos correspondientes a 850 mb y los obtenidos en el suelo (en ciertos casos se han tenido que utilizar los datos correspondientes a 700 mb, y para las estaciones de Estados Unidos de América se disponía, en muchos casos, de datos correspondientes al nivel de 900 mb). Se han calculado a continuación los valores medios de cada uno de los 12 meses durante cinco años; los mapas preparados a base de estos datos se reproducen en las figs. 4 a 7. La mayor parte de los valores que figuran en estos mapas se ha obtenido en observaciones hechas a las 0000TU (en algunos casos, se dan las medias de dos observaciones por día, o más).

6. Mapas del gradiente de N en las proximidades del suelo.

No es posible todavía publicar estos mapas.

En la fig. 8 se da un ejemplo de la variación mundial de estas leyes de distribución del gradiente en los cien primeros metros. Aunque no sea aún suficiente el número de datos, se han publicado mapas mundiales [23] provisionales de este gradiente excedido durante el 10 % y el 2 % del tiempo y se han comunicado a título informativo a los ingenieros de telecomunicación.

Nota 1.—La aplicación de estos datos a un mes de un año determinado debe hacerse con la mayor prudencia, pues las variaciones de N_s y de ΔN de un año a otro, en un mes dado, pueden ser iguales o superiores a la variación anual de los valores medios mensuales.

Nota 2.—Estos mapas deben también utilizarse con prudencia en las regiones montañosas y próximas al litoral, sobre todo cuando el gradiente horizontal del parámetro representado (N_0 o ΔN) es elevado.

BIBLIOGRAFÍA

1. SAXTON, J. A.: Propagation of metre waves beyond the normal horizon. *Proc. I. E. E.*, Part III (1951).
2. BEAN, B. R., y MEANY, F. M.: Some applications of the monthly median refractivity gradient in tropospheric propagation. *Proc. IRE*, 43, 10, 1419-1431 (octubre de 1955).
3. TROITSKY, V. N.: Desvanecimiento de las ondas ultracortas en sistemas de relevadores radioeléctricos (en ruso). *Elektrosviaz*, 10 (1958).
4. C. C. I. R.: Doc. V/24 (R. S. Checoslovaquia), 1956-1959.
5. MISME, P.: Le gradient équivalent: mesure directe et calcul théorique. *Annales des Télécommunications*, 15, 92 (1960).
6. BOLGIANO, R.: A theory of wavelength dependance in ultrahigh frequency transhorizon propagation based on meteorological considerations. *NBS Journal of Research*, Part D, 3 (mayo-junio de 1960).
7. MISME, P.: Corrélation entre le champ a grande distance et un nouveau paramètre radiométéorologique. *Transactions of PGAP*, AP-6, 3 (1958).
8. MISME, P.: Influence du gradient équivalent et rôle de la stabilité atmosphérique dans les liaisons transhorizon au Sahara et au Congo. *Annales des Télécommunications*, 16, 5-6 (1961).
9. FUKUSHIMA, M.: Some investigations of the effect of mountain wave on the distribution of the atmospheric refractive index. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Series II, 45, (agosto de 1967).
10. BATTISTI, J.; BOITHIAS, L., y MISME, P.: Calcul des affaiblissements en propagation transhorizon à partir des paramètres radiométéorologiques. *Annales des Télécommunications* (mayo-junio de 1968).

11. C. C. I. R.: Doc. V/57 (Estados Unidos), 1959-1963.
12. FLAVELL, R. G., y LANE, J. A.: The application of potential refractive index in tropospheric wave propagation. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 24 (1962).
13. MISME, P.: Essai de radioclimatologie d'altitude dans le Nord de la France. *Annales des Télécommunications*, Vol. 13, 11-12 (1958).
14. LANE, J. A.: The radio refractive index gradient over the British Isles. *Jour. of Atm. and Terr. Physics*, 21 (1961).
15. MISME, P.; BEAN, B. R., y THAYER, G. D.: Models of the atmospheric radio refractive index. *Proc. IRE*, 48, 8 (agosto de 1960).
16. PICKARD, G. W., y STETSON, H. T.: A study of tropospheric reception at 428 Mc/s and meteorological conditions. *Proc. IRE*, 35 (diciembre de 1947).
17. BEAN, B. R.: Some meteorological effects on scattered radio waves. *IRE, Trans. on Comm. Systems*, CS-4, 1, 32-38 (marzo de 1956).
18. ONOE, M., y otros: Results of experiments of long-distance overland propagation of ultra-short waves. *J. Radio Res. Lab.* (Tokio), 5, 20 (abril de 1958).
19. GRAY, R. E.: Refractive index of the atmosphere as a factor in tropospheric propagation far beyond the horizon. *Elec. Comm.*, Vol. 36, 1959, p. 60.
20. BÔITHIAS, L., y MISME, P.: Limite d'utilisation de l'indice de réfraction au sol. *Annales des Télécommunications*, 19 (noviembre-diciembre de 1964).
21. BEAN, B. R., y CAHOON, B. A.: The use of surface weather observations to predict the total atmospheric bending of radio waves at small elevation angles. *Proc. IRE*, Vol. 45, 11 (noviembre de 1957).
22. BEAN, B. R., y CAHOON, B. A.: Correlation of monthly medium transmission loss and refractive-index profile characteristics. *NBS Journ. of Research*, 65D, 1 (1961).
23. BEAN, B. R.; HORN, J. D., y OZANICH, A. M. (Jr.): Climatic charts and data of the Radio refractive index for the United States and the World, NBS, Monograph 22 (noviembre de 1960). Supt. of Docs. U. S. Govt. Printing Office, Wash. 25, D. C.
24. BEAN, B. R.; CAHOON, B. A.; SAMSON, C. A., y THAYER, G. D.: *A World Wide Atlas of Radio Refractive Index*. Monograph No. 1, Environmental Sciences Services Administration. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C., 1966.
25. WICKERTS, S.: Atmósfera radiometeorológica normal (en sueco). *Instituto de Investigaciones del Ministerio de Defensa Nacional*, Dep. 3, Informe A 3704-60 (1968).

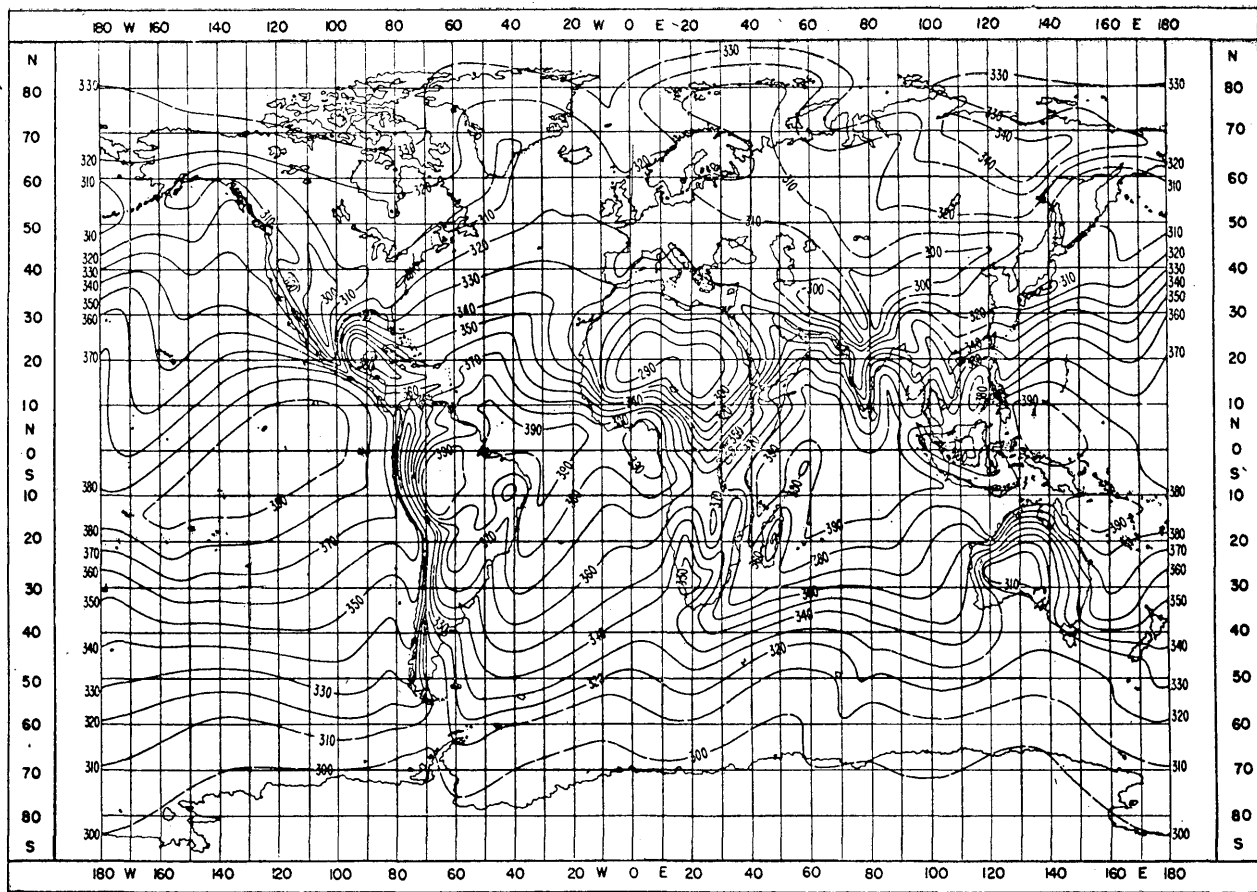


FIGURA 1
 Valor medio de N_0 : febrero

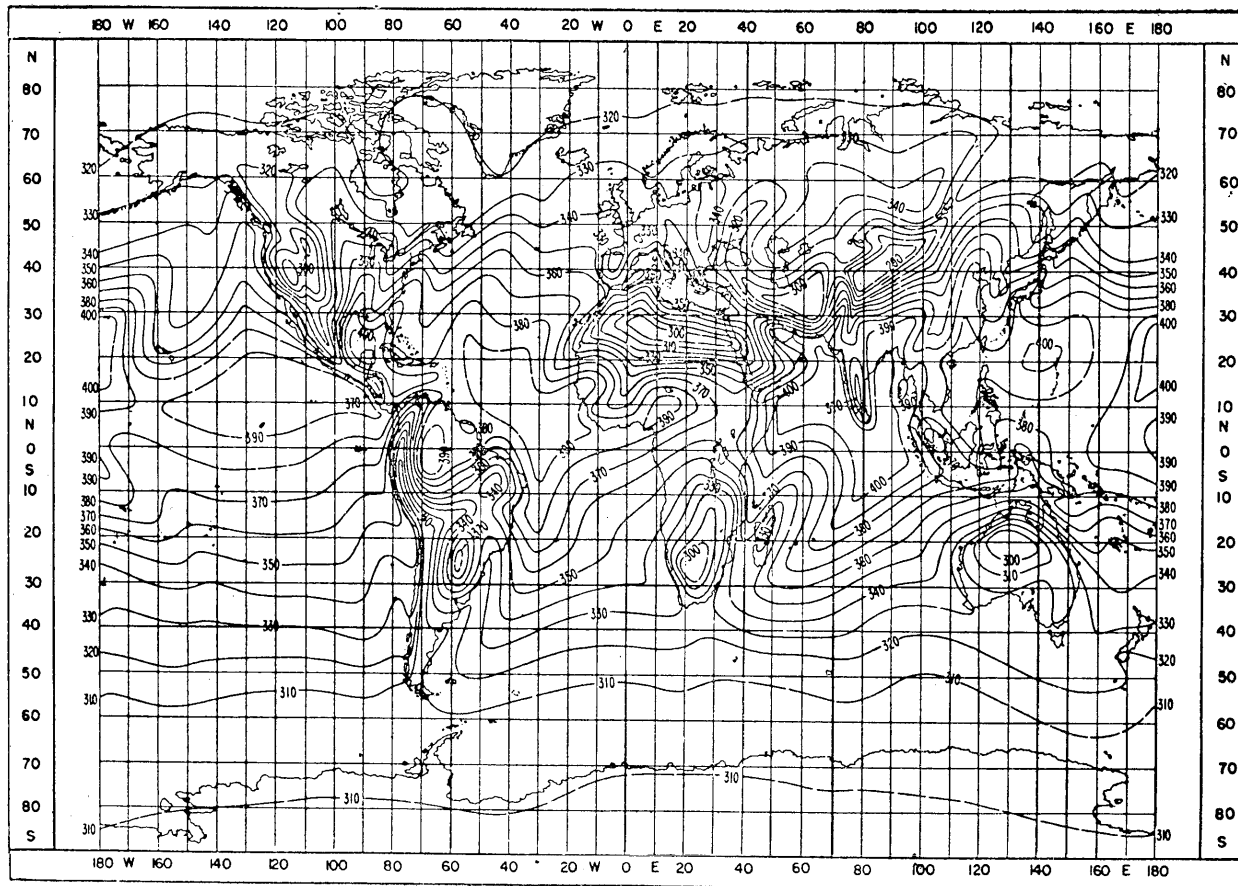


FIGURA 2

Valor medio de N_0 : agosto

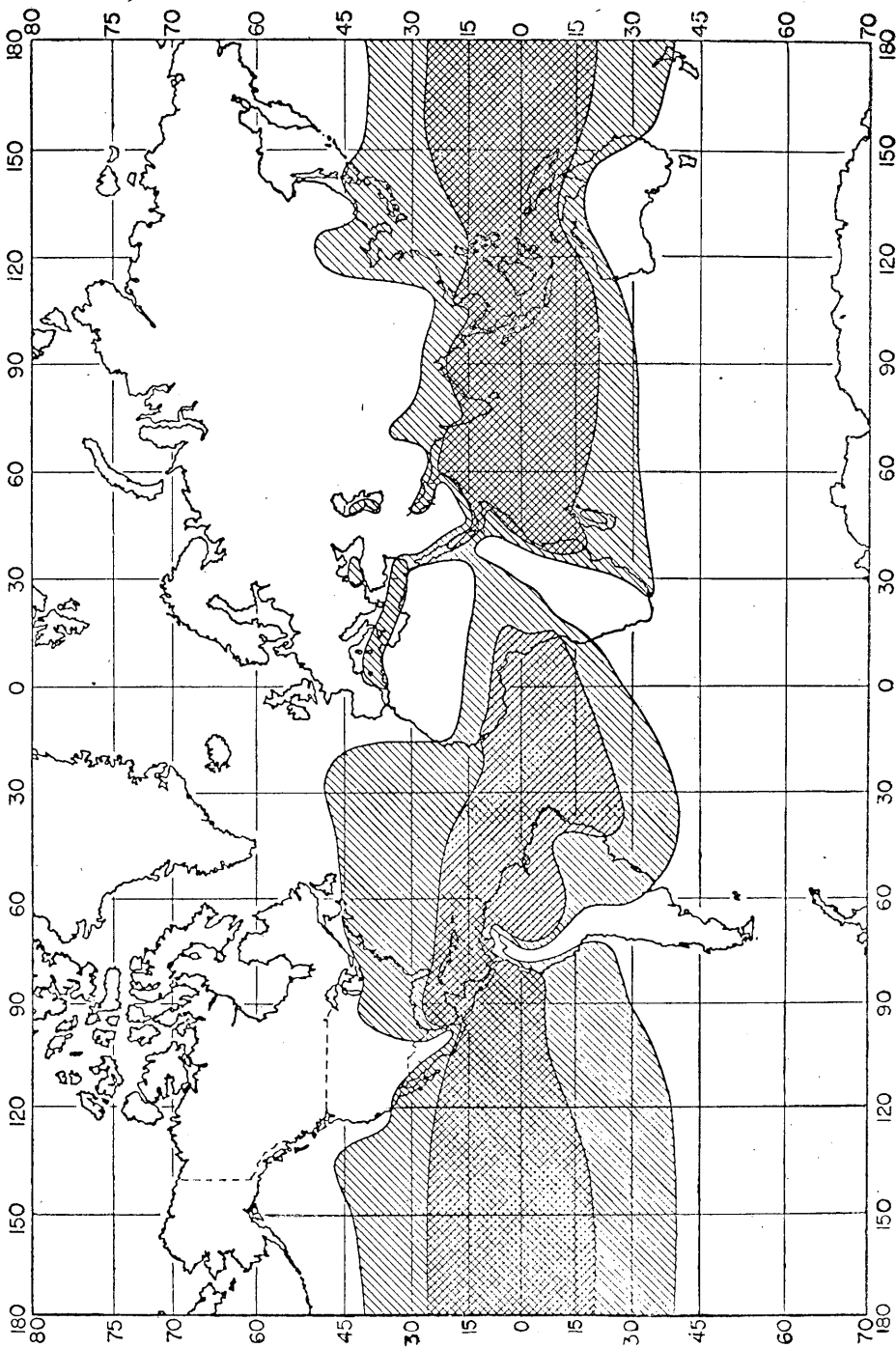


FIGURA 3

-  Valor medio mensual de $N_s > 350$ unidades N durante un mes por lo menos
-  Valor medio mensual de $N_s > 350$ unidades N durante todos los meses

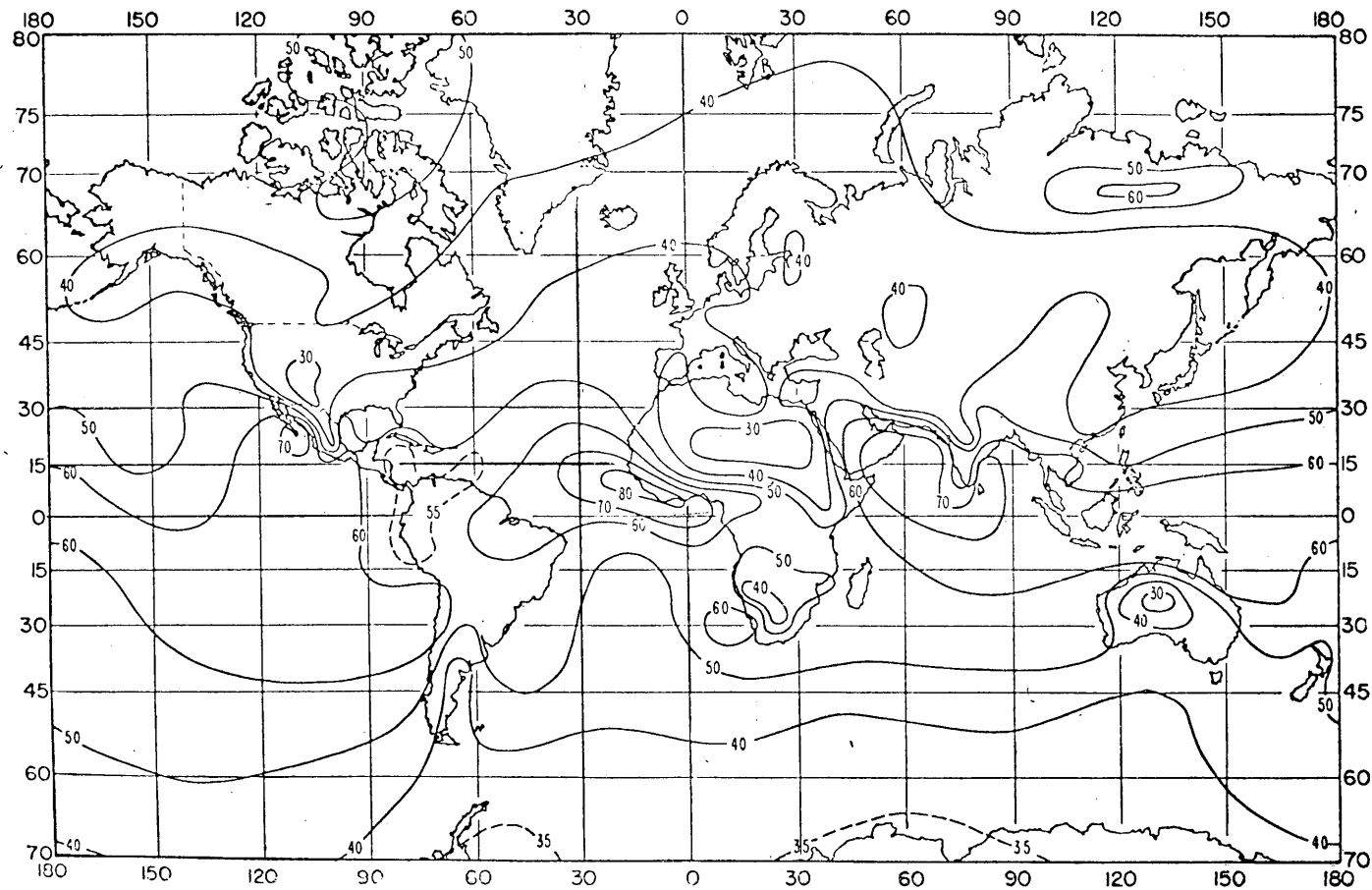


FIGURA 4

Valores medios mensuales de ΔN : febrero

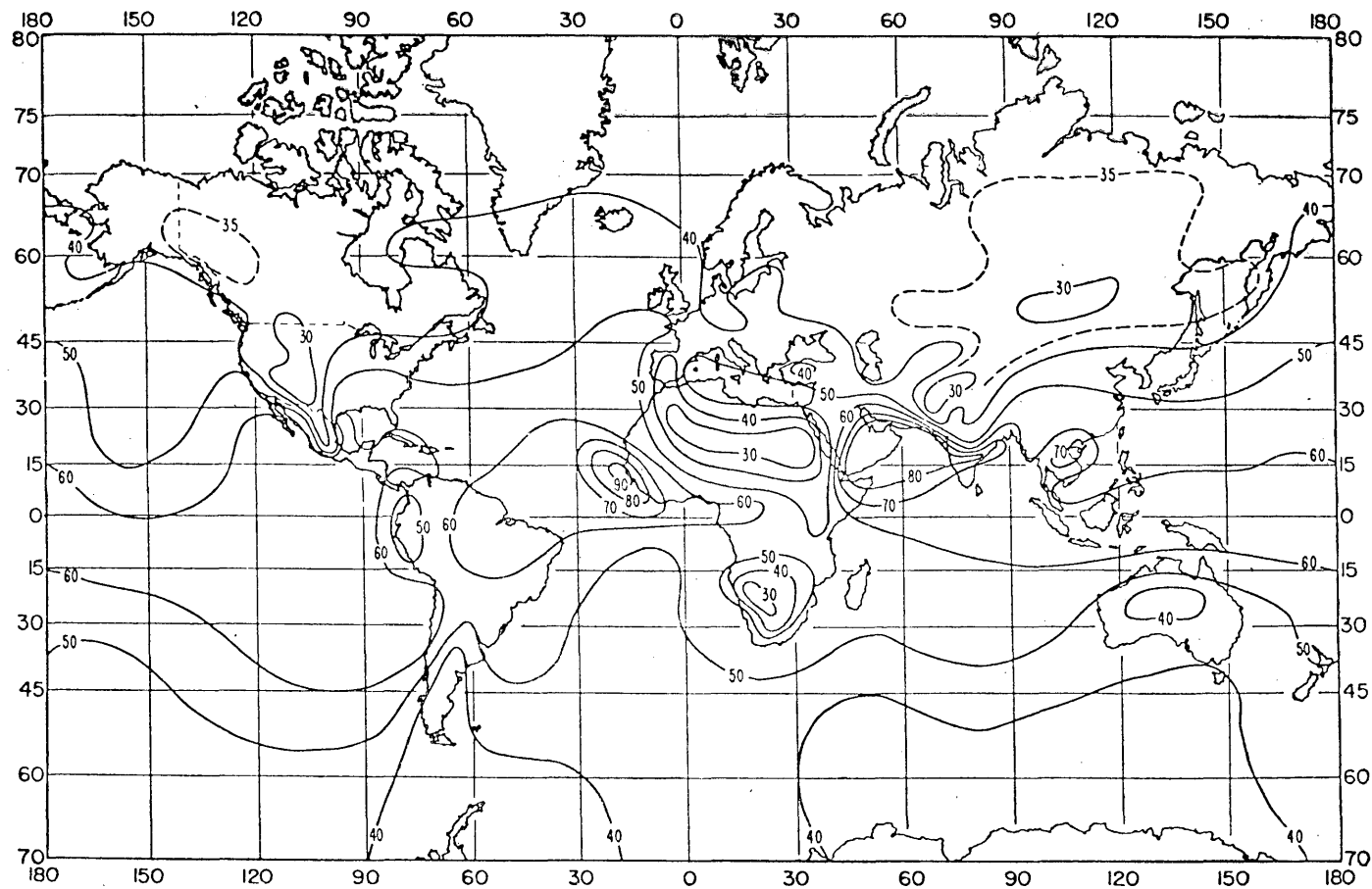


FIGURA 5

Valores medios mensuales de ΔN : mayo

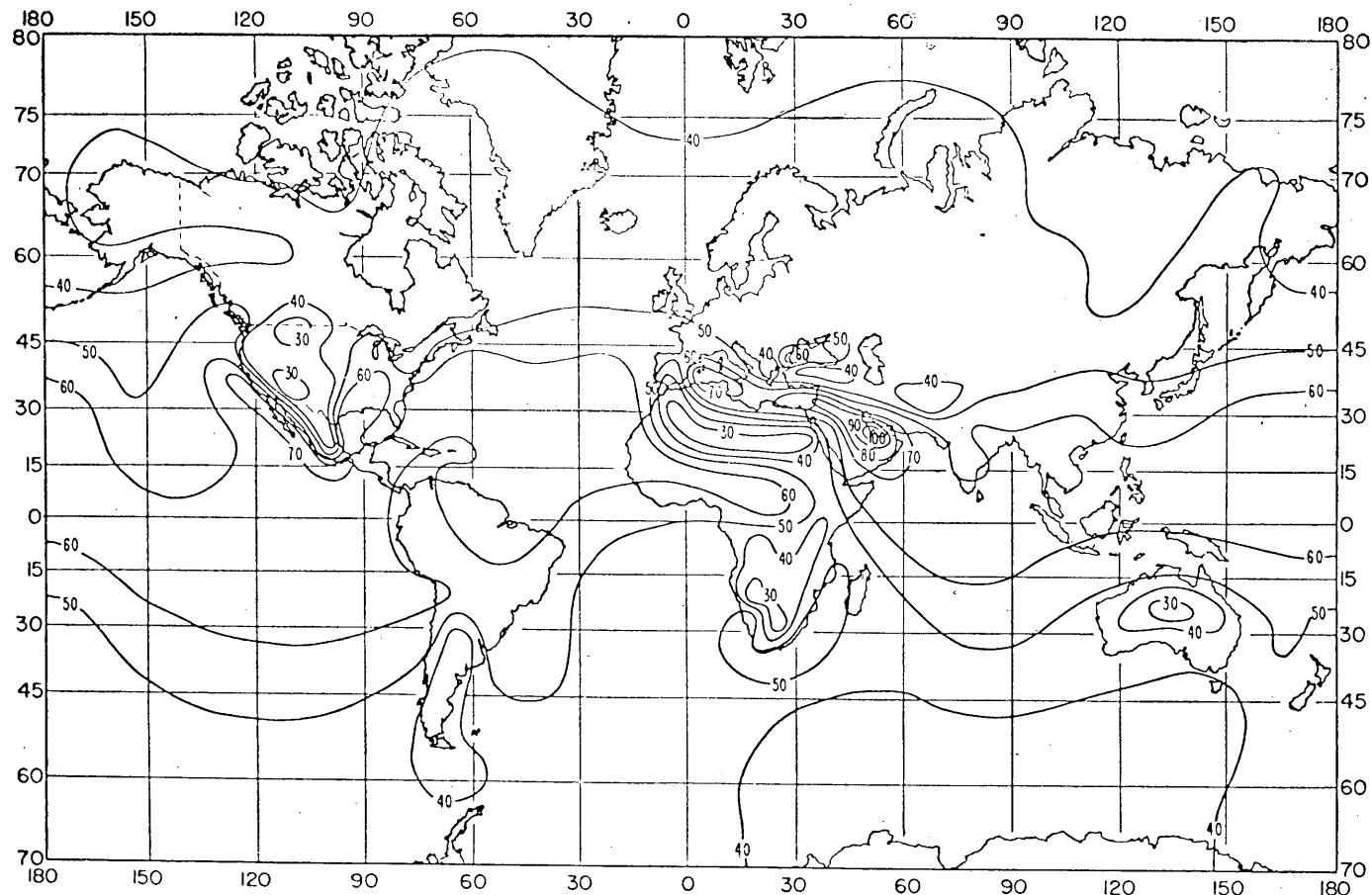


FIGURA 6

Valores medios mensuales de ΔN : agosto

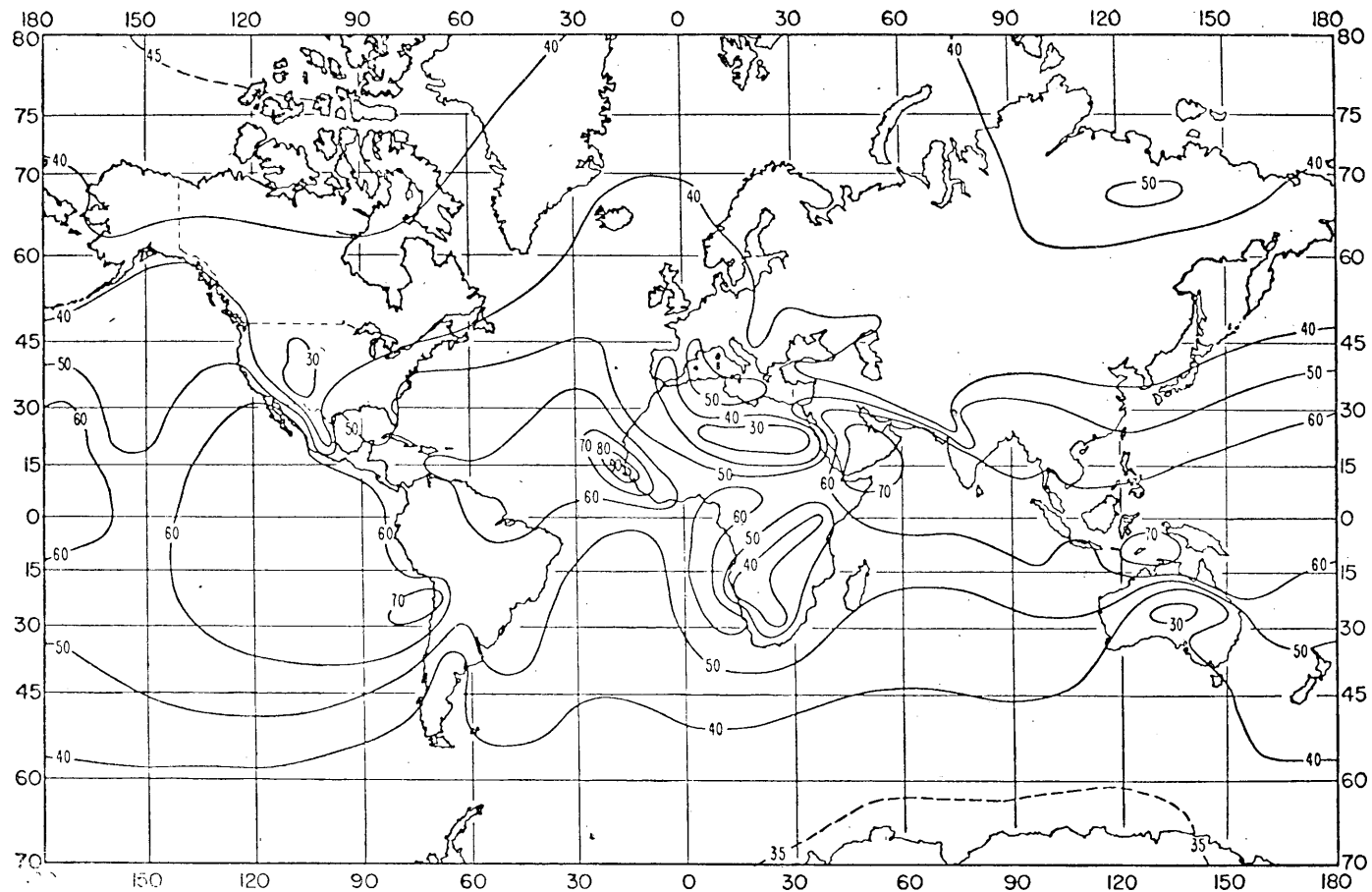
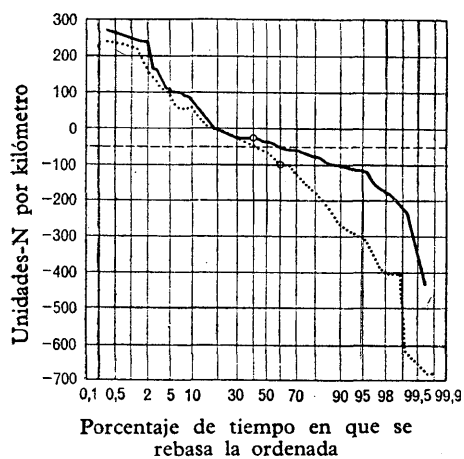


FIGURA 7

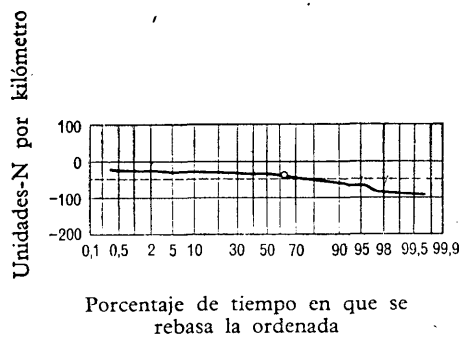
Valores medios mensuales de ΔN : noviembre



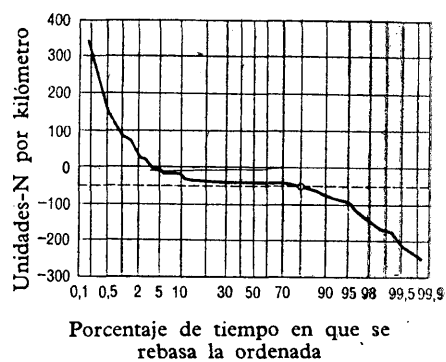
Nicosia, Chipre

..... 0000 GMT

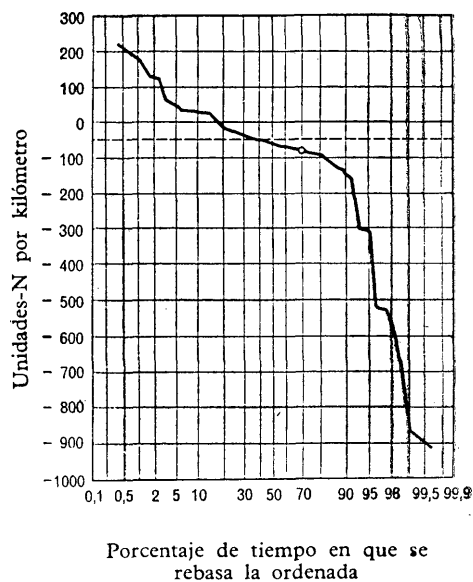
———— 1200 GMT



Ostersund, Suecia



Nueva York



Bangui, República Centroafricana

FIGURA 8

Distribuciones cumulativas de probabilidades de dN/dh hasta 100 m. del suelo

INFORME 234-2 *

INFLUENCIA DE LA REFRACCIÓN TROPOSFÉRICA Y DE LA ATENUACIÓN
EN LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN ESPACIAL

Propagación Tierra-espacio

(Cuestión 2-1/5, Programa de estudios 5-1C-1/5)

(1963 - 1966 - 1970)

1. Introducción.

En la propagación a través de las regiones no ionizadas de la atmósfera, las variaciones espaciales del índice de refracción pueden originar una refracción y una dispersión de las ondas. Por otra parte, los gases atmosféricos y las precipitaciones dan lugar a una absorción que puede ser importante en frecuencias superiores a 1 GHz, aproximadamente. En el presente Informe se exponen brevemente las características principales de la absorción y refracción atmosférica, sobre todo desde el punto de vista de las radiocomunicaciones Tierra-espacio.

2. Refracción.

2.1 *Curvatura de los rayos en la troposfera.*

Es escasa la información publicada en relación con la curvatura del rayo de las ondas electromagnéticas al atravesar la atmósfera. Se han descrito las medidas realizadas con la ayuda de las técnicas radar [1, 2]. También se han descrito [3] mediciones hechas con un radiómetro para observar la posición aparente del Sol, y se han hecho observaciones sobre la variabilidad de la refracción empleando técnicas de fase [4].

Teniendo en cuenta las medidas realizadas por el «Weather Bureau», de la variación del índice de refracción en función de la altura [5] se han hecho estudios analíticos de la refracción considerándola como una función del índice de refracción en la superficie terrestre: N_s . En el Reino Unido se han elaborado estadísticas de la curvatura de los rayos con pequeños ángulos de elevación, basados en mediciones de la variación del índice de refracción en función de la altura en el primer kilómetro sobre la superficie de la Tierra [8], realizadas mediante globos cautivos. En [6] y [7] se ha demostrado que N_s es un parámetro adecuado para prever la refracción a través de la atmósfera (véase también el Informe 233-2). No obstante, se han formulado algunas dudas sobre la posibilidad de emplear N_s en las regiones ecuatoriales [9]. También se puede utilizar el gradiente equivalente para determinar la curvatura, si bien es difícil calcular este parámetro porque se precisa conocer la variación del índice de refracción con la altura.

Se ha observado que gran parte de la curvatura de un rayo se produce en la parte más densa y variable de la atmósfera, cerca de la superficie terrestre. En el caso de la propagación Tierra-espacio, los errores debidos a la refracción que afectan al ángulo de elevación aparente de un satélite disminuyen cuando el satélite se desplaza del horizonte hacia el cenit. Por ejemplo, suponiendo un valor muy grande de N_s , $N_s = 450$ en la atmósfera de referencia (véase el Informe 231-2), la corrección del ángulo de elevación disminuye de 32 a 5 milirradiantes cuando el ángulo de elevación aumenta de 0 a 52 milirradiantes (0 a 3°) [10]. Si un trayecto de este tipo atraviesa la atmósfera a alturas siempre superiores a varios kilómetros, como es el caso cuando la estación terrena terminal está ubicada en un lugar elevado, evita las regiones densas y variables de la atmósfera,

* Adoptado por unanimidad; se señala a la atención de las Comisiones de estudio 4 y 9.

su curvatura total es menor, y siguen siendo utilizables los modelos atmosféricos antes mencionados.

Para obtener una precisión adecuada en el cálculo del ángulo de elevación requerido, son necesarias correcciones que tengan en cuenta el hecho de que la propagación no es rectilínea. Para un error no superior a 10^{-4} radianes durante el 99,5 % del tiempo con ángulos de elevación inferiores a 10° es preciso tener en cuenta la variación efectiva del índice de refracción en función de la altura; si el ángulo de elevación está comprendido entre 10° y 50° , basta efectuar una corrección calculada a base de uno de los modelos del Informe 231-2; con ángulos de elevación superiores a 50° , no hay necesidad de hacer esta corrección.

La precisión requerida para orientar una antena es tanto mayor cuanto más estrecho es el haz de la antena. Los modelos de atmósfera antes mencionados son en ocasiones insuficientes para determinar la dirección de orientación de la antena; en estas condiciones es preciso utilizar los valores medidos del índice de refracción en función de la altura.

En el Informe 393-1 se ha tratado del problema de los efectos de la refracción en la protección de la órbita geostacionaria.

2.2 Centelleos de amplitud, de fase y angulares.

Además de la curvatura del rayo producida por las variaciones relativamente importantes en la distribución vertical del índice de refracción, las pequeñas variaciones irregulares del índice de refracción pueden producir rápidas fluctuaciones de la amplitud, la fase y el ángulo de incidencia. Estos efectos limitan la precisión de los sistemas de seguimiento, basados normalmente en el supuesto de que no hay distorsión de fase del frente de la onda que llega al receptor. Esta incoherencia de fase afecta también la estabilidad de las frecuencias transmitidas a través de la atmósfera y contribuye a la degradación de la ganancia que se experimenta con antenas de grandes dimensiones.

Las pequeñas variaciones del índice de refracción son generalmente insignificantes en los enlaces espacio-espacio o Tierra-espacio realizados con grandes ángulos de elevación y en frecuencias inferiores a unos 20 GHz. En frecuencias más elevadas y en determinadas condiciones meteorológicas, sus efectos pueden ser importantes. En el supuesto de una fuente situada fuera de la troposfera y de una antena parabólica de recepción de unos pocos metros de diámetro, las más importantes fluctuaciones cresta a cresta que pueden esperarse con atmósfera clara son de ± 4 dB y ± 2 dB aproximadamente, en 100 y 35 GHz, respectivamente, con ángulos de elevación superiores a 45° . Con ángulos de elevación de unos 10° , las fluctuaciones pueden, sin embargo, alcanzar ocasionalmente valores de ± 12 y de ± 6 dB en 100 y 35 GHz, respectivamente.

Se considera que, para una distancia de 6 m medida perpendicularmente al frente de onda (representativa del diámetro de una gran antena milimétrica), el valor eficaz de la diferencia de fase introducida por la troposfera en un enlace Tierra-espacio, puede a veces alcanzar 40° y 15° en 100 GHz, y 35 GHz, respectivamente, cuando el ángulo de elevación es superior a 45° . Con un ángulo de elevación de unos 10° , estos valores aumentan hasta aproximadamente 80° y 30° en 100 GHz y 35 GHz, respectivamente.

Estas estimaciones de los centelleos de amplitud y de fase se han calculado teóricamente utilizando valores medidos de las fluctuaciones del índice de refracción [11, 12]. Deben, por lo tanto, utilizarse con precaución en espera de observaciones experimentales más directas efectuadas en diversas condiciones meteorológicas.

Las fluctuaciones de corto período del ángulo de llegada en frecuencias de unos 4 GHz y con ángulos de elevación de unos 15° , tendrán probablemente un valor eficaz comprendido entre 2 y 5×10^{-5} radianes aproximadamente.

3. Atenuación.

3.1 Consideraciones generales.

En frecuencias superiores a unos 3 GHz, la atenuación de las ondas radioeléctricas y las contribuciones a la temperatura de ruido del sistema (véase el § 4) resultantes de la absorción y de la dispersión por los gases atmosféricos y el agua adquieren creciente im-

portancia y deben tenerse en cuenta al diseñar sistemas de telecomunicación espaciales para esta gama de frecuencias. La atenuación por los gases atmosféricos se debe casi enteramente a la absorción del oxígeno neutro y del vapor de agua. La presencia del agua puede ejercer ciertos efectos. La atenuación debida al agua líquida en forma de lluvia, nubes o niebla, es el resultado de la dispersión y de la absorción; la importancia relativa de estos fenómenos depende de las dimensiones de las partículas con relación a la longitud de onda. La atenuación producida por la nieve puede también ser importante en frecuencias superiores a 3 GHz y, según las características de la nieve, puede ser superior a la atenuación producida por lluvias con un régimen de precipitación equivalente [13]. Dada la diferencia en las propiedades dieléctricas del hielo y el agua, las nubes formadas por partículas de hielo producen atenuaciones inferiores en dos órdenes de magnitud a las producidas por las nubes de agua con un contenido igual de agua [14].

Las pérdidas de la señal pueden deberse también al desenfoque atmosférico producido por la dispersión del haz de antena a causa de la variación de la refracción atmosférica en función del ángulo de elevación [15]. Este efecto debiera ser despreciable para todos los ángulos de elevación superiores a 3°.

3.2 Absorción debida al oxígeno y al vapor de agua.

La absorción del vapor de agua tiene una línea de resonancia en la frecuencia de 22,23 GHz y la absorción del oxígeno tiene una banda más ancha centrada en 60 GHz, debida a una serie de líneas aplastadas en la baja atmósfera, y una línea en 120 GHz.

La absorción gaseosa total en la atmósfera, A_a (en dB), en un trayecto Tierra-espacio de longitud r_0 (en km), la da la expresión:

$$A_a = \int_0^{r_0} \left\{ \gamma_o(r) + \gamma_w(r) \right\} dr$$

en donde γ_o , γ_w son los coeficientes de absorción (en dB/km) del oxígeno y del vapor de agua, respectivamente. Estos puede expresarse como sigue:

$$A_a = \gamma_{o0} r_{eo} + \gamma_{w0} r_{ew} \quad (\text{dB})$$

donde γ_{o0} y γ_{w0} son los coeficientes de absorción del oxígeno y del vapor de agua determinados en la superficie de la Tierra, y r_{eo} y r_{ew} las longitudes efectivas del trayecto a través de la atmósfera. La distancia efectiva para la absorción del oxígeno, r_{eo} , es la distancia que recorre una onda radioeléctrica a través de una atmósfera de densidad constante que se extienda hacia arriba desde la superficie hasta una altura de unos 4 km con un vacío superior. La distancia efectiva para la absorción del vapor de agua, r_{ew} , es aproximadamente igual a la longitud correspondiente a través de una atmósfera uniforme de unos 2 km de espesor.

En la fig. 1, extraída de un artículo [16], se indican los coeficientes de absorción, γ_o y γ_{w0} , para el oxígeno y el vapor de agua, determinados en condiciones normales de temperatura y de presión y para un valor superficial de humedad absoluta de 10 gm/m³ (aproximadamente igual a una relación de mezcla de 7,6 g/kg).

La fig. 2 ilustra la atenuación teórica en una dirección para trayectos verticales y horizontales a través de la atmósfera, en la gama de frecuencias comprendida entre 1 y 160 GHz, en un clima moderadamente húmedo (7,5 g/m³ en la superficie). Muestra igualmente los límites correspondientes a unas humedades relativas de 0 y de 100 % para el trayecto vertical a través de la atmósfera.

En la fig. 3, se indican los valores de la atenuación total debida al oxígeno, al vapor de agua y al desenfoque atmosférico, no excedidos durante el 20 % y el 0,01 % del mes menos húmedo del año, en función del ángulo de elevación [15] para 4,11 y 18 GHz.

3.3 Atenuación debida a las precipitaciones.

Generalmente, la atenuación debida a la lluvia sobrepasa la absorción combinada del oxígeno y del vapor de agua y es causada por la absorción de energía de las gotas de agua y por la dispersión de energía fuera del haz de la antena.

En la práctica, suele ser conveniente expresar la atenuación debida a la lluvia en función de la intensidad de la lluvia, R , que depende tanto del contenido de agua líquida como de la velocidad de caída de las gotas, que a su vez depende del tamaño de las gotas. Existen pruebas de que en las precipitaciones de intensidad dada, la distribución del tamaño de las gotas es muy diversa, lo que dificulta el cálculo de la atenuación de las ondas radioeléctricas causada por las precipitaciones.

La atenuación total A_r , originada por la lluvia en un trayecto de longitud r_0 se puede determinar integrando el coeficiente de absorción de la lluvia $\gamma_r(r)$, a lo largo del trayecto directo entre las dos antenas recíprocamente visibles:

$$A_r = \int_0^{r_0} \gamma_r(r) dr \quad (\text{dB})$$

Para determinar la absorción originada por la lluvia en función de la frecuencia y de la intensidad de la lluvia, se han realizado varios estudios teóricos [14, 17, 18] con distribuciones patrón de las dimensiones de las gotas [19]. Se ha comprobado [20] que los resultados de estos estudios se ajustan aproximadamente a la siguiente fórmula empírica:

$$\gamma_r = K R^\alpha \quad (\text{dB/km})$$

en la cual R es la intensidad de la lluvia en mm/h. La fig. 4 muestra la expresión gráfica de esta relación, así como la medida en que la frecuencia depende de K y de α . Estas curvas son aplicables a una temperatura de 18° C pero mediante el empleo de un factor de corrección [14] también se pueden aplicar a otras temperaturas.

En la práctica, se ha demostrado [17, 21] que, en una amplia gama de frecuencia inferior a unos 50 GHz, se puede considerar que el valor de α se aproxima a la unidad.

Conviene utilizar con precaución la fig. 4, porque las atenuaciones medidas en ciertas frecuencias (entre unos 20 y 35 GHz) tienden a exceder los valores máximos previstos [17]. Otra dificultad consiste en que el índice de precipitaciones en los trayectos reales de transmisión no es uniforme. Como resultado de estudios efectuados sobre la correlación espacial de los índices de precipitación se ha propuesto, para trayectos terrenales, el empleo de un factor de reducción [22] para relacionar las estadísticas de la atenuación debida a las precipitaciones en un trayecto real con la distribución de probabilidad acumulativa de las precipitaciones en un punto. El valor del factor de reducción, que es función de la longitud del trayecto, dependerá también de la media en el tiempo (y, por consiguiente, en el espacio), de los datos sobre las precipitaciones en un punto [23].

No abundan los estudios experimentales en las frecuencias superiores a unos 50 GHz. Sin embargo, los trabajos más recientes en este campo [13, 24] inducen a pensar que, salvo para índices de precipitación poco importantes, las atenuaciones observadas son inferiores a las que hacen prever las consideraciones teóricas. No obstante, serían deseables nuevas mediciones en frecuencias superiores a 50 GHz.

Salvo raras excepciones [25, 26, 27], las mediciones experimentales de la atenuación debida a la lluvia se han realizado en trayectos terrenales con visibilidad directa. Se requieren más informaciones sobre esta atenuación a lo largo de trayectos con grandes ángulos de elevación en los que resulten particularmente inciertos la distribución de las dimensiones de las gotas y la velocidad de caída. Se pueden emplear para ello fuentes tales como el Sol o radiofaros instalados a bordo de aeronaves o de satélites. Parece conveniente establecer una correlación entre estas mediciones y datos de dispersión hacia atrás facili-

tados simultáneamente por radares meteorológicos que funcionen en frecuencias en las que la atenuación pueda considerarse despreciable, a fin de poder extrapolar estos datos para otras regiones en las que haya radares meteorológicos. Los datos estadísticos resultarían sumamente útiles en el proyecto de sistemas de telecomunicaciones espaciales. (Véase, por ejemplo, el Informe 338-1).

Las estimaciones de la atenuación en 30 GHz en un trayecto en dirección cenital, en New Jersey, Estados Unidos, basadas en la observación durante un periodo de cinco meses, del ruido térmico generado por la lluvia en 6 GHz indican que la atenuación puede sobrepasar 6 dB en 30 GHz durante el 0,1 % del tiempo, y 36 dB durante el 0,01 % del tiempo [28].

También se han realizado estudios en la región central de la parte europea de la U. R. S. S. [29] de los que se derivaron las atenuaciones previstas durante el 0,1 y el 1 % del tiempo con diversos ángulos de elevación y en frecuencias comprendidas entre 5 y 20 GHz. Estos valores de atenuación se basaron en las mediciones hechas a lo largo de 10 años sobre la duración y la intensidad de la lluvia al nivel del suelo (promedio por minuto), su extensión horizontal y vertical y el espesor y la extensión de las nubes. Se comprobó por ejemplo que en 10 GHz cabía esperar atenuaciones de 3,5 y 1,2 dB durante el 0,1 y el 1 % del tiempo, respectivamente, con un ángulo de elevación de 10°. Los valores correspondientes en dirección cenital son 0,15 y 0,1 dB, respectivamente. En 20 GHz, se pueden prever atenuaciones de 18 y 5,5 dB durante el 0,1 y el 1 % del tiempo, con un ángulo de elevación de 10°.

En el Japón [27] se han realizado mediciones directas de atenuación en trayectos Tierra-espacio, en las frecuencias de 9,4, 11,8 y 17,0 GHz, empleando radiómetros solares. Se comprobó que en un año la atenuación excedió 4,5, 7 y 14 dB, respectivamente, en las tres frecuencias durante el 0,01 % del año cuando todas las mediciones se redujeron a un ángulo de elevación de 45°. De los datos recogidos durante cuatro años en 9,4 GHz se desprende una variación sustancial anual de los resultados estadísticos para porcentajes de tiempo inferiores al 0,1 % aproximadamente. Esto se debe a que, como sucede en muchas zonas climatológicas, los datos estadísticos para pequeños porcentajes de tiempo están determinados por un pequeño número de fuertes tormentas.

Los datos estadísticos sobre atenuación variarán enormemente según el clima de la región, el periodo de tiempo y el método de observación. Las lluvias monzónicas pueden constituir un problema especial [30].

Los datos obtenidos por radares meteorológicos en Montreal han servido también para evaluar la separación entre estaciones terrenas que utilizan la diversidad para disminuir los efectos de intensas lluvias muy localizadas [28]. Se ha comprobado que el diámetro de las células tormentosas en las que el índice equivalente de precipitación excede 25 mm/hr es casi independiente de la altitud, y que el número de precipitaciones alcanza valores bastante bajos con diámetros equivalentes superiores a 16 km. Este simple argumento no tiene en cuenta, sin embargo, la correlación espacial de aparición de las células tormentosas. Por la misma razón, es difícil evaluar la variación en función del ángulo de elevación de las atenuaciones importantes observadas durante pequeños porcentajes de tiempo.

3.4 *Atenuación causada por las nubes y la niebla.*

En el caso de nubes o de niebla constituidas enteramente por gotitas de agua o partículas de hielo en general de menos de 0,01 cm, es válida la aproximación de Rayleigh y se puede expresar la atenuación en función del contenido total de agua por unidad de volumen [14]. Así, la absorción por estas nubes o nieblas puede expresarse por la fórmula:

$$A_c = K_l M \quad (\text{dB/km})$$

en donde A_c es el coeficiente de absorción en la nube, K_l un coeficiente de atenuación (en dB/km) $(\text{g/m}^3)^{-1}$ y M el contenido de agua en estado líquido de la nube (en g/m^3).

En la fig. 5 se indican los valores de K_i para la gama de frecuencias comprendida entre unos 10 y 50 GHz y para temperaturas de -8°C a 20°C . Debido a las distintas propiedades dieléctricas del agua y el hielo, las nubes de hielo producen atenuaciones cuya magnitud es dos veces inferior a la de las nubes de agua; no se examinan con más detalle en el presente Informe.

4. Temperatura de ruido celeste debida a la absorción causada por los gases atmosféricos y las precipitaciones.

4.1 Consideraciones generales.

La región no ionizada de la atmósfera considerada desde el punto de vista de la absorción, es también una fuente de ruido. La temperatura efectiva de ruido del cielo T_s , en una dirección dada se expresa por la fórmula:

$$T_s = \int_0^\infty T(r) \alpha(r) \exp \left\{ - \int_0^r \alpha(r') dr' \right\} dr$$

en donde $T(r)$ (en $^\circ\text{K}$) y $\alpha(r)$ (en km^{-1}) son, respectivamente, los coeficientes de temperatura y de absorción del medio en función de la posición r , a lo largo del trayecto del rayo. Si la temperatura $T(r)$ se puede sustituir por una temperatura media de radiación T_m , la citada expresión se simplifica y se convierte en:

$$T_s = T_m \left(1 - \frac{1}{L} \right)$$

en donde L es el factor de atenuación del medio absorbente, expresado por una fracción.

Por otra parte, en el caso de una atmósfera horizontalmente estratificada, la temperatura del cielo para una distancia cenital ψ se expresa por:

$$T_s(\Phi) = T_m (1 - \beta_0 \sec \Phi)$$

para distancias cenitales inferiores a 85° , en donde $\beta_0 = \frac{1}{L_0}$ es el coeficiente de transmisión de la atmósfera en dirección del cenit.

Al estimar la temperatura de ruido de las antenas hay que tener en cuenta su diagrama de radiación y la radiación de la superficie terrestre.

4.2 Temperatura de ruido celeste debida a los gases atmosféricos.

La fig. 6 indica la temperatura de ruido celeste debida al oxígeno y al vapor de agua para diferentes ángulos de elevación y frecuencias comprendidas entre 1 y 100 GHz [32].

En el artículo citado en la referencia [33] figuran consideraciones más detalladas sobre los ruidos de origen natural en la gama de 1 a 10 GHz. Los valores de temperatura de ruido citados en ese artículo son algo inferiores a los indicados en la fig. 6 para las frecuencias inferiores a 10 GHz, debido al empleo de valores más recientes para las constantes de anchuras de las rayas.

4.3 Temperatura de ruido celeste debida a la lluvia y a las nubes.

El ruido debido a la absorción por la lluvia y las nubes se puede calcular también por la fórmula antes indicada, a condición de conocer la temperatura y el índice de atenuación, y así como su variación a lo largo del trayecto.

Los estudios realizados en la U. R. S. S. [29] a los que ya se ha hecho referencia, muestran también que, con un ángulo de elevación de 10° , cabe esperar durante el 1 % del tiempo una contribución de la lluvia y de las nubes a la temperatura de ruido de la antena de unos 40°K en 10 GHz, y de unos 140°K en 20 GHz. Los valores correspondientes al 0,1 % del tiempo son de 90°K y 260°K , respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

1. FANNIN, B. M., y JEHN, K. H.: A study of radar elevation-angle errors due to atmospheric refraction. *Trans. IRE*, AP-5, 71 (1957).
2. ANDERSON, W. L.; BEYERS, N. J. y RAINEY, R. J.: Comparison of experimental and computed refraction. *Trans. IRE*, AP-8, 456-461 (1960).
3. ANWAY, A. C.: Empirical determination of total atmospheric refraction at centimetre wavelengths by radiometric means. *Collins Research Report N.º CRR-2425*, Collins Radio Company, Cedar Rapids, Iowa (junio de 1961).
4. NORTON, K. A.; HERBSTREIT, J. W.; JONES, H. B.; HORNBERG, K. O.; PETERSON, C. F.; BARGAUSEN, A. F.; JOHNSON, W. E.; WELLS, P. I.; THOMPSON, M. C. (Jr.); VETTER, M. J., y KIRKPATRICK, A. W.: An experimental study of phase variations in line-of-sight microwave transmissions. *NBS Monograph N.º 33* (noviembre de 1961).
5. SCHULKIN, M.: Average radio ray refraction in the lower atmosphere. *Proc. IRE*, 40, 5, 554-561 (mayo de 1952).
6. BEAN, B. R.; THAYER, G. D., y CAHOON, B. A.: Methods of predicting the atmospheric bending of radio rays. *NBS Journal of Research*, **64D**, 5 (1960).
7. BEAN, B. R., y THAYER, G. D.: Comparison of observed atmospheric radio refraction effects with values predicted through the use of surface weather observations. *NBS, Journal of Research*, **67D**, 3 (1963).
8. C. C. I. R.: Doc. V/27 (Reino Unido), 1966-1969.
9. MISME, P.; BEAN, B. R., y THAYER, G. D.: Models of the atmospheric radio refractive index. *Proc. IRE*, **48**, 8, 1499-1501 (agosto de 1960).
10. BEAN, B. R., y DUTTON, E. J.: Radio Meteorology. *NBS Monograph N.º 92*, U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. (1966).
11. C. C. I. R.: Doc. V/108 (Reino Unido), 1966-1969.
12. LANE, J. A.: Scintillation and absorption fading on line-of-sight links at 35 and 100 GHz. *I. E. E. Conference Publication*, N.º 48, Tropospheric Wave Propagation, Londres (1968).
13. MISME, P.: Etude expérimentale de la propagation des ondes millimétriques dans les bandes des 5 et des 3 mm. *Annales des Télécommunications* (noviembre-diciembre de 1966).
14. RYDE, J. W., y RYDE, D.: Attenuation of centimetre waves by rain, hail, fog and clouds. General Electric Co., Wembley, England (1945).
15. C. C. I. R.: Doc. V/112 (Reino Unido), 1966-1969.
16. RICE, P. L.; LONGLEY, A. G.; NORTON, K. A., y BARSIS, A. P.: Transmission loss predictions for tropospheric communication circuits. *NBS, Technical Note 101 (Rev.)*, 1966.
17. MEDHURST, R. C.: Rainfall attenuation of centimetre waves: Comparison of theory and measurement. *Trans. IEEE*, AP-13, 4, 550-564 (1965).
18. OGUCHI, T.: Attenuation of electromagnetic waves due to rain with distorted raindrops. *J. Radio Res. Lab.* (Tokio), Vol. 11, 19-37 (enero de 1964).
19. LAWS, J. O., y PARSONS, D. A.: The relation of raindrop size to intensity. *Trans. Am. Geophys. Union*, Vol. 24, 452-460 (1943).
20. GUNN, K. L. S., y EAST, T. W. R.: The microwave properties of precipitation particles. *Quart. J. Roy. Meteorological Soc.*, London, **80**, 522-545 (1954).
21. BLEVIS, B. C.; DOHOO, R. M., y MCCORMICK, K. S.: Measurements of rainfall attenuation at 8 and 15 GHz. *Trans. IEEE*, AP-15, 394-403 (1967).
22. C. C. I. R.: Doc. V/18 (Japón), 1966-1969.
23. BUSSEY, H. E.: Microwave attenuation statistics estimated from rainfall and water vapor statistics. *Proc. IRE*, **38**, 781-785 (julio de 1950).
24. LANE, J. A.; GORDON-SMITH, A. C., y ZAVODY, A. M.: Absorption and scintillation effects at 3 mm wavelength on a short line-of-sight radio link. *Elect. Letters*, **3**, 185 (1967).

25. C. C. I. R.: Doc. V/29 (Canadá), 1966-1969.
26. WULFSBERG, K. N.: Atmospheric attenuation at millimetre wavelengths. *Radio Science*, 2, 3, 319-324 (1967).
27. C. C. I. R.: Doc. V/126 (Japón), 1966-1969.
28. HOGG, D. C.: Millimetre-wave communication through the atmosphere. *Scienza*, Vol. 159, 39-45 (5 de enero de 1968).
29. C. C. I. R.: Doc. IV/332 (U. R. S. S.), 1966-1969.
30. C. C. I. R.: Doc. IV/340 (India), 1966-1969.
31. SNIDER, J. B.: A proposed programme for the study of atmospheric attenuation of satellite signals. *ESSA Technical Report RL 62-WPL 1* (enero de 1968).
32. HOGG, D. C., y SEMPLAK, R. A. The effect of rain and water vapor on sky noise at centimetre wavelengths. *B. S. T. J.*, 5, 1331-1348 (septiembre de 1961).
33. CROOM, D. L.: Naturally-occurring thermal radiation in the range 1-10 GHz, *Proc. IEE*, 111-113, 967 (1964).

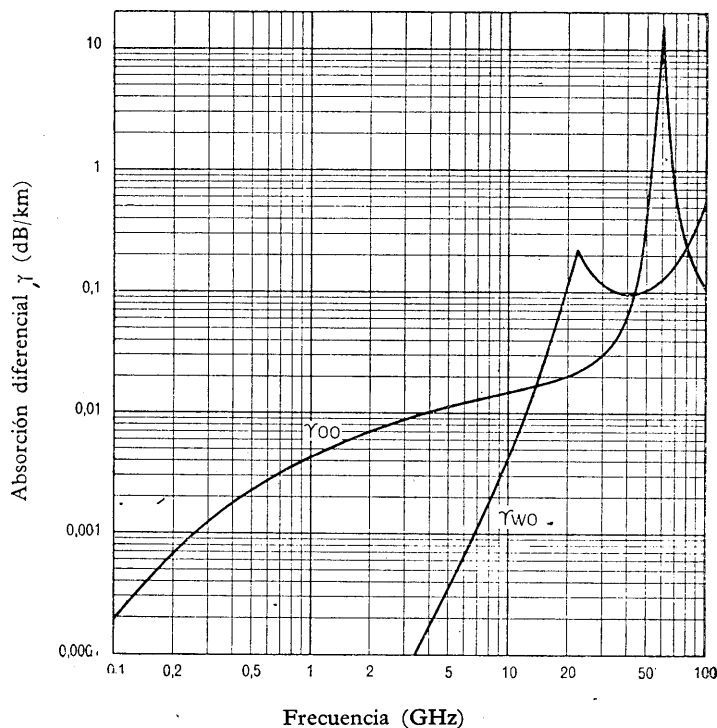


FIGURA 1

Valores γ_{OO} y γ_{WO} de la absorción por el oxígeno y el vapor de agua

Presión: 750 mm Hg

Temperatura: 20° C

Densidad del vapor de agua: $10 \text{ g/m}^3 \approx 7,6 \text{ g/kg}$

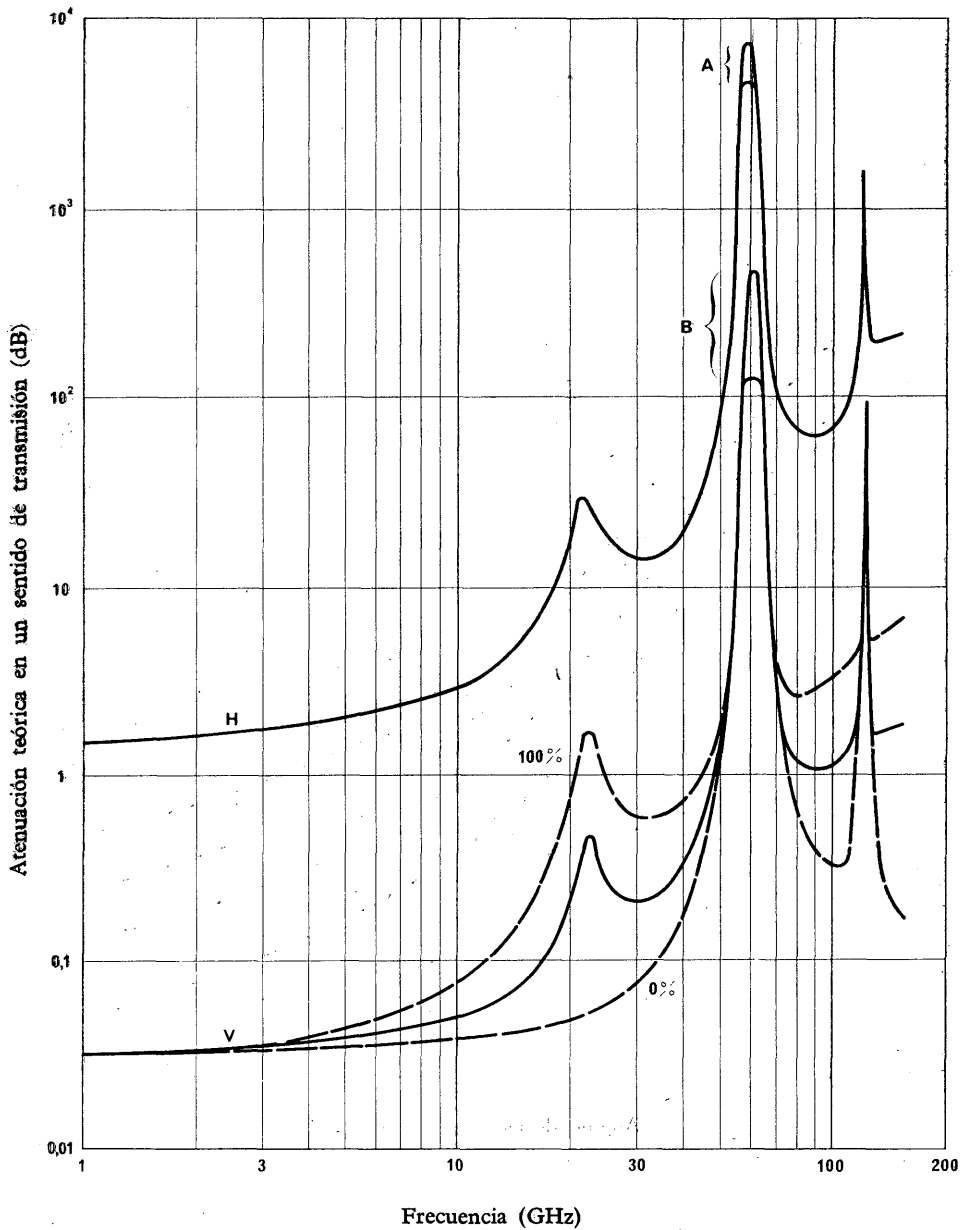


FIGURA 2

Atenuación unilateral teórica, horizontal o vertical, a través de la atmósfera (calculada por medio de la atmósfera normalizada de Estados Unidos para 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

H : horizontal

B : región de incertidumbre

V : vertical

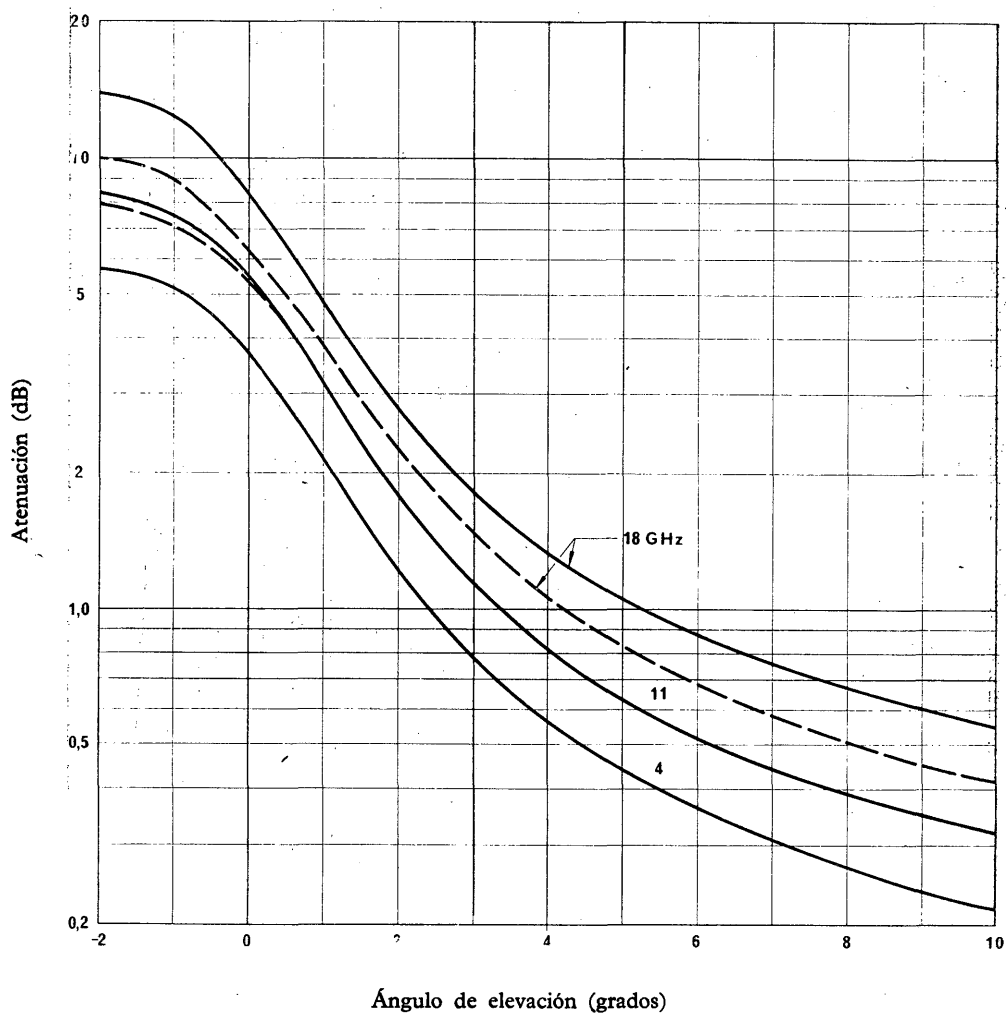


FIGURA 3

Valores de atenuación total debida a la absorción del vapor de agua y del oxígeno, incluidos los efectos de desenfoque, no excedida durante el 20 % (líneas de trazo continuo) y el 0,01 % (línea de trazo interrumpido) del mes menos húmedo

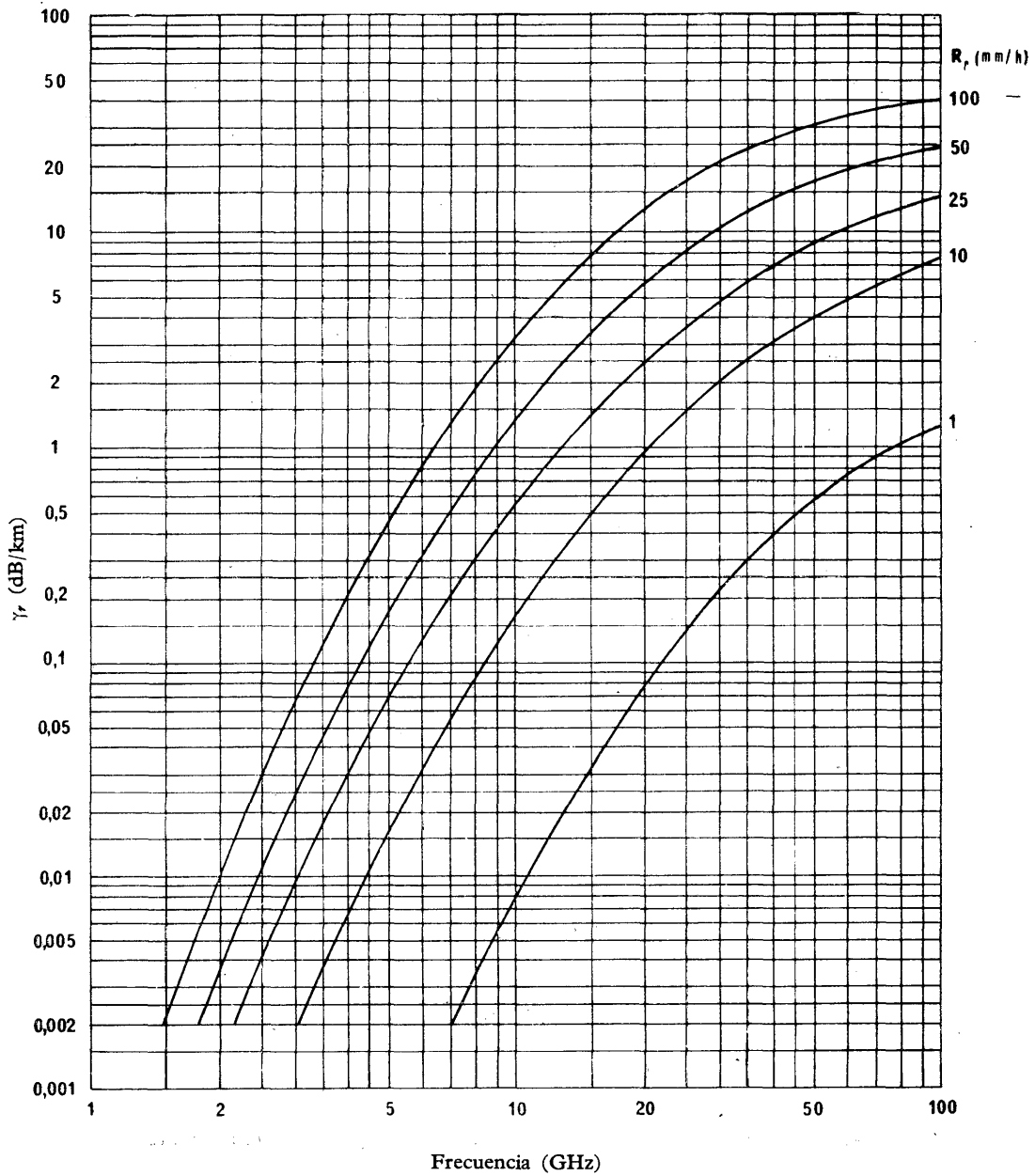


FIGURA 4

Variación de γ_r con la frecuencia

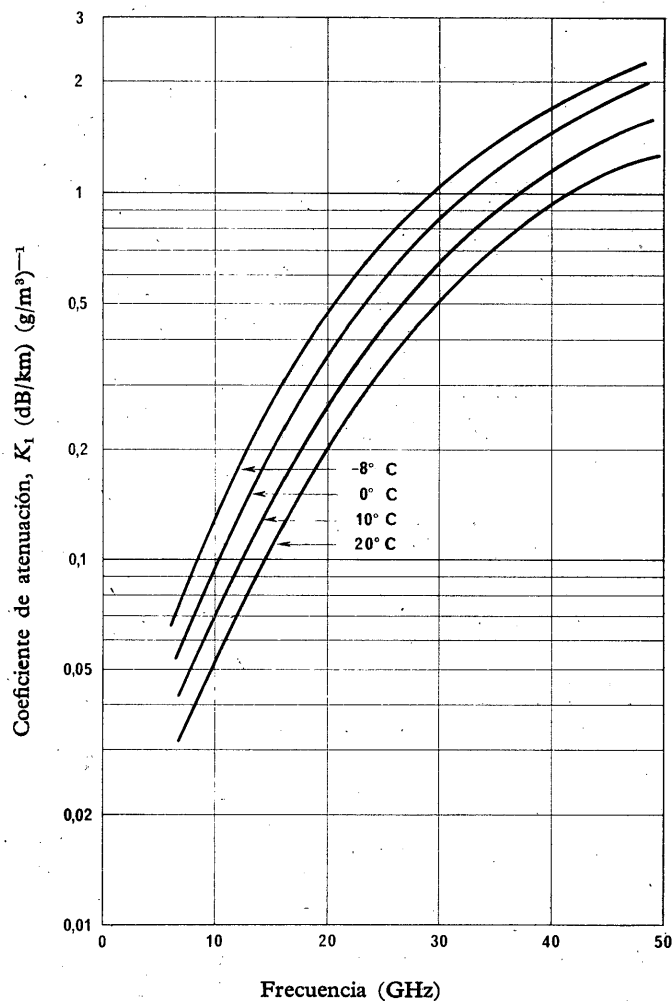


FIGURA 5

Atenuación debida a las nubes con varias temperaturas en función de la frecuencia

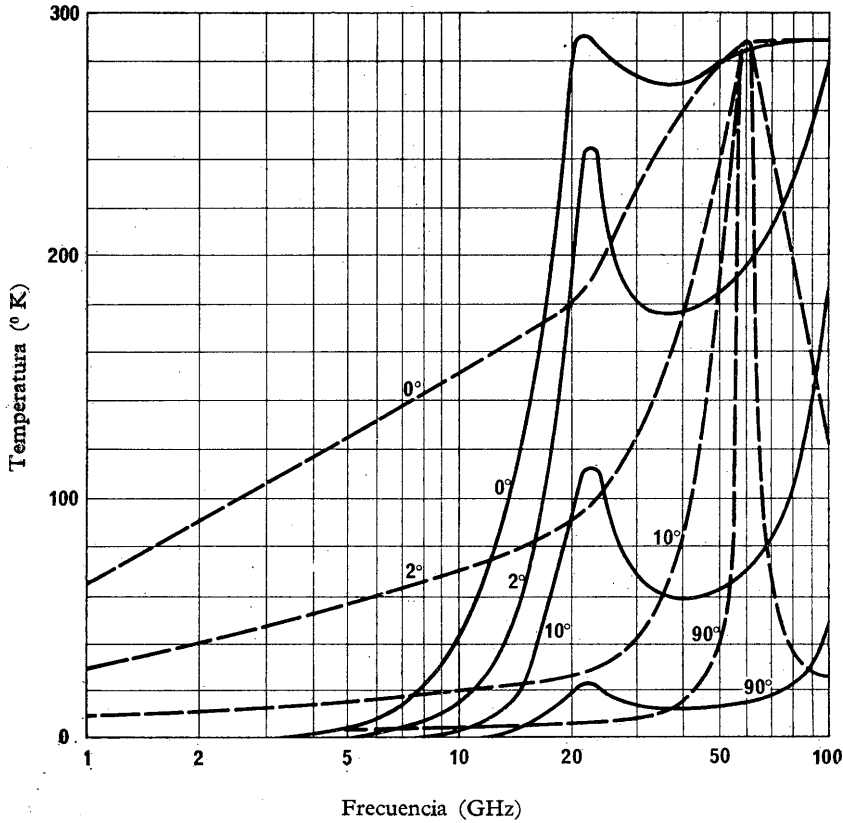


FIGURA 6

Temperatura de ruido celeste debida a la absorción por el oxígeno y el vapor de agua

(El ángulo de elevación está indicado en cada curva)

Presión en el suelo: 760 mm/Hg

Temperatura en el suelo: 20° C

Densidad del vapor de agua: 10 g/m³

———— Vapor de agua

----- Oxígeno

INFORME 339-1 *

INFLUENCIA DE LA DISPERSIÓN PROVOCADA POR LAS PRECIPITACIONES
EN LA ELECCIÓN DE LA UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES TERRENAS

(Programa de estudios 5-ID-1/5)

(1966 - 1970)

1. Introducción.

Se ha demostrado [1, 2] que la dispersión causada por las precipitaciones puede ser un factor importante en la determinación de las probabilidades de interferencia entre una estación terrena y una estación de relevadores radioeléctricos que funcionen en la misma banda de frecuencias. Dada la necesidad de calcular las probabilidades de interferencia, el presente Informe tiene por objeto facilitar información sobre la distribución temporal de la magnitud de la dispersión causada por la lluvia, en lo que respecta especialmente a las condiciones en que este factor ha de predominar probablemente en la determinación del valor del campo interferente durante pequeños porcentajes de tiempo.

Los efectos de interferencia son de dos tipos principales: interferencias a larga distancia que aparecen cuando la separación es de centenares de kilómetros y cuando las porciones mayores de los dos haces se intersectan en una zona muy tormentosa que ocasiona gran dispersión, e interferencias que pueden aperecer cuando la separación es inferior a 100 km y hay grandes precipitaciones —a cualquier altitud— en uno de los haces principales y en los lóbulos laterales del otro.

En el presente Informe se indican, previa consideración de los aspectos geométricos y meteorológicos del problema, resultados para haces de antenas de 6 GHz, que se cortan o no, en función del índice de precipitación. Se presentan también estimaciones para haces de intersección en 12 y 18 GHz, considerando los casos extremos de atenuación a través de la atmósfera, o solamente la atenuación en el volumen común a los dos haces principales.

Es conveniente señalar que la dispersión debida a faltas de homogeneidad del índice de refracción puede producirse igualmente en el punto de intersección de haces orientados a lo largo del arco de círculo mayor o formando un ángulo de unos pocos grados con este círculo. Sin embargo, si se utilizan los valores de reflectividad medidos [8] puede demostrarse en un caso típico (Doc. V/109 (Reino Unido), 1966-1969) que las pérdidas en 4 GHz excedidas durante el 99 % del tiempo son comparables a las de la propagación normal transhorizonte, y muy inferiores a las que cabe esperar como consecuencia de la dispersión debida a las precipitaciones, excepto quizá en las zonas de clima seco.

2. Caso en que los haces se intersectan.

El método utilizado supone que la pérdida de transmisión (igual a $10 \log P_i/P_r$) asociada a la dispersión por la lluvia entre dos puntos de la superficie terrestre puede calcularse por la ecuación:

$$P_r/P_i = \int (G_{is}/4\pi d_{is}^2) (\eta/4\pi d_{es}^2) (G_{es} \lambda^2/4\pi) dv \quad (1)$$

donde P_r y P_i son, respectivamente, la potencia recibida y la potencia transmitida,

* Adoptado por unanimidad.

G_{ts} y G_{es} las ganancias de antena de las estaciones terrenal y terrena, respectivamente,

d_{ts} y d_{es} las distancias respectivas de las estaciones terrenal y terrena hasta la región de dispersión,

dv es un elemento del volumen de dispersión,

λ la longitud de onda, y

η la sección transversal de la dispersión por unidad de volumen.

Salvo indicación en contrario, se ha utilizado el metro como unidad de longitud.

Se supone que la antena de la estación terrena es mucho mayor que la de la estación terrenal y que su haz tiene un ángulo de elevación de 3° por lo menos sobre el horizonte. Los resultados que se indican en el presente Informe se han obtenido partiendo del cálculo de un volumen común a las dos aberturas de antenas de 3 dB para valores de η obtenidos mediante sondeos con radar. Se supone una dispersión de Rayleigh o por dipolo que, en el caso de la polarización vertical, es uniforme en el plano horizontal, y no se ha tenido en cuenta los efectos de dispersión a causa de la lluvia en los lóbulos laterales de las antenas.

Como $\eta \approx Z/3,6 \times 10^{15} \lambda^4$ por metro, siendo Z el factor de reflexión en mm^6/m^3 en todo el volumen común:

$$G_{ts} b^2 = \pi^2 \text{ y }$$

$$\int dv = (\pi/4) (b_{es} d_{es})^2 d_{ts} b_{ts} / \text{seno } \theta$$

en donde b es la abertura de haz de la antena, en radianes, se tiene:

$$P_r/P_t \approx \frac{Z \sqrt{G_{ts}}}{3 d_{ts} \lambda^2 \text{seno } \theta \times 10^{17}} \quad (2)$$

donde θ es el ángulo que forman los haces de las antenas.

3. Caso en que los haces no se intersectan.

Los problemas de la integración de (1) condujeron al concepto [3] de la integración, sobre cada uno de los dos haces, en los puntos donde la ganancia asume su valor máximo. Utilizando

$$\eta = Z/3,6 \times 10^{15} \lambda^4 \text{ y } dv = (\pi/4) b_{es}^2 d_{es}^2 ds,$$

$$10^{18} \lambda^2 (P_r/P_t) = \int_{es} \left(\frac{G_{ts} Z_{es}}{d_{ts}^2} \right) ds + \int_{ts} \left(\frac{G_{es} Z_{ts}}{d_{es}^2} \right) ds' \quad (3)$$

Se establecen las siguientes hipótesis (Doc. V/145 (Estados Unidos), 1966-1969):

- los dos haces están cercanos uno de otro, es decir, que sobre la línea perpendicular a ambos la separación mínima, y , es solamente de unos pocos km;
- Z es constante en la porción de cada haz cercana a los extremos de la perpendicular o pueden hallarse y utilizarse valores equivalentes:

$$- G_{ts} = 0,3/\alpha_{ts}^2 \text{ o } 10 \log G_{ts} = 30 - 20 \log \alpha_{ts}^\circ$$

si bien, para una antena de bocina, puede ser más apropiado un exponente mayor:

$$- G_{es} = 0,3/\alpha_{es}^2 \text{ o } \log_{10} G_{es} = 30 - 20 \log \alpha_{es}^\circ.$$

Si la precipitación se extiende a una amplia zona o puede ser considerada como simétrica con respecto a la perpendicular, es decir, que el ángulo de elevación de la estación terrena es menor que unos 30° ,

$$10^{18} \lambda^2 (P_r/P_t) \text{ seno } \theta = (6 Z_{es}/y + 6 Z_{ts}/y) \text{ arco tang } (x/y) \quad (4)$$

Si se tiene en cuenta que $\text{arco tang } \infty = \pi/2$ y $\text{arco tang } 1 = \pi/4$, se ve que, en una atmósfera uniforme, la mitad de la interferencia total debida a un haz determinado proviene de una región situada $\pm (y/\text{seno } \theta)$ alrededor del extremo de la perpendicular. Si el área de la precipitación es limitada, con un diámetro efectivo equivalente a ($D \leq 2y/\text{seno } \theta$), $x = (D \text{ seno } \theta/2)$ y $\text{arco tang } (x/y) \approx (\pi D \text{ seno } \theta)/8 y$, de manera que puede expresarse por:

$$P_r/P_t = (Z_{es} + Z_{ts}) D / (4 \times 10^{18} \lambda^2 y^2) \quad (5)$$

en la inteligencia de que, para una precipitación extendida, D debe tener un valor igual a $4 y/\text{seno } \theta$.

4. Factor de reflexión de una precipitación continua.

Los meteorólogos establecen una distinción entre dos tipos principales de precipitaciones. La más sencilla se llama precipitación continua —de lluvia o de nieve— a partir de una formación nublosa estratificada que se extiende de forma uniforme sobre una vasta zona y a una altura relativamente limitada. Atlas [4] da para una lluvia estratificada de verano curvas típicas que se pueden expresar aproximadamente como sigue:

$$\log Z = \log Z_0 - 5 \times 10^{-8} \cdot H^2 \quad (6)$$

donde Z_0 = factor de reflexión en el suelo, que en general se considera ligado a un índice pluviométrico R , expresado en mm/h [4] por la igualdad

$$Z_0 = 200 R^{1.8} \text{ (mm}^8/\text{m}^3\text{)} \quad (7)$$

A título de ejemplo, para la región de Washington, Bussey [5] ha demostrado que hay una hora aproximadamente por año en que el índice llega o rebasa 25 mm/h ($Z_0 = 3,4 \times 10^4$ para el 0,14 % de un mes) y que, para ciertas regiones del sudeste de Estados Unidos, durante unos cinco minutos cada dos años, el índice es de 150 mm/h ($Z_0 = 6 \times 10^5$ durante el 0,01 % de un mes). En [4], fig. 5.5 a título de indicación de lo que es posible, se señala un índice pluviométrico de 300 mm en 40 minutos, registrado en Holt (Missouri) el 22 de junio de 1947, que corresponde a un índice de 450 mm/h durante el 0,1 % aproximadamente de un mes.

De la ecuación (4) se deduce:

$$\int_0^\infty Z \, ds = \int_0^\infty Z \, dH/\text{seno } E_{es} = 2620 Z_0/\text{seno } E_{es} \quad (8)$$

de modo que se puede considerar que el haz de antena de la estación terrena atraviesa una precipitación uniforme tal y como si se hubiese medido en el suelo ($Z = Z_0$) hasta 2,6 kilómetros de altura. El haz de antena de la estación terrenal es casi horizontal cerca de la estación terrena a una altura que es fácil calcular, pero, en general, suficientemente baja para que en el suelo se pueda utilizar Z_0 .

5. Factor de reflexión de una precipitación convectiva.

Hay un tipo de precipitación más complejo que se llama precipitación convectiva o chubasco. Esta precipitación no es uniforme en el tiempo ni en el espacio, al contrario que las precipitaciones continuas, sino que varía rápidamente en pequeñas zonas a causa de su origen turbulento. Si la formación alcanza una altura de ocho a nueve kilómetros,

suele transformarse en tormenta, con fuertes corrientes ascendentes que elevan repetidamente las partículas a grandes alturas, a menudo en forma de granizo. Las mayores partículas se encuentran, pues, en secciones de espacio libre a varios cientos de kilómetros de las estaciones terrenas y terrenales. Se ha creado un modelo de tormenta [7] que considera las curvas de Z como envolventes cilíndricas coaxiales (calificadas incorrectamente de esféricas en la referencia [8]), más accesible con la fórmula:

$$Z = 3,8 \times 10^{-6} \cdot (r_0 - r)^{2,5} \quad (9)$$

donde r_0 es el radio (m) correspondiente a la reflexión más pequeña que se puede observar. Los valores máximos de r_0 y de la mitad de la altura a menudo son de unos 8000 metros [9].

Si para un ángulo de elevación E_{es} , el haz de la estación terrena intersecta el eje de la tormenta, se puede demostrar que:

$$\begin{aligned} DZ &= \int_{-r_0}^{+r_0} Z \, ds = 1,2 \times 10^{-5} \cdot r_0^{3,5} / \cos E_{es} \quad (E_{es} < 45^\circ) \\ &= 5,7 \times 10^8 / \cos E_{es} \quad (r_0 = 8000 \text{ m}) \\ &= 6,6 \times 10^8 \quad (E_{es} = 30^\circ) \end{aligned} \quad (10)$$

Donaldson [10] ha publicado curvas de reflexión correspondientes a 130 tormentas observadas con radar durante dos años en la región de Boston. Sobre esta base se puede demostrar que una tormenta ocasional puede alcanzar su valor máximo de Z a 9 km, aun cuando sea más probable un valor máximo a 6 km (de $3 \times 10^6 \text{ mm}^6/\text{m}^3$). Para las tormentas parece razonable un máximo aproximado de DZ igual a $10^{10} \text{ mm}^6/\text{m}^2$.

6. Factores de reflexión de una precipitación compuesta.

Para hallar una solución estadística sencilla a este problema hay que suponer que la distribución del factor de reflexión de las precipitaciones está definido a base de un muestreo uniforme en el tiempo y en el espacio. Se ha publicado gran número de curvas interesantes para la distribución vertical, pero los únicos resultados obtenidos a base de un muestreo regular y completo, a distintas alturas y sobre una superficie horizontal muy vasta, son los obtenidos en Montreal (Canadá) durante cinco meses del verano de 1963, en los que se produjeron la mayoría de las tormentas de ese año [6]. Estos datos han permitido, por ejemplo, determinar que el factor de reflexión Z (a cualquier altura), excedido durante el 0,01 % como máximo en los cinco meses, podía expresarse, en primera aproximación, mediante:

$$\begin{aligned} h &= -4,15 \log Z + 22,7 & 0 < h < 6 \text{ km} \\ h &= -2,14 \log Z + 14,6 & 6 \text{ km} < h < 21 \text{ km} \\ Z &= 0 & 21 \text{ km} < h \end{aligned}$$

Tales resultados se obtuvieron con un radar de 3 cm, pero se les ha corregido para tener en cuenta la atenuación. Un estudio de las variaciones mensuales permite llegar a la conclusión de que la representación antes indicada es válida para el 0,02 % del mes más desfavorable, es decir, julio.

Debe tenerse particularmente en cuenta que los datos de la precipitación de superficie pueden constituir una guía útil en lo que concierne a la reflectividad en la atmósfera solamente cuando la precipitación es mayormente continua, o cuando se consideran valores medios a largo plazo. En los meses en que las tormentas son intensas, los datos de precipitación de superficie pueden inducir a error.

7. Resultados.

7.1 Caso en que los haces se intersectan.

La probabilidad de interferencia por una señal no deseada es la probabilidad de que la relación señal deseada/señal no deseada sea inferior a cierto valor mínimo admisible para determinado porcentaje de tiempo. La probabilidad de interferencia en 6 GHz (para un 0,02 % del tiempo del mes más desfavorable puede determinarse a base de la fig. 1). Empleando las notaciones del § 6 se obtiene como sigue. Sea una estación terrena *ES* provista de una antena de 26 m de diámetro orientada según ángulos de elevación fijos E_{es} de 3° y de 30°, respectivamente. Se supone que, en el origen, el haz de esta antena está dirigido hacia la derecha, como se ve en la figura. Además, se supone que una estación terrenal, cuya antena de 1,8 m de diámetro apunta según un ángulo de elevación $E_{ts} = 0^\circ$, está situada en puntos del plano con tales acimutes que el eje de su haz intersecta el del haz de la estación terrena. Se trazan las posiciones de la estación terrenal que dan valores constantes de relación P_i/P_r . Supongamos, por ejemplo, que -115 dBW es el valor máximo admisible del nivel de la señal no deseada a la entrada del receptor terrenal, y 10 kW (40 dBW) la potencia del transmisor de la estación terrena; la curva de 155 dB (pérdida de transmisión) indica la región fuera de la cual una antena de relevador radioeléctrico estará libre de interferencias perjudiciales durante más del 0,02 % aproximadamente del mes más desfavorable. Esta pérdida de transmisión comprende, claro es, unos 100 dB de ganancias de antena, lo que corresponde a las dimensiones de antena antes especificadas.

Para una estación dada y determinadas ubicaciones de tormenta, puede suponerse que la relación P_i/P_r es proporcional al cubo de la longitud de onda e inversamente proporcional al diámetro de la antena más pequeña, y es relativamente independiente del diámetro de la mayor (véase la ecuación (2)).

A fin de generalizar la aplicación de la fig. 1, la relación entre el índice de precipitación métrico y la distancia que se muestra en la fig. 2 (C. C. I. R., Doc. V/113 (Estados Unidos), 1966-1969) puede derivarse de una curva de reflexión vertical similar a la que se describe en el § 6, convirtiéndose el índice de precipitación mediante la ecuación (7) de la forma siguiente:

$$R(h) = R_0 10^{-0,025 h^2}$$

en donde h es la altura en km. En esta figura, se supone que $\lambda = 5$ cm, $G_{ts} = 43$ dB, y $P_r/P_t = -140$ dB. Para obtener la distancia de coordinación en otras condiciones, no debe utilizarse el índice de precipitaciones real en la superficie, R_0 para el porcentaje de tiempo que interesa, sino que debe hallarse un índice R_e efectivo a partir de la siguiente expresión:

$$R_e = R_0 (5/\lambda)^{1,25} 10^{\Delta L_s/16}$$

en donde λ se expresa en cm y ΔL_s se expresa en dB por encima de

$$P_i/P_r = 140 \text{ dB}$$

Se ha estudiado (Doc. V/117 y Corr. 1 (Estados Unidos), 1966-1969) el efecto de la atenuación en la dispersión en 12 y 18 GHz. Las hipótesis extremas de precipitación en la atmósfera, o solamente en el volumen común a los haces principales, se basaron en los resultados que se indican en las figs. 3 y 4. Cabe señalar que, en el primer caso, la dispersión es más efectiva que la atenuación para el caso de 1 mm/h.

7.2 Caso en que los haces no se intersectan.

Para una precipitación continua, $\lambda = 5$ cm, y θ cercana a 90° ,

$$P_r/P_t = 4 \times 10^{-16} (Z_{es} + Z_{ts})/\gamma \quad (11)$$

Empleando $Z_{ts} = 200 R^{1,6}$, y $Z_{es} = Z_{ts}$, puesto que en el caso usual en que el haz de la estación terrena se encuentra sobre el haz de la estación terrenal, Z_{es} no será mayor que Z_{ts} y puede tener un efecto de sólo ± 3 dB,

$$P_r/P_t = 8 \times 10^{-14} R^{1,6}/y \quad (12)$$

Despejando y , se obtienen los siguientes valores (en 5 GHz):

CUADRO I

Radio del cilindro crítico para una lluvia continua (km)

Indice de precipitación R (mm/h)	10 log $\langle P_r/P_t \rangle$ (dB)			
	— 130	— 140	— 150	— 160
2,5				3,5
10			3,2	32
25		1,4	13,6	*
100	1,3	12,8	*	*

* Los valores calculados sobrepasan las condiciones admisibles para una distribución uniforme de la lluvia.

Nota.—Estos valores sólo son aplicables cuando la distancia angular mínima de los ejes de los haces, vista desde el relevador radioeléctrico, es superior a $1,5^\circ$, es decir, si $y/d > 0,026$, siendo d la distancia entre las dos antenas, en las mismas unidades que y . Por consiguiente, estos valores no son aplicables en el caso de haces que casi se corten.

Para la precipitación convectiva, $\lambda = 5$ cm, θ cercana a 90° y $Z_{es} = Z_{ts} = Z$,

$$P_r/P_t = 2 \times 10^{-16} DZ/y^2 \quad (13)$$

Despejando y , se obtienen los siguientes valores:

CUADRO II

Radio del cilindro crítico en el caso de chubascos tormentosos (km)

DZ	10 log $\langle P_r/P_t \rangle$ (dB)			
	— 130	— 140	— 150	— 160
10^7		0,45	1,4	4,5
10^8	0,45	1,4	4,5	14,1
10^9	1,4	4,5	14,1	
10^{10}	4,5	14,1		

8. Climatología por radar.

Para hacer un estudio más profundo del problema, es evidente que hay que disponer de gran número de datos detallados sobre la distribución del factor de reflexión obtenidos por muestreo sistemático de datos en el tiempo y en el espacio. Ahora bien, los datos de

este tipo sólo se han publicado hasta ahora en relación con Montreal, Canadá [6]. Para el resto del mundo, hay que recurrir a observaciones «de superficie» y a un reducido número de datos obtenidos por radar, por ejemplo, que representan el porcentaje de probabilidades de «ver» un eco entre 10,5 y 12 km, a alturas de hasta 160 km.

Se señala que los valores a largo plazo del índice pluviométrico en la superficie presentan una correlación mediocre con el factor de reflexión de las tormentas. Esto se debe no sólo al gran desarrollo vertical y al carácter local del fenómeno, sino también a que el factor de reflexión no está ligado a la cantidad de lluvia, sino al índice pluviométrico, por la expresión $Z = 200 \cdot R^{1.6}$, donde R es el índice en mm/h. La fig. 2 hace aparecer una correlación útil con la distribución de los días de tormenta; el interés de esta comprobación radica en que se dispone de mapas de este tipo para cada mes y para el mundo entero [12]. Se prosigue el estudio sobre la forma de utilizar cuantitativamente estos datos climatológicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. DOHERTY, L. H., y STONE, S. A.: Forward scatter from rain. *Trans. I. R. E. AP-8* (julio de 1960).
2. DENNIS, A. S.: Precipitation scatter as an interference source in communication systems. *I. R. E. Convention Record*, Part 1, Antennas and Propagation, 145 (1962).
3. ALTMAN, F. J.: Precipitation scatter interference in the 4 and 6 GHz bands. *Proc. of 1968 IEEE International Communications Convention*. Presentado en IEEE Trans. of Com. Tech. Group (1968).
4. ATLAS, D.: Model atmospheres for precipitation. *Handbook of Geophysics and space environments*, Sec. 5.2, 5-6 (1965).
5. BUSSEY, H. E.: Microwave attenuation estimated from rainfall and water vapor statistics. *Proc. I. R. E.*, **38**, 781 (1950).
6. MARSHALL, J. S.; HOLTZ, C. D., y WEISS, M.: Distribution of rain shower intensity as a function of height. *XIIth Conference on radar meteorology*, Norman, Oklahoma, 473-478 (octubre de 1966).
7. DENNIS, A. S.: Rainfall determinations by meteorological satellite radar. *Stanford Research Institute*, Project No. 4080 (abril de 1963).
8. DUTTON, E. J.: Estimation of radio ray attenuation in convective rainfalls. *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 6, 4, 662-668 (agosto de 1967).
9. BYERS, H. R., y BRAHAM, R. R. (Jr.): The thunderstorm. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. (1949).
10. DONALDSON, R. J., (Jr.): Radar reflectivity profiles in thunderstorms. *Jour. of Met.* **18**, 3, 292-305 (junio de 1961).
11. GRANTHAM, D. D., y KANTOR, A. J.: Horizontal and vertical distributions of radar echoes. *XIIth Conference on radar meteorology*, Norman, Oklahoma, 500-505 (octubre de 1966).
12. O. M. M.: World distribution of thunderstorm days. *WMO/OMM-No. 21*. - T. P. 21.

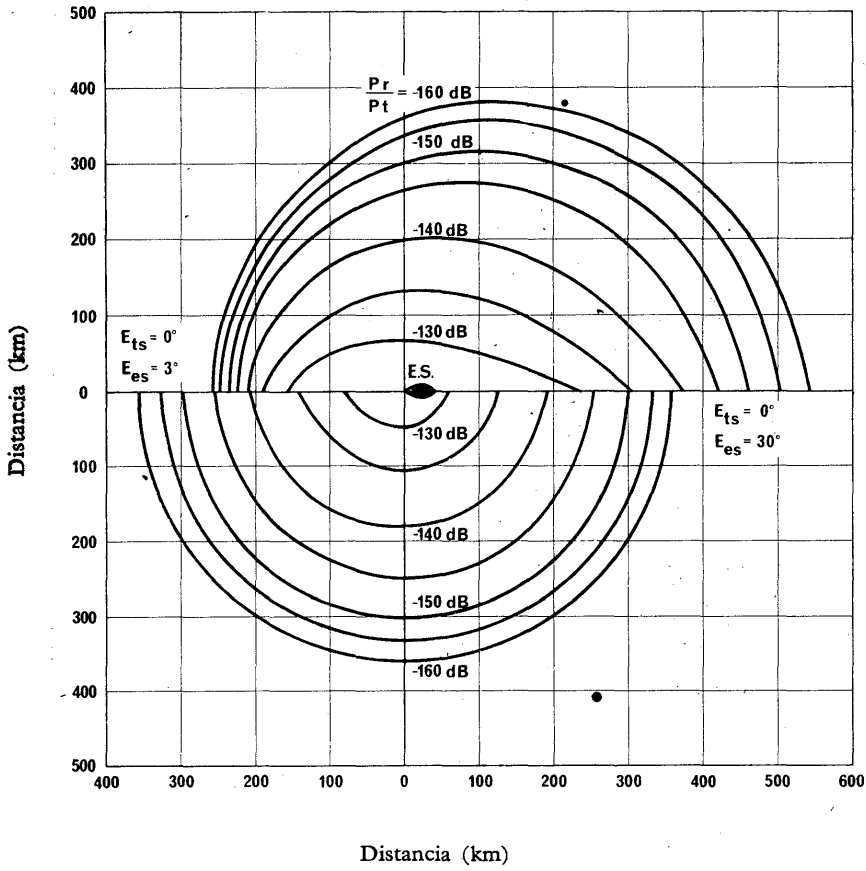


FIGURA 1

Curvas de igual valor de la atenuación para haces que se intersectan

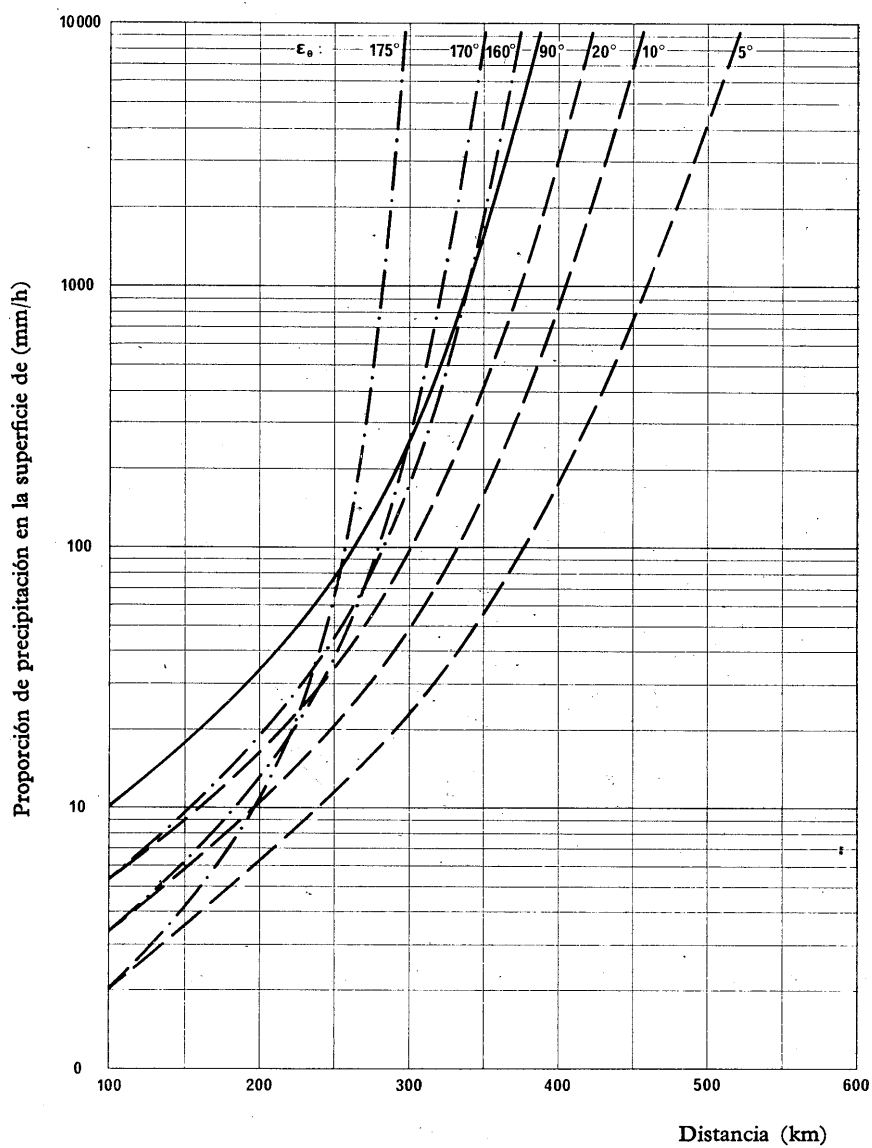


FIGURA 2

Distancia de dispersión debida a las precipitaciones en función de la proporción de precipitaciones en la superficie, en 6 GHz, para una pérdida de transmisión del sistema igual a 140 dB

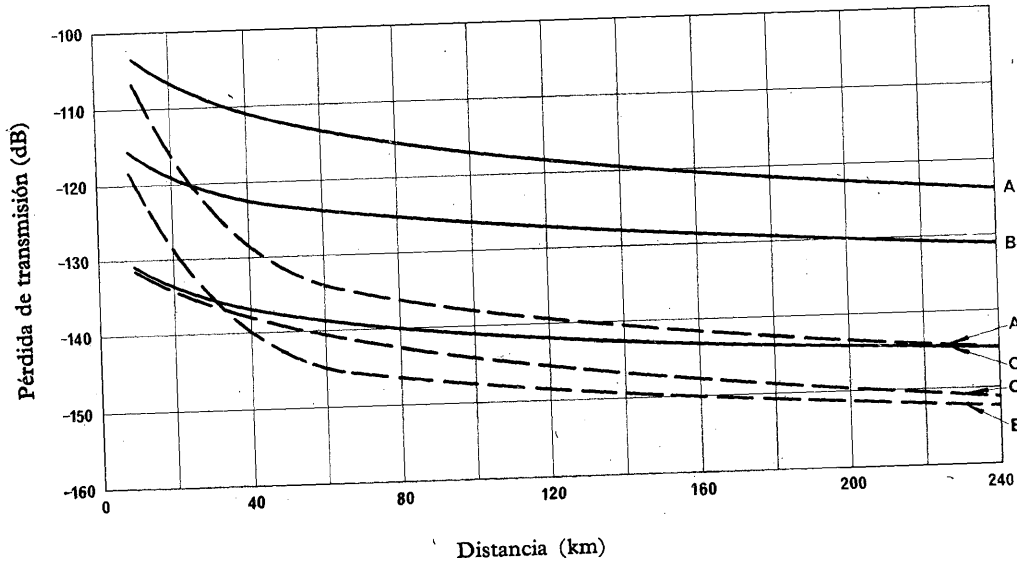


FIGURA 3

Pérdida de transmisión en función de la distancia para determinados índices de precipitación, en 12 GHz

— Precipitación en el volumen común.
 - - - Precipitación en el trayecto.

A : 100 mm/h.
 B : 10 mm/h.
 C : 1 mm/h.

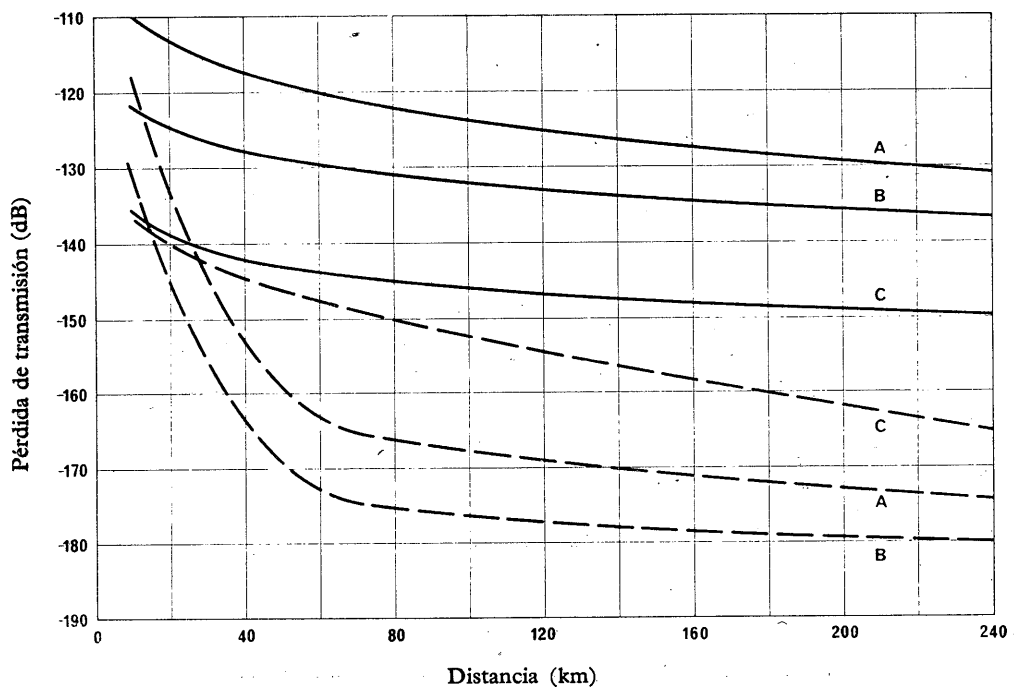


FIGURA 4

Pérdida de transmisión en función de la distancia para determinados índices de precipitación, en 18 GHz

————— Precipitación en el volumen común.
 - - - - - Precipitación en el trayecto.

A: 100 mm/h.

B: 10 mm/h.

C: 1 mm/h.

INFORME 426 *

MÉTODOS PARA PREDECIR EL RUIDO RADIOELÉCTRICO Y LA ATENUACIÓN Y REFRACCIÓN DE LAS ONDAS RADIOELÉCTRICAS EN LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN ESPACIAL

Recopilación de datos

(1970)

El Programa de estudios 5-1C-1/5 pide que se desarrollen métodos para predecir el ruido radioeléctrico y la atenuación y refracción de las ondas radioeléctricas en los sistemas de telecomunicación espacial.

La Comisión de estudio 5 no dispone actualmente de suficientes datos experimentales para poder elaborar tales métodos. No obstante, se sabe que se están realizando actualmente nuevos experimentos y que se proyecta emprender otros trabajos experimentales en un futuro próximo. Se espera, pues, que, en su próxima reunión, la Comisión de estudio 5 esté en condiciones de preparar métodos de predicción para uso de la Comisión de estudio 4.

Para activar estos trabajos, se ruega a todas las Administraciones que:

- reúnan el mayor número de datos experimentales que les sea posible sobre la distribución estadística, en función del tiempo, de la atenuación y de la refracción de las ondas radioeléctricas que atraviesan la troposfera y del ruido radioeléctrico;
- envíen lo antes posible al Director del C. C. I. R. y a los Relatores principales de las Comisiones de estudio 4 y 5 todos los datos estadísticos de que dispongan.

Nota 1:—Los trabajos de la Comisión de estudio 5 se verán considerablemente facilitados si las Administraciones envían los resultados de sus experimentos en papel normalizado A4, en la forma indicada en el cuadro A adjunto.

Nota 2:—Se solicita también información sobre:

- mediciones de atenuación y de ruido, utilizando técnicas de diversidad en el espacio;
- correlación entre la atenuación debida a la absorción y el ruido;
- estadísticas pertinentes sobre los componentes de la atmósfera, como datos sobre precipitaciones, medidos preferentemente con breves tiempos de integración cortos. Esta información será muy útil, incluso en ausencia de datos de medida sobre el ruido radioeléctrico.

* Adoptado por unanimidad. Dadas las necesidades especiales de la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones que se celebrará en 1971, convendría que se facilitara el mayor número posible de datos para el 30 de septiembre de 1970. A partir del 1.º de octubre de 1970, el Director del C. C. I. R. enviará a cada Administración dos copias de los datos que se hayan recibido hasta esa fecha.

(1) V. gr., el Sol.

SECCION 5 C: EFECTOS DEBIDOS AL TERRENO

RECOMENDACIONES E INFORMES

Recomendaciones

No se ha formulado ninguna Recomendación.

Informes

INFORME 229-1 *

DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS
DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA

(Cuestión 1-1/5)

(1959 - 1963 - 1970)

1. Introducción.

En el presente Informe se exponen los factores físicos de que dependen las características eléctricas de la superficie de la Tierra, se examinan los métodos utilizados para determinar las constantes del suelo y se da una apreciación del valor de estos métodos con relación a los procedimientos de cálculo de la propagación radioeléctrica. En los documentos de la XI Asamblea Plenaria del C. C. I. R., Oslo, 1966, Vol. II, pág. 74, figura una lista de las publicaciones consagradas a este problema.

2. Características del suelo.

Las propiedades eléctricas del suelo o de cualquier otro medio pueden expresarse por tres constantes: la permeabilidad relativa, la constante dieléctrica y la conductividad. Puede considerarse que la permeabilidad relativa es normalmente igual a la unidad y, por tanto, en los problemas de propagación no intervienen más que la constante dieléctrica y la conductividad. Estas dos constantes influyen en la propagación de las ondas, según la expresión que figura a continuación y que da la constante dieléctrica compleja con relación al vacío:

$$\epsilon' = \epsilon - j 18\,000 \sigma / f = \epsilon - j 60 \sigma \lambda$$

en la que σ se expresa en mho/m, f es la frecuencia en MHz, λ la longitud de onda en el espacio libre en metros, y en la que el factor de tiempo $\exp(j\omega t)$ se da por supuesto. Conviene advertir que las densidades de las corrientes de desplazamiento y conducción guardan entre sí la misma relación que ϵ y $60 \sigma \lambda$, lo que permite apreciar su importancia relativa. En el cuadro I se indican ciertas constantes típicas del suelo. Cuando se trata de superficies de agua o de terreno muy húmedo, en frecuencias muy superiores a 100 MHz, hay que tener en cuenta la variación de la constante dieléctrica en función de la frecuencia y la de la conductividad total (dipolar e iónica) [1]. Además, hay que advertir que a menudo se ha aplicado un valor de 80 para la constante dieléctrica del agua de mar en una amplia gama de frecuencias. Tal valor es incorrecto excepto en los casos de bajas temperaturas y de frecuencias inferiores a 1 GHz aproximadamente. Incluso en bajas frecuencias el valor real depende de la temperatura y de la composición del agua del mar.

* Adoptado por unanimidad.

CUADRO I

Ejemplos de tipos de superficie y de sus características eléctricas

Tipo de superficie	ϵ	σ (mho/m)
Agua del mar (0° C)	80	4 a 5 (hasta 1 GHz)
Agua del mar (10° C)	73	4 a 5 (hasta 1 GHz)
Agua dulce (10° C)	84	1×10^{-3} a 1×10^{-2} (hasta 100 MHz)
Agua dulce (20° C)	80	1×10^{-3} a 1×10^{-2} (hasta 100 MHz)
Terreno muy húmedo	30	5×10^{-3} a 2×10^{-2}
Suelo medio	15	5×10^{-4} a 5×10^{-3}
Tierra ártica	15	5×10^{-4}
Terreno muy seco y grandes ciudades (zonas industriales)	3	5×10^{-3} a 1×10^{-4}
Hielo polar	3	$2,5 \times 10^{-5}$

En este cuadro, la gama de valores de conductividad para un tipo de superficie dado corresponde a las diferencias que se comprueban entre las diversas partes del mundo. Los valores más elevados son válidos para las regiones fértiles; la conductividad del agua de los lagos y ríos aumenta con la concentración de impurezas.

3. Factores que influyen en el valor de las constantes del suelo.

El valor equivalente de las constantes del suelo depende no solamente de la naturaleza de este último, sino también de su humedad y temperatura. Los demás factores que intervienen son la frecuencia, la estructura geológica general del terreno, el grado de penetración efectivo y la dispersión lateral de las ondas. También es necesario tener en cuenta la absorción de energía por la vegetación, edificios y demás obstáculos existentes en la superficie del suelo.

3.1 Naturaleza del suelo.

Aun cuando las numerosas mediciones efectuadas han permitido establecer que las constantes varían según la naturaleza del suelo, es probable que esta variación no se deba tanto a la composición química del suelo como a sus propiedades de absorción y de retención de la humedad. Normalmente, la conductividad de la arcilla es de 10^{-2} mho/m; ahora bien, ha podido demostrarse que, si la arcilla está seca, su conductividad puede disminuir hasta 10^{-4} mho/m, es decir, a un valor igual a la del granito.

3.2 Grado de humedad.

Es muy probable que el grado de humedad del suelo sea el parámetro que más influye en el valor de sus constantes eléctricas. Las mediciones efectuadas en laboratorio han demostrado que, aumentando el grado de humedad a partir de un pequeño valor, las constantes aumentan rápidamente y van alcanzando sus valores máximos a medida que el grado de humedad se aproxima al valor de los que normalmente existen en suelos reales correspondientes. Parece ser que, en un lugar determinado, la humedad del suelo permanece casi constante durante todo el año, a profundidades iguales o superiores a un metro y aun cuando la humedad pueda aumentar cuando llueve, terminada la lluvia, el curso natural de las aguas y la evaporación en la superficie pronto reducen la humedad a su valor normal. Sin embargo, en un suelo determinado pueden registrarse variaciones de humedad considerables de un lugar a otro a causa de las diferentes estructuras geológicas generales, cuya consecuencia es un desagüe más o menos rápido.

3.3 Temperatura.

Las mediciones de laboratorio efectuadas con diferentes tipos de suelo han demostrado que la variación de la conductividad con la temperatura es del orden del 2 % por grado centígrado; en cambio, la variación de la constante dieléctrica es despreciable. Las dos constantes varían con gran rapidez cuando se alcanza el punto de congelación del agua. Aunque estas variaciones sean apreciables, no hay que olvidar que la gama de variaciones de la temperatura durante el año disminuye rápidamente con la profundidad, por lo que es posible que la temperatura sólo tenga importancia en las frecuencias elevadas en las que la penetración de las ondas es pequeña (véase el § 3.5) o cuando el suelo está helado a gran profundidad.

3.4 Frecuencia.

Las mediciones de laboratorio efectuadas con distintos tipos de suelo han demostrado que hay una variación de las constantes con la frecuencia que depende en gran medida de su grado de humedad. Sin embargo, ha de señalarse que las variaciones de la conductividad no son apreciables más que para valores de la humedad anormalmente bajos, y que la variación aparente de la constante dieléctrica puede ser debida principalmente a efectos de polarización. Por lo tanto, no es seguro que, en la práctica, la frecuencia tenga gran influencia en el valor de las constantes de suelos homogéneos (véase, sin embargo, el § 3.6).

3.5 Estructura geológica general.

Generalmente los terrenos por encima de los cuales se efectúa la propagación no son homogéneos; por consiguiente, las constantes efectivas dependen de varios tipos de suelo distintos. Por ello importa conocer exactamente la estructura geológica general de la región que se estudia. En una zona dada, a lo largo de un trayecto determinado, las constantes equivalentes dependen no solamente de la naturaleza de los suelos que forman la capa superficial, sino también de las capas subyacentes. Estas últimas pueden formar parte del medio que atraviesan las ondas, e incluso tener una influencia indirecta, determinando el nivel de las aguas en las capas superiores.

3.6 Penetración y dispersión de las ondas.

La medida en que las capas inferiores del suelo influyen en el valor de sus constantes eléctricas depende de la profundidad de penetración de la energía radioeléctrica, δ , que se define como la profundidad a la que la intensidad de la onda se ha atenuado en $1/e$ (o sea, un 37 %) de su valor en la superficie. La profundidad de penetración depende de las constantes eléctricas del suelo y de la frecuencia. En el cuadro II se indican estos valores para la gama de frecuencias comprendida entre 10 kHz y 1000 MHz y para los valores medios de las constantes eléctricas.

CUADRO II

Profundidad δ de penetración en función de la frecuencia

Frecuencia	δ (m)				
	Agua de mar	Agua dulce	Terreno muy húmedo	Suelo medio	Terreno seco
10 kHz	2,5	70	50	160	500
100 kHz	0,8	20	16	52	170
1 MHz	0,25	11	5,5	21	95
10 MHz	0,08	9	3	16	90
100 MHz	0,02	4	2	16	90
1000 MHz	0,01	0,2	0,3	16	90

Este cuadro muestra que, especialmente en el caso de superficie de agua y de terreno muy húmedo, la profundidad de penetración varía considerablemente con la frecuencia. Solamente en el caso de un suelo medio o de un terreno muy seco y en las frecuencias superiores a 10 MHz, la profundidad de penetración es independiente de la frecuencia. En las frecuencias más bajas, exceptuando el caso del agua del mar, hay que tener en cuenta las capas profundas, de hasta 100 m o más. Este hecho tiene especial importancia cuando la conductividad de las capas superiores es más baja y la energía puede penetrar más fácilmente en las capas inferiores.

La energía radioeléctrica recibida en un punto determinado no se propaga únicamente a lo largo del trayecto que une directamente dicho punto al transmisor, sino también por gran número de trayectos indirectos distribuidos a ambos lados del primero. Hay que considerar, pues, las constantes del suelo, no sólo a lo largo del propio trayecto directo, sino también en toda la zona en que se produce la dispersión lateral de las ondas. No es posible asignar límites precisos a esa zona; pero sí se ha formulado la hipótesis de que coincide en realidad con la primera zona de media onda de Fresnel; es decir, con la elipse cuyos focos están situados en el transmisor y el receptor, y cuyos ejes son, respectivamente, $(D + \lambda/2)$ y $\sqrt{D\lambda}$, siendo D la longitud del trayecto directo y λ la longitud de onda.

3.7 *Absorción de la energía por los objetos situados en la superficie de la Tierra.*

Los objetos que se encuentran en la superficie de la Tierra no influyen directamente en el valor de las constantes del suelo, pero pueden contribuir en gran medida a la atenuación de las ondas de superficie. En los cálculos de propagación puede ser necesario tener en cuenta estas pérdidas de energía en los valores adoptados para las constantes del suelo.

Se ha observado en particular que la atenuación de la onda de superficie por encima de un terreno poblado de árboles, en la frecuencia 75 MHz, puede ser mucho más importante para una onda polarizada verticalmente que para una polarizada horizontalmente [2].

4. **Métodos de medida de las constantes del suelo.**

Los métodos que se indican a continuación han sido utilizados para medir una o las dos constantes del suelo.

4.1 *Mediciones de laboratorio con muestras de suelo.*

Para determinar el valor de la constante dieléctrica y de la conductividad de muestras del suelo, se mide la resistencia y la reactancia de condensadores cuyo dieléctrico está constituido por esas muestras. Este método se ha utilizado para hacer mediciones con agua de mar y con gran número de suelos distintos, rocas inclusive, principalmente en las frecuencias comprendidas entre 1 kHz y 10 MHz.

4.2 *Medida de la resistividad del suelo por medio de sondas.*

Para conocer la conductividad se mide sobre el terreno la resistencia entre sondas introducidas en el suelo. La mayoría de las veces estas medidas se hacen con corriente continua y con un sistema de cuatro sondas; se hace pasar una corriente entre dos de estas sondas y se mide la diferencia de potencial resultante entre las otras dos. La profundidad a que estas mediciones dan resultados significativos depende de la separación entre las sondas. Efectuando una serie de medidas con separaciones diferentes se puede determinar el espesor de la capa superficial del suelo o la altura de la capa de agua.

También se ha obtenido el valor de conductividad midiendo la impedancia mutua entre dos líneas paralelas situadas en la superficie del suelo, o ligeramente encima, cuyos extremos estaban conectados a tierra.

4.3 *Método de la inclinación de las ondas.*

Se basa en el principio de que las pérdidas en la superficie del suelo originan un débil componente radial del vector del campo eléctrico. En general, este campo es de polarización elíptica y el eje mayor de la elipse está inclinado hacia adelante debido al flujo de potencia que penetra en el suelo. Este método exige una medida precisa de la relación de los

ejes y de la inclinación de la elipse hacia adelante, mediante un dipolo orientable. Cuando la superficie del suelo no es horizontal, conviene medir el ángulo de inclinación hacia adelante con relación a la normal a la superficie y no con relación a la vertical [3]. Se ha indicado que este método, adecuadamente empleado, permite medir las constantes del suelo en una gama de frecuencias que va de 100 kHz a 40 MHz [4].

El método de la inclinación de las ondas se ha empleado con éxito para medir las heterogeneidades de la superficie terrestre en sentido horizontal. A veces se cometen errores cuando se hacen las mediciones a proximidad de regiones caracterizadas por importantes gradientes horizontales de conductividad, como en el paso de la tierra al mar o de un terreno arido a uno de marismas.

4.4 *Medida de la atenuación de la onda de superficie.*

Se mide la atenuación de una onda de superficie en función de la distancia y se deduce la conductividad del suelo comparando los resultados con curvas de propagación basadas en teorías rigurosas, o en métodos semiempíricos considerados aceptables. Este método es aplicable a todas las frecuencias.

4.5 *Atenuación en función de la profundidad por debajo de la superficie del suelo.*

Las constantes del suelo pueden también determinarse midiendo el porcentaje relativo de atenuación de la intensidad de campo con un receptor, colocándolo por debajo de la superficie del suelo, dentro de un pozo o de un orificio adecuado [5].

4.6 *Medidas de la variación de fase.*

Una vez medida la variación de la fase de una onda de superficie en función de la distancia, de la cadena de esta variación se puede deducir la conductividad por encima de un suelo homogéneo. Este método sólo se ha utilizado hasta ahora con ondas kilométricas y se considera que es más sensible que el de medida de las atenuaciones cuando se trata de localizar zonas de discontinuidad en el terreno.

4.7 *Medición del coeficiente de reflexión.*

Para medir sobre el terreno el coeficiente de reflexión del suelo se utilizan métodos de radiación de incidencia normal. Los resultados permiten obtener al mismo tiempo la constante dieléctrica y la conductividad. Sin embargo, esta última se determina con menos precisión. Este método no es conveniente más que para las frecuencias elevadas.

4.8 *Dispersión de las ondas debida a perturbaciones atmosféricas.*

Cuando un impulso como los producidos por ciertas descargas atmosféricas se propaga por encima de la superficie terrestre, la forma de la onda se modifica, estirándose el impulso a medida que la onda se propaga. La importancia de esta dispersión depende de la conductividad. Si es posible medir la forma de la onda en dos puntos en línea con la fuente, uno de ellos bastante próximo a ella y otro distante, puede establecerse una relación entre los cambios observados y la dispersión calculada, para diferentes valores de la conductividad de un suelo homogéneo equivalente. Este método es especialmente indicado para frecuencias bajas y trayectos de longitud comprendida entre varios centenares y varios miles de kilómetros.

5. *Aplicación de estos métodos a los problemas de propagación.*

El estudio de los métodos anteriormente indicados y el de los factores de que depende el valor de las constantes del suelo, indican claramente que la mayoría de esos métodos no proporcionan todos los datos necesarios para los cálculos de propagación y que, en algunos casos, es necesario efectuar toda una serie de mediciones.

Por ejemplo, las mediciones efectuadas en laboratorio con muestras de suelo podrán facilitar datos precisos y detallados sobre las constantes del suelo en las condiciones naturales, pero a reserva de que esas muestras sean numerosas y hayan sido tomadas lo mismo a lo largo del trayecto de propagación que a cierta profundidad. También es necesario conocer con precisión la estructura geológica del suelo a lo largo del trayecto, a fin de poder utilizar los resultados de las mediciones para deducir de ellos el valor de las constantes del suelo. Es probable que este método sea más conveniente para el estudio de las posibles variaciones de las constantes y de los parámetros de que dependen, que para determinar las características de un trayecto dado.

El método por medición de la resistividad tiene más en cuenta la estructura general del terreno, aunque solamente sobre una superficie relativamente pequeña. Este método es sencillo y de fácil aplicación, y acaso sea el que más convenga cuando no hay necesidad de conocer las características del suelo más que en las proximidades inmediatas del transmisor o del receptor. Si bien proporciona inmediatamente el valor de las constantes a diferentes profundidades, para evaluar la atenuación debida al trayecto hay que hacer mediciones en cierto número de puntos a lo largo de ese trayecto, dependiendo las distancias mutuas de la estratificación vertical del terreno.

El método basado en la medida de la inclinación de las ondas tiene en cuenta también la estructura del terreno alrededor del punto de medición y da el valor de las constantes efectivas correspondientes a la frecuencia utilizada. Los resultados de las mediciones son erróneos a proximidad de regiones caracterizadas por un fuerte gradiente de conductividad, o de objetos muy conductores situados en la superficie del suelo o enterrados. No deberán hacerse las mediciones demasiado cerca de la antena de emisión, ya que la distancia mínima que debe respetarse es del orden de 10 longitudes de onda para frecuencias bajas y medias, o una distancia que sea considerable comparada con las dimensiones de la antena, en frecuencias elevadas. El método resulta poco preciso por debajo de 100 kHz, por ser entonces pequeños los ángulos de inclinación. Debido a la variación de la inclinación en función de la altura por encima de la superficie terrestre, este método sólo es útil para frecuencias inferiores a unos 40 MHz [4]. Puede utilizarse para determinar la atenuación del trayecto si se procede a una serie de medidas a lo largo del mismo [6].

El método por medición de la atenuación de la onda de superficie es uno de los más completos, pues tiene en cuenta todos los factores que intervienen. Como el descrito en el párrafo anterior, permite determinar las variaciones de las constantes del suelo a lo largo de un trayecto mediante una serie de mediciones. No obstante, los resultados son probablemente menos precisos que los obtenidos con los métodos basados en la medida de la resistividad del suelo o de la inclinación de las ondas. Además, los resultados sólo son válidos para el trayecto considerado o para otro de características muy semejantes, y el método se presta mal a la medición de las constantes del suelo en ciertas zonas de poca extensión.

El método de la variación de fase tiene también en cuenta todos los parámetros que intervienen; además, parece que puede facilitar datos más detallados que el precedente sobre trayectos heterogéneos. Tiene, sin embargo, el inconveniente de que requiere un enlace auxiliar en ondas métricas o decimétricas como referencia de fase para los receptores.

En los tres últimos métodos hay que tomar ciertas precauciones para que en el campo medido no influyan las ondas ionosféricas y para que la alta vegetación no tenga un efecto exagerado en los resultados, salvo que se quiera estudiar más particularmente tal efecto.

Los resultados que se obtienen con el método del coeficiente de reflexión sólo son válidos para una pequeña zona de terreno alrededor del punto de medida; por otra parte, como este método no puede emplearse más que en frecuencias elevadas, es también muy pequeña la profundidad del terreno a que se refieren las mediciones.

El método de dispersión es muy indicado para trayectos relativamente largos y frecuencias bajas, y se aplica, por tanto, principalmente en los sistemas de navegación de baja frecuencia. Tiene la ventaja de no exigir transmisor y el inconveniente de que sólo permite obtener datos muy lentamente, pues las descargas de rayos apropiadas se producen con carácter errático y muy poco frecuente. Puede aplicarse a cualquier distancia porque el método de los impulsos permite establecer una distinción entre la onda de superficie y la ionosférica. Exige un equipo más complicado y cálculos matemáticos más complejos que los demás métodos. Para vencer algunos de los inconvenientes indicados, convendría perfeccionarlo.

BIBLIOGRAFÍA

1. SAXTON, J. A., y LANE, J. A.: Electrical properties of sea water, *Wireless Engineer* (octubre de 1952).
2. C. C. I. R.: Doc. V/24 (República Federal de Alemania), 1959-1963.
3. C. C. I. R.: Doc. V/20 (República Popular de Polonia), 1959-1963.
4. C. C. I. R.: Doc. V/1 (República Federal de Alemania), 1959-1963.
5. KACHPROVSKI, V.: The propagation of radio waves and conductivity. *Radio Journal of U. S. S. R.* (1958) (en ruso). Traducción al inglés del National Bureau of Standards Tl-60 (30 de junio de 1959).
6. C. C. I. R.: Doc. V/21 (República Popular de Polonia), 1959-1963.

INFORME 230-1 *

PROPAGACIÓN DE LA ONDA POR TERRENO HETEROGÉNEO

(Cuestión 1-1/5)

(1956 - 1959 - 1963 - 1970)

Se han realizado progresos muy importantes en la solución del problema que plantea la propagación por encima de un terreno heterogéneo y accidentado. Estos progresos consisten, en particular, en una generalización de las condiciones en que es posible efectuar el análisis matemático riguroso del problema y presentarlo en forma tal que el ingeniero pueda realizarlo en la práctica.

Dada la gran complejidad del problema se han hecho hipótesis simplificadoras para el estudio teórico como, por ejemplo, la de considerar un trayecto de propagación compuesto de secciones homogéneas y bien definidas y la de admitir una estratificación del suelo paralela a la superficie de la Tierra, supuesta regular. Actualmente se está estudiando la posibilidad de hacer extensivo el análisis a los casos generales que se encuentran con mayor frecuencia en la práctica. Se ha progresado en el estudio del caso en que dos secciones de un trayecto están separadas por una zona de transición y en el caso de que la variación de las constantes eléctricas del suelo está ligada a una variación de altura de la superficie. En los Documentos de la XI Asamblea Plenaria del C. C. I. R., Oslo, 1966, Volumen II, páginas 79 a 81, figura una bibliografía detallada.

Incluso cuando se estudian casos ideales hay que recurrir a ciertas aproximaciones matemáticas, generalmente legítimas, salvo quizá en lo que concierne a la intensidad de campo en las proximidades de una heterogeneidad notable. A este respecto, puede mencionarse un interesante estudio de Wait [A. 9] sobre la intensidad de campo a proximidad de la frontera entre dos secciones consecutivas de un trayecto. El autor utiliza un método analítico más preciso.

* Adoptado por unanimidad.



Al hacerlo, adopta la hipótesis de que las impedancias de superficie de las dos secciones son constantes hasta la frontera; pero si bien advierte que esta hipótesis no está justificada para distancias bastante cortas para poder compararlas con la profundidad de penetración en el suelo, la restricción no es muy importante porque, generalmente, la profundidad de penetración es muy inferior a una longitud de onda en espacio libre.

Godzinski [F. 9] ha hecho extensivo este análisis al caso en que entre dos secciones homogéneas exista una zona de transición en la que la impedancia de superficie varíe linealmente, y ha determinado la función de atenuación compleja para todos los puntos próximos a las fronteras. Sus resultados muestran que los detalles de la zona de transición carecen de importancia, siempre que la anchura de esta zona sea reducida con relación a la longitud de onda. Sin embargo, su análisis es incompleto desde el punto de vista formal, pues supone una discontinuidad de la derivada de la impedancia de superficie al principio y al final de la zona de transición.

La hipótesis de una impedancia de superficie constante o de variación lineal en una zona horizontal finita de la superficie de la Tierra, equivale totalmente a la introducción de cargas lineales virtuales paralelas a las fronteras, ya que si el campo magnético tangencial es continuo al atravesar una frontera, el campo eléctrico tangencial (que es perpendicular a la frontera) ha de ser discontinuo, lo que equivale a la existencia de cargas lineales magnéticas a lo largo de la frontera.

Afortunadamente, estas cargas virtuales en las fronteras de separación carecen de importancia práctica, salvo para un observador situado muy cerca de una frontera perfectamente definida, tal como una costa marítima. Esta conclusión ha sido confirmada por los experimentos efectuados con un modelo en la Universidad de Colorado.

Las memorias que se citan a continuación contienen gráficos que permiten al ingeniero resolver ciertos problemas de propagación en secciones de trayecto bien definidas, o calcular aproximadamente la refracción costera:

- FEINBERG, E. L. [C. 1], presenta gráficos de la refracción costera para longitudes de onda de 300 y 600 metros;
- WAIT, J. R. [A. 7], y WAIT, J. R., y HOUSEHOLDER, J. [A. 8], presentan en forma gráfica datos de atenuación y de fase para trayectos planos y esféricos de dos secciones y para varios valores de conductividad;
- FURUTSU, K. [A. 1, A. 4, E. 1], da representaciones gráficas de la función de atenuación para trayectos planos de dos y de tres secciones y para trayectos esféricos con secciones múltiples, homogéneas y de longitud muy grande;
- GODZINSKI, Z. [A. 10], presenta curvas que permiten calcular de un modo sencillo la atenuación y la fase para trayectos planos de dos y de tres secciones y para trayectos esféricos con secciones múltiples, en el caso particular en que las secciones son, alternativamente, cortas y largas;
- WAIT, J. R. [A. 13], da, en forma de cuadros y gráficos, los coeficientes de amplitud y de fase correspondientes a trayectos de dos secciones en una tierra plana y otra esférica, en las gamas de ondas kilométricas y hectométricas (bandas 4, 5 y 6).

Los autores de estas memorias hacen la hipótesis de que las fronteras entre las secciones son netas, mientras que en la práctica el paso de una sección a otra puede ser más o menos progresivo. Sin embargo, el estudio de la influencia de una zona de transición entre las secciones ha demostrado que, en ciertos casos particulares, al menos a gran distancia de la frontera, puede admitirse que esta frontera es neta y no progresiva [C. 1, A. 11, F. 9].

En lo que concierne al estudio de la refracción debida a las heterogeneidades del trayecto, parece que en lo sucesivo este estudio podrá abarcar la discusión de las posibles variaciones de la polarización de las ondas en las proximidades de las heterogeneidades, y la de la influencia resultante en los errores de radiogoniometría [A. 6]. Además, los trabajos efectuados en el Reino Unido [A. 12] hacen pensar que, en la mayoría de los casos prácticos predominan importantes errores estadísticos, y que no es posible fiarse de los resultados de mediciones

para controlar los cálculos teóricos relativos a la desviación de la onda de superficie al pasar una línea costera. Es también difícil verificar la teoría de la propagación de las ondas paralelamente a una frontera mediante mediciones de la intensidad de campo a lo largo de una línea costera.

Se ha discutido la influencia que ejerce la estratificación horizontal del suelo [B. 1, B. 2, B. 3, B. 4, B. 5 y A. 13] y esta discusión ha revelado que es posible utilizar constantes equivalentes del suelo de las que dependen, al mismo tiempo, la atenuación de la onda y la forma de su elipse de polarización. En los casos en que la heterogeneidad del suelo es de naturaleza más compleja, es también mucho más complicada la relación entre las constantes equivalentes del suelo y la forma de la elipse de polarización, factor éste importante que hay que tener en cuenta al medir las constantes eléctricas del suelo.

Las variaciones de las constantes eléctricas del suelo influyen en la amplitud, la fase, la elipse de polarización y la función altura-ganancia relativas a la onda de superficie. Sin embargo, ninguna de estas características está ligada de modo simple a los valores locales de las constantes del suelo. Este problema es importante en lo que concierne a las posibilidades de investigación geológica por procedimientos radioeléctricos, y convendría estudiarlo a fondo en lo futuro.

Hay que señalar que se recurre a la noción de impedancia de superficie en un número cada vez mayor de estudios teóricos basados en la hipótesis de condiciones límites aproximadas. Se puede pensar que esta tendencia tiene interés para los ingenieros familiarizados con esta noción en otras ramas técnicas. En realidad, existe una marcada analogía entre las líneas de transmisión heterogéneas y un suelo de estratificación horizontal, analogía que podrá revelarse de utilidad en el cálculo de las constantes equivalentes del suelo [B. 2, B. 3, B. 4, B. 5, B. 6, A. 13 y A. 14].

A causa de la complejidad de los métodos teóricos, se han comparado éstos [F. 8] con los métodos semiempíricos de uso más corriente [F. 3 a F. 6], por ejemplo, el método Millington y el método de la distancia numérica equivalente (método de la conductividad equivalente) [F. 1 y F. 2], habiéndose comprobado que el método de Millington concuerda bien con la teoría, lo que permite afirmar que este método es conveniente para la mayoría de los casos reales [F. 10]. La concordancia es mayor para la amplitud que para la fase, pero, incluso en presencia de variaciones de fase, el método de Millington da resultados que están dentro de los límites de las mediciones corrientes, habida cuenta de las dificultades anteriormente mencionadas.

El método de la distancia numérica equivalente, o método de la conductividad equivalente, tiene la ventaja de la sencillez cuando hay que hacer numerosos cálculos, pero en ciertos casos es origen de importantes errores. Por lo tanto, cuando se emplea este método, es indispensable permanecer en su campo de aplicación limitado y controlar los resultados mediante otros métodos en cierto número de puntos comprendidos en el terreno a estudiar.

Hasta el presente, se había admitido siempre que el suelo, aunque heterogéneo, estaba libre de accidentes de terreno, fuese éste plano o esférico. Actualmente se admite que los accidentes del terreno eventuales pueden influir en el estudio de las heterogeneidades. Sin embargo, el estudio de un problema tan general presenta dificultades extremadamente grandes [C. 1 a C. 7]. De ahí que los trabajos de Furutsu [C. 2, C. 3 y C. 8] sean tan valiosos. Este autor demuestra la estrecha analogía que existe entre la propagación por terreno heterogéneo y la propagación por una superficie con ligeras ondulaciones, y, además, ha conseguido incluir en un solo estudio estos dos aspectos de la propagación de la onda de superficie. Furutsu da fórmulas y curvas para algunos casos especiales que pueden tener gran importancia desde el punto de vista práctico, y ha abierto el camino para la realización de un estudio más general del problema que tenga en cuenta, al propio tiempo, los accidentes del terreno y las heterogeneidades del suelo.

En el caso de la propagación por trayectos terrestres relativamente largos en ondas kilométricas y también en el de ciertos sistemas de navegación que utilizan impulsos, resulta muy difícil determinar analíticamente las funciones de atenuación y de fase como consecuencia de la compleja distribución de las constantes del suelo, tanto vertical como horizontalmente, debido especialmente a la falta de datos precisos sobre esta distribución. Se ha propuesto [D. 1]

determinar la conductividad equivalente del terreno heterogéneo midiendo la dispersión presentada por atmosféricos apropiados de naturaleza impulsiva (efectuando las medidas en dos puntos a diferente distancia de la fuente) y comparando esta dispersión con la calculada para una tierra esférica homogénea, para varios valores de la conductividad. Se estima que los resultados de predicción de la longitud eléctrica de los trayectos terrestres pueden mejorarse hasta el punto de que sean tan satisfactorios prácticamente como para un trayecto marítimo, si la conductividad equivalente para el trayecto terrestre puede determinarse con una precisión de una o dos cifras significativas. Las características de los terrenos homogéneos y heterogéneos han sido objeto de gran número de estudios teóricos (véase la sección D de la bibliografía), pero procede seguir las comparaciones con los resultados experimentales.

Gracias al empleo de métodos modernos a base de calculadoras electrónicas, Johler y Berry [C. 9] han conseguido prever la fase y la amplitud en 100 kHz de impulsos que se han propagado por encima de un terreno heterogéneo y accidentado. Para mayor comodidad, estos autores eligieron accidentes de terreno que presentaban secciones verticales de forma gaussiana, aunque el método puede aplicarse también a formas y constantes de suelo totalmente arbitrarias. También en este caso se precisarán datos experimentales, para compararlos con los resultados analíticos.

BIBLIOGRAFÍA

A. Investigaciones teóricas sobre la propagación por terreno heterogéneo.

1. FURUTSU, K.: Propagation of electro-magnetic waves over a flat earth across a boundary separating different media and coastal refraction. *J. Radio Res. Lab.* (Tokio), **2**, 1 (1955).
2. FURUTSU, K.; WILKERSON, R. E., y HARTMANN, R. F.: Some numerical results based on the theory of radio-wave propagation over inhomogeneous earth. *NBS Journal of Research* **69D**, 827 (1964).
3. FURUTSU, K.: Calculated curves for ground wave propagation over inhomogeneous earth with pronounced features. *NBS Journal of Research*, **69D**, 1011 (1965).
4. FURUTSU, K.: Propagation of electro-magnetic waves over a flat earth across two boundaries separating three different media. *Ibid.*, **2**, 239 (1955).
5. FURUTSU, K.: Propagation of electro-magnetic waves over the spherical earth across boundaries separating different earth media. *Ibid.*, **2**, 345 (1955).
6. SENIOR, T. B. A.: Radio propagation over a discontinuity in the earth's electrical properties: I et II Coastal refraction. *Proc. I. E. E.*, Part C, **104**, 43, 139 (1957).
7. WAIT, J. R.: Mixed path ground wave propagation: 1. Short distances. *NBS Journal of Research*, **57**, 1 (1956).
8. WAIT, J. R., y HOUSEHOLDER, J.: Mixed-path ground-wave propagation: 2. Larger distances. *Ibid.*, **59**, 19 (1957).
9. WAIT, J. R.: Amplitude and phase of the low-frequency ground-wave near a coastline. *Ibid.*, **58**, 237 (1957).
10. GODZINSKI Z.: The use of equivalent secondary sources in the theory of ground-wave propagation over an inhomogeneous earth. *Prpc. I. E. E.*, Monograph N.º 299 R (abril de 1958) publicado de nuevo en los *Proc. I. E. E.*
11. HOUTSMULLER, J.: Ground-wave propagation. *Mixed Path. Tijdschr. Nederl. Radiogen.* Vol. **24**, 1, 1-10 (1959).
12. C. C. I. R.: Doc. IV/2 (Reino Unido), 1956-1959.
13. WAIT, J. R.: The propagation of electromagnetic waves along the earth's surface. *Proc. Symposium on electromagnetic waves*, **6**, Math. Research Center, U. S. Army, 1961.
14. WAIT, J. R.: On the theory of mixed-path ground-wave propagation on a spherical earth. *NBS Journal of Research*, **65D**, 401 (1961).

B. Investigaciones teóricas sobre la propagación por terreno estratificado.

1. GROSSKOPF, J.: Das strahlungsfeld eines vertikalen Dipolenders über geschichtetem Boden. (Campo de radiación de un dipolo vertical sobre un terreno estratificado). *Hochfr. und El. Ak* **60**, 136 (1942).
2. WAIT, J. R.: Radiation from a vertical electric dipole over a stratified ground. *Trans. IRE.* Volumen AP-1, 9 (1953).
3. WAIT, J. R., y FRASER, W. C. G.: Radiation from a vertical dipole over a stratified ground (Part II). *Ibid.*, Vol. AP-3, 144 (1954).

4. WAIT, J. R.: Theory of electromagnetic surface waves over geological conductors. *Geofisica Pura Appl.*, **28**, 47 (1954).
5. WAIT, J. R.: Radiation from a vertical antenna over a curved stratified ground. *NBS Journal of Research*, **56**, 237 (1956).
6. BREJOVSKIJ, L. M.: Ondas en medios estratificados (publicado por la *Ac. de Ciencias de la U. R. S. S.*, Moscú) (1957) (en ruso).

C. Investigaciones teóricas sobre la propagación por terreno irregular y heterogéneo.

1. FEINBERG, E. L.: Propagación de ondas radioeléctricas en superficies reales. Ref. A. 1, 97 (en ruso)
2. FURUTSU, K.: On the multiple diffraction of electro-magnetic waves by spherical mountains. *Journal of Radio Res. Lab.* (Tokio), **3**, 331 (1956).
3. FURUTSU, K.: Wave propagation over an irregular terrain, (I), (II), (III), *Ibid.*, **4**, 135, 349 (1957); **6**, 71 (1959).
4. WAIT, J. R.: On the theory of propagation of electromagnetic waves along a curved surface. *Can. J. Phys.*, **36**, 9 (1958).
5. KALININ, Yu. K.: Perturbación del campo de una onda radioeléctrica plana por la heterogeneidad de la superficie de la Tierra. *Radiotechn. and Elektron.*, **3**, 557 (1958) (en ruso).
6. BREMMER, H.: Applications of operational calculus to ground-wave propagation in particular for long waves. *Trans. IRE*, AP-6, **3**, 267-273 (1958).
7. BREMMER, H.: *Encyclopedia of Physics*, editado por S. Flügge, Springer, Berlín, **16**, Sect. 68-73 531 (1958).
8. FURUTSU, K.: Effect of ridge, cliff and bluff at coastal line on ground-waves. *Journal of Radio Res. Labs.* (Tokio), **9**, 85 (1962).
9. JOHLER, J. R. BERRY, L. A.: Loran-D phase conditions over inhomogeneous irregular terrain. *E. S. S. A. Technical Report*, I. E. R, 59, I. T. S. A. 56 (noviembre de 1967).

D. Investigaciones teóricas sobre la propagación de los impulsos por terreno heterogéneo.

1. JOHLER, J. R., y LILLEY, C. M.: Ground conductivity determinations at low radio frequencies by an analysis of sferic signatures of thunderstorms. *J. Geophys. Res.*, **66**, 3233 (1961).

E. Artículos sobre representaciones gráficas destinadas a facilitar los cálculos.

1. FURUTSU, K., y KOIMAS, S.: The calculation of field strength over mixed paths on a sphericae earth. *Journal of Radio Res. Labs.* (Tokio), **3**, 391 (1956).

F. Métodos semiempíricos.

1. GROSSKOPF, J., y VOGT, K.: Der Zusammenhang zwischen der effektiven Bodenleitfähigkeit und der Ausbreitungssämpfung (Relación entre la conductividad equivalente del suelo y la pérdida de propagación.) *Hochfr. und. El. Ak.*, **62**, 14 (1943).
2. GROSSKOPF, J.: Zur Ausbritung von Mittelwellen über inhomogenes Gelände. (Propagación de las ondas hectométricas en un terreno heterogéneo.) *Fernmeldetechn. (F. T. Z.)*, **3**, 118 (1950)
3. MILLINGTON, G.: Ground-wave propagation over an inhomogeneous smooth earth. *Proc. I. E. E.* Parte III, **96**, 53 (1949).
4. MILLINGTON, G., e ISTD, G. A.: Ground-wave propagation over an inhomogeneous smooth earth Par 2. Experimental Evidence and Practical Implications. *Ibid.*, **97**, 209 (1950).
5. KIRKE, H. L.: Calculation of ground-wave field strength over a composite land and sea path. *Proc. I. R. E.*, **37**, 489 (1949).
6. PRESSEY, B. G.; ASHWELL, G. E., y FOWLER, C. S.: The measurement of the phase velocity of ground-wave propagation at low frequencies over a land path. *Proc. I. E. E.* Part III, **100**, 73 (1953).
7. SUDA, K.: Estimation of medium-wave field strength over mixed paths. Docs. 140 y 232 del C. C. I. R. (Japón), Londres (1953).
8. GODZINSKI, Z.: A comparison of Millington's method and the equivalent numerical distance method with the theory of ground-wave propagation over an inhomogeneous earth. *Proc. I. E. E.*, Part C, Monograph N.º 318 R (diciembre de 1958).
9. GODZINSKI, Z.: The surface impedance concept and the structure of radio waves over real earth. *Proc. I. E. E.*, Part C, **108**, 362 (1961).
10. TOMANKIEWICZ, T.: Determinación de la atenuación de la onda de superficie por medición de las características eléctricas del terreno (en polaco). *Prace Instytutu Łączności.* (Informes del Instituto de Telecomunicaciones, Varsovia, R. P. de Polonia), **2**, (1966).

INFORME 236-2 *

INFLUENCIA DE LOS ACCIDENTES DEL TERRENO EN LA PROPAGACIÓN TROPOSFÉRICA

(Programa de estudios 1-1A/5)

(1951 - 1953 - 1956 - 1959 - 1963 - 1966 - 1970)

1. Introducción.

El objeto del presente Informe es describir, en términos generales, la forma en que las características del terreno afectan a las ondas radioeléctricas en la propagación troposférica entre antenas situadas en ubicaciones arbitrarias, separadas por un terreno desigual.

1.1 Características eléctricas del suelo.

La propagación troposférica depende en principio de las características eléctricas del suelo, como se expone detalladamente en el Informe 229-1. Esta influencia va aumentando a medida que disminuye la frecuencia. Sin embargo, en las frecuencias más elevadas, a menudo es difícil distinguir el efecto de la carencia de homogeneidad de las constantes del suelo del de los accidentes del terreno, que predomina cuando las dimensiones de estos últimos son importantes con relación a la longitud de onda.

1.2 Interacción del terreno y de la troposfera.

Los Informes 231-2, 233-2, 234-2, 235-1, 238-1, 244-2 y 285-2 tratan de la influencia de la troposfera. Muchos de los efectos del terreno y de la troposfera están íntimamente relacionados entre sí, pero es cómodo distinguirlos en la medida de lo posible. Se observa que un aumento de la refracción atmosférica lleva consigo un aumento de la difracción a larga distancia o un aumento de los campos de dispersión hacia adelante, en tanto que en los trayectos más cortos puede producir desvanecimientos debidos a una propagación por trayectos múltiples. Todo aumento de la turbulencia atmosférica puede traducirse por un aumento o por una disminución de la pérdida de transmisión, según la geometría del trayecto considerado y el predominio de diferentes mecanismos de propagación asociados a la estratificación de la estructura del índice de refracción.

1.3 Comparación entre los modelos ideales y los factores de terreno.

Inmediatamente más allá del horizonte radioeléctrico de una antena de transmisión, los campos radioeléctricos observados provienen de una difracción en cumbres, en colinas o en la curvatura de la superficie terrestre. Un caso extremo es el de la difracción en obstáculos tan elevados y aislados que la teoría de la difracción en una arista viva proporciona resultados teóricos que concuerdan bastante bien con las observaciones (véase el § 2 del presente Informe). Las intensidades de campo pueden aproximarse a su valor en el espacio libre, lo que representa un índice de atenuación poco elevado en función de la distancia d , o de la distancia angular θ , y corresponde a la ley de fórmula $20 \log \theta + 10 \log d$, indicada en la fig. 4 del Informe 244-2. El otro caso extremo es el de la difracción en una tierra esférica regular. Le corresponde un campo de débil intensidad, cuyo valor queda pronto rebasado al pasar del horizonte de una antena de transmisión por las de los campos radioeléctricos creados por reflexión en las capas elevadas o por ondas radioeléctricas dispersadas hacia adelante.

* Adoptado por unanimidad.

Se han elaborado métodos teóricos para expresar idealmente ciertas particularidades del terreno, tales como acantilados más o menos escarpados y obstáculos en forma de arista en un trayecto de propagación [1], [3] y [4].

Pero en la mayoría de los casos de propagación por trayecto terrestre, se ha advertido que es sumamente difícil tener en cuenta la irregularidad y los accidentes del terreno, así como la vegetación y los obstáculos artificiales, tales como las construcciones, los puentes y las líneas de alta tensión, si no se hace uso de un «factor de terreno» determinado empíricamente. Estos factores, establecidos en forma de parámetros que relacionen la longitud de onda radioeléctrica y la geometría del trayecto con las características estadísticas del terreno, se estudian en el Informe 239-2, que se consagra a los datos estadísticos descriptivos de propagación aplicables al servicio de radiodifusión y al servicio móvil.

1.4 *Predicción de la propagación entre puntos fijos y de las variaciones de un trayecto a otro.*

El parámetro más importante que permite establecer una distinción entre los distintos perfiles de terreno de un círculo máximo para trayectos transhorizonte de una longitud dada es, generalmente, la distancia angular θ . Esta última es, por definición, el ángulo que forman los rayos que pasan por el horizonte radioeléctrico con el plano del círculo máximo que contiene las antenas; este ángulo es el de difracción mínima o de dispersión mínima, a menos que los haces de las antenas estén dirigidos con grandes ángulos de elevación.

Este ángulo, unido a la altura equivalente de antena y a los demás parámetros mencionados en el presente Informe, sirve para predecir los valores medianos de la pérdida de transmisión en los enlaces por relevadores radioeléctricos entre puntos fijos. La variación de la pérdida de transmisión que se produce inevitablemente de un trayecto a otro entre todos los trayectos que corresponden a un conjunto dado de valores de frecuencia, de distancia, de distancia angular y de alturas equivalentes de antena, se considera que forma parte del error de predicción.

Por el contrario, la mayoría de las aplicaciones del servicio de radiodifusión y del servicio móvil corresponden a un conjunto dado de valores de frecuencia, de distancia, de alturas de antena y de los parámetros representativos del terreno y del clima. La variación de un trayecto a otro que corresponda a este conjunto de condiciones forma parte de la predicción y no del error de predicción.

1.5 *Duración de servicio útil.*

Es cómodo en la mayoría de las comunicaciones entre puntos fijos, prever simplemente la distribución cumulativa en el tiempo, de la potencia recibida de fuentes de señales deseadas e interferentes, con los valores estimados de la correlación [2]. Como la potencia de las señales deseadas y de las señales no deseadas varía generalmente en el mismo sentido con el día y la estación del año, la distribución cumulativa en el tiempo de la relación señal/ruido se extiende sobre una gama más estrecha que si no existiera esta correlación positiva.

Un servicio entre puntos fijos puede considerarse exento de interferencia cuando la relación de las potencias señal disponible/ruido excede un valor previamente determinado durante un porcentaje de tiempo especificado.

2. **Difracción por encima de obstáculos aislados.**

Puede considerarse que ciertos trayectos pasan por cumbres sucesivas que pueden sustituirse por aristas o cilindros, según sean las cimas más o menos agudas. El caso de una cumbre aguda única puede tratarse mediante las integrales de Fresnel. El problema de cumbres múltiples puede expresarse por integrales múltiples del tipo de Fresnel, y en el caso de dos cumbres es posible la integración [1]. La resolución de las integrales es más difícil en casos complejos, y se ha elaborado un método aproximado [5, 6] para el caso de un número cualquiera de cumbres agudas sucesivas.

Se han estudiado teóricamente los efectos del suelo en la difracción por una arista, por una escarpa y por un acantilado [7, 28, 29]. En el caso de un acantilado, la rapidez de variación de la fase relativa, en función de la distancia de la costa, aumenta con la altura del acantilado y es, a veces, mucho mayor que cuando no existe éste.

En los trayectos de gran longitud, la dispersión troposférica puede producirse muy por encima de la cumbre de una montaña, siendo entonces preciso combinar la onda dispersada y la difractada. Cuando las antenas transmisora y receptora estén instaladas a mayor altura que el terreno circundante, puede haber reflexión de algunas ondas, tanto antes como después de la difracción [8]. En ciertos casos en que una onda pasa a proximidad del suelo, puede producirse una pérdida de transmisión suplementaria a causa de la conductividad finita del suelo [3].

Las cumbres de montañas pueden reducir notablemente la pérdida de transmisión y los desvanecimientos por debajo de los valores previsibles en ausencia del obstáculo. Esto ocurre cuando el trayecto directo no es de alcance óptico, pero son visibles el transmisor y el receptor desde la cumbre de la montaña. Se denomina este fenómeno ganancia de obstáculo [9, 10]. Cuando se utiliza el valor numérico de la ganancia de obstáculo, es importante precisar si se trata de la ganancia con relación al campo calculado para una tierra esférica homogénea en la que sólo intervengan la difracción y la refracción atmosférica normal (curvas de propagación de los Atlas del C. C. I. R.), o si se tiene en cuenta también la dispersión y la superrefracción (curvas de la Recomendación 370-1). Se presenta este último caso cuando hay que comparar las propagaciones en dos trayectos próximos, de distancia y altura de antena análogas, en uno de los cuales hay una cumbre de montaña que origina la difracción y en el otro no hay ningún obstáculo. Mediciones efectuadas en estas condiciones han confirmado que se producen dichas ganancias [9, 10, 11, 12, 13, 14].

Se observará que la dirección en que la radiación recibida es más intensa, no es forzosamente la del círculo máximo que enlaza al transmisor con el receptor, sino que puede desviarse apreciablemente sobre todo cuando el lugar de recepción se halla muy próximo a la cresta de difracción (algunos kilómetros). Esta particularidad permite pensar que para evaluar la calidad de una transmisión que pase por encima de la cumbre de una montaña hay que considerar no solamente el perfil del terreno en el plano del círculo máximo, sino estudiar también minuciosamente las propiedades de difracción o de dispersión de la cumbre fuera de ese plano. No obstante, si el obstáculo montañoso está poco alejado del trayecto del círculo máximo ya no introduce una ganancia notable [14].

En Japón se ha efectuado un estudio sobre la difracción debida a varias cumbres, en numerosos trayectos de ondas centimétricas [15]. Como consecuencia de ese estudio se ha elaborado un método empírico de predicción de la atenuación de difracción, y se demuestra que los resultados obtenidos concuerdan satisfactoriamente con los datos. (No obstante, en un caso límite teórico en que todas las crestas coinciden, el método no da la solución correcta.) Se demuestra también [15], que la variación de las señales con el tiempo es proporcional tanto a la pérdida total de difracción como a la relación entre la longitud del trayecto y la longitud de onda.

Se ha observado que la intensidad de campo, cuando es elevada, permanece relativamente estable y el desvanecimiento es pequeño, mientras que en una región en la que el campo es normalmente débil, éste fluctúa mucho con las variaciones del índice de refracción [9, 14]. Dado que los campos elevados se producen por adición de los campos de igual fase recibidos por otros trayectos se necesitarán efectos relativamente grandes de la troposfera en los componentes individuales para modificar apreciablemente el campo resultante. Recíprocamente, los campos más débiles, producidos por la eliminación parcial de varios componentes individuales, son muy sensibles a las variaciones de estas últimas. Esta conclusión también se apoya en el hecho de que los campos de intensidad elevada pierden estabilidad cuando la frecuencia pasa de la gama de ondas métricas (banda 8) a la de las ondas centimétricas (banda 10). Al parecer, para las comunicaciones por ondas difractadas por la cumbre de las montañas, la gama de ondas métricas es más apropiada que las bandas de frecuencias más elevadas.

Trabajos efectuados en el Reino Unido en la banda I [16] han demostrado que la presencia en un largo trayecto de propagación troposférica de una gran cresta situada a menos de 15 km de la ubicación de recepción, causa por difracción una pérdida prácti-

camente constante con el tiempo, es decir, que es idéntica para una propagación normal y para una propagación anormal. Si la cresta que causa la difracción está cerca de una u otra estación terminal, la señal difractada es de un nivel más elevado que el de las señales debida a los demás mecanismos de propagación. Si la cresta responsable de la difracción está más bien próxima al centro del trayecto y si la atmósfera tiene un efecto de super-refracción, este último puede producir durante breves fracciones de tiempo una considerable elevación del nivel de las señales que compense con creces la energía que han perdido por difracción.

Estudios hechos en Japón en 2 GHz [17, 18] muestran que si bien se ha observado durante el verano un desvanecimiento considerable, no se ha apreciado variación estacional notable y sólo se ha advertido una pequeña variación diurna. En cambio, la distorsión debida a la propagación por trayectos múltiples presenta una variación considerable en el tiempo, sobre todo en verano, a causa de la sensibilidad del fenómeno a los desvanecimientos profundos de corta duración, y su correlación con la distribución de la amplitud de los desvanecimientos es buena. El mes más desfavorable en lo que respecta a la distorsión debida a la propagación por trayectos múltiples no coinciden con el mes en el que la pérdida de transmisión es máxima.

En la propagación por encima de las cumbres de montañas elevadas, la mayor parte del trayecto puede estar por encima de las regiones de la troposfera en las que se producen variaciones bruscas del índice de refracción. Puede ocurrir que a cada lado de una cadena de montañas, las condiciones meteorológicas sean muy diferentes y, por lo tanto, que las que puedan dar lugar al desvanecimiento existan solamente en la mitad del trayecto en un momento dado;

Estas dos circunstancias pueden limitar los efectos de la troposfera en los componentes individuales de la onda difractada, tendiendo a disminuir el desvanecimiento existente en los puntos de recepción de intensidad de campo elevada [14]. Es evidente que mientras todas estas investigaciones den resultados útiles, deben proseguirse en los países que tienen las características topográficas necesarias para el estudio de los trayectos radioeléctricos que pasan por crestas de montañas.

3. Influencia de las pequeñas y medias irregularidades del terreno.

La mayoría de las irregularidades del perfil de un terreno no están constituidas por obstáculos aislados [2, 21, 22], libres de la influencia de colinas y valles cercanos. El análisis descriptivo de los datos de radiodifusión consignados en el Informe 239-2 y en la Recomendación 370-1 muestra que, en primera aproximación, se pueden caracterizar estas irregularidades por la diferencia Δh de las alturas de terreno excedidas en el 10 % y el 90 % de un trayecto de propagación, en el intervalo comprendido entre 10 km y 50 km a partir del transmisor [19]. Este parámetro Δh se define en la Recomendación 370-1.

La experiencia ha demostrado que las predicciones entre puntos fijos o las predicciones de la distribución cumulativa de la pérdida de transmisión en la zona servida por un transmisor de radiodifusión, pueden mejorarse utilizando parámetros suplementarios anotados aquí y en el Informe 239-2, en el que se resumen las comparaciones con los datos observados, en tanto que en el presente Informe se explican los fenómenos físicos que justifican el empleo de los parámetros en cuestión.

De ciertos trabajos efectuados en la República Federal de Alemania y en el Reino Unido [20, 22, 23] se desprende que puede mejorarse aún más la precisión de las estimaciones haciendo intervenir, según un método empírico, la pendiente media del terreno a proximidad del punto de recepción. Estos trabajos se fundan en el principio de que se obtiene un campo más intenso en ese punto cuando la dirección de llegada de la onda incidente forma un gran ángulo con el terreno local. Este razonamiento se apoya en simples consideraciones geométricas relativas a los rayos, y en el hecho de que el trayecto de propagación comprende una longitud de dispersión (debida a los edificios, árboles, etc.) tanto menor cuanto mayor es este ángulo.

En otro método empírico elaborado en la República Popular de Polonia [24] se considera el problema desde un punto de vista diferente. Se tiene en cuenta, a título de parámetro suplementario, la longitud de onda media de las ondulaciones del terreno,

representado este último por un modelo sinusoidal equivalente. En este método se suman las aportaciones de las últimas ondulaciones del modelo sinusoidal al factor de terreno; esta edición efectuada empíricamente, se hace según un procedimiento derivado del método de la Television Allocations Study Organization [25].

4. Correlación entre trayectos.

Las mediciones efectuadas en la República Federal de Alemania [26] y en el Reino Unido [27] han revelado que cuando las emisiones se hacen a partir de ubicaciones próximas se advierte una buena correlación entre las intensidades de campo medidas en canales de ondas decimétricas en los que las separaciones de frecuencia pueden ser de hasta 200 MHz. Se obtienen así coeficientes de correlación del orden de 0,9 en terreno llano y de 0,8 en terreno ondulado.

Medidas análogas hechas en las bandas III y V han demostrado que, sobre un terreno medio, el coeficiente de correlación sigue siendo de 0,7, incluso si la relación de frecuencias es de 1/3. Por otra parte, cuando los transmisores están situados en ubicaciones muy alejadas unas de otras, se obtiene un valor casi nulo para el coeficiente de correlación entre las intensidades de campo en el punto de recepción, incluso cuando no hay prácticamente separación de frecuencias.

BIBLIOGRAFÍA

1. MILLINGTON, G.; HEWITT, R., e IMMIRZI, F. S.: Double knife-edge diffraction in field-strength predictions. *I. E. E. Monograph 507 E* (marzo de 1962).
2. RICE, P. L.; LONGLEY, A. G.; NORTON, K. A., y BARSIS, A. P.: Transmission loss predictions for tropospheric communication circuits, *NBS Technical Note 101*, Vol. 1; Vol. 2 (7 de mayo de 1965).
3. FURUTSU, K.: Wave propagation over an irregular terrain, I, II, and III. *Journal of Radio Research Laboratories* (Japón), Vol. 4, 16 (1957); Vol. 4, 18 (1957), y Vol. 6, 23 (1959).
4. FURUTSU, K.: On the theory of radio wave propagation over inhomogeneous earth, *NBS Journal of Research*, 67D (Radio Prop.), 1, 39-62 (enero-febrero de 1963).
5. BAUERMEISTER, E., y KNÖPFEL, W.: UKW — Feldstärke-Voraussage in gebirgigem Gelände (Predicción de la intensidad de campo de las ondas ultracortas en terreno irregular). *Techn. Hausmitt. N. W. D. R. Jahrgang 4*, 67-73 (1952).
6. WILKERSON, R. E.: Multiple knife-edge diffraction. *NBS Journal of Research* (1966).
7. FURUTSU, K.: Effect of ridge, cliff and bluff at a coastline on ground-waves. *Journal of Radio Research Laboratories* (Japón), Vol. 9, 41 (enero de 1962).
8. C. C. I. R.: Doc. V/8 (Yugoeslavia), 1959-1963.
9. DICKSON y otros: *Proc. IRE* (agosto de 1953).
10. NORTON, K. A., y otros: Use of angular distance in estimating transmission loss and fading range for propagation through a turbulent atmosphere over irregular terrain. *Proc. IRE*, Vol. 43, 1488 (octubre de 1955).
11. IWAI, F., y otros: Radio transmission beyond the line-of-sight, etc. *Electrical Communications Laboratory Journal, N. T. T.* (Japón), Vol. 8, 1183 (septiembre de 1959).
12. FUKAMI, T., y otros: Propagation measurements on long mountain diffraction paths, etc. *Electrical Communications Laboratory Journal, N. T. T.* (Japón), Vol. 10, 2430 (diciembre de 1961).
13. C. C. I. R.: Doc. IV/28 (Japón), 1959-1963.
14. KIRBY, R. S.; DOUGHERTY, H. T., y MCQUATE, P. L.: Obstacle gain measurements over Pikes Peak at 60 to 1046 Mc. *Proc. IRE*, 43, 10, 1467-1472 (1955).
15. C. C. I. R.: Doc. V/48 (Japón), 1963-1966.
16. C. C. I. R.: Doc. V/18 (Reino Unido), 1963-1966.
17. C. C. I. R.: Doc. V/29 (Japón), 1963-1966.
18. AKUMURA, Y., y HARA, M.: Long-term properties of UHF path loss and multipath distortion on over-the-horizon radio links using obstacle gain path, *Rev. Elect. Comm. Lab. N. T. T.*, Tokyo, 13, 4 (1965).
19. C. C. I. R.: Doc. V/38 (O. I. R. T.), 1963-1966.
20. C. C. I. R.: Doc. V/24 (República Federal de Alemania), 1963-1966.
21. BECKMANN, P., y SPIZZICHINO, A.: *The scattering of electromagnetic waves from rough surfaces*, Pergamon Press, Londres, Nueva York, París, 1963.

22. THIESSEN, P.: Über den Einfluss der Geländebeschaffenheit auf die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im Bereich IV (Influencia de las irregularidades del terreno en la propagación de las ondas electromagnéticas en la banda IV), *Rundfunktechnische Mitteilungen* 8, 22-38 (1964).
23. U. E. R.: Monografía C (1965).
24. C. C. I. R.: Doc. V/28 (República Popular de Polonia), 1963-1966.
25. LAGRONE, A. H.: Forecasting television service fields, *Proc. I. R. E.*, Vol. 48, 6 (junio de 1960).
26. C. C. I. R.: Doc. V/42 (República Federal de Alemania), 1963-1966.
27. WISE, F. H.: The influence of propagation factors on UHF television, *Television Society Journal* Vol. 10, 11 (1965).
28. FURUTSU, K., WILKERSON, R. E., y HARTMAN, R. F.: Some numerical results based on the theory of radio-wave propagation over inhomogeneous earth, *NBS Journal of Research*. Vol. 68D, 7 (julio de 1964).
29. FURUTSU, K.: Calculated curves for ground wave propagation over inhomogeneous earth with pronounced topographical features. *NBS Journal of Research*. Vol. 69D, 7 (julio de 1965).

INFORME 427 *

FACTOR DE PANTALLA DEL TERRENO QUE DEBE UTILIZARSE PARA EL CÁLCULO DE LA DISTANCIA DE COORDINACIÓN

(Programa de estudios 5-1F-1/5)

1. Introducción.

La Comisión de estudio 5 ha estudiado los puntos de la Cuestión 14/4 relacionados con el factor de pantalla del terreno que ha de utilizarse para el cálculo de la distancia de coordinación, y estima que los valores de este factor propuestos durante la Conferencia Administrativa Extraordinaria de Radiocomunicaciones (C. A. E. R.), Ginebra, 1963, son, en general, más bien moderados. Además, la Comisión de estudio 5 estima que no es posible preparar un solo cuadro de valores del factor de pantalla del terreno independientes de la longitud del trayecto, y sugiere que para calcular dichos factores se utilice el método que sigue:

El método adoptado por la C. A. E. R., Ginebra, 1963, consiste en suponer que se conoce únicamente el ángulo de elevación y la distancia del horizonte radioeléctrico en torno a la estación terrena. En estas condiciones, la hipótesis más prudente que se puede establecer sobre el perfil del terreno es que el horizonte radioeléctrico comprende una arista viva, más allá de la cual el terreno es regular y al nivel del mar (véase la fig. 1).

2. Pérdidas de difracción.

La diferencia entre la pérdida en ese perfil de terreno hipotético y la pérdida en la misma distancia por encima de un terreno regular, representa el factor de pantalla del terreno. En general, este es positivo, es decir, que el obstáculo introduce una atenuación suplementaria. No obstante, la fig. 1 muestra que la distancia angular entre el obstáculo y la posición supuesta de una estación de relevadores radioeléctricos es reducida, y puede ocurrir que la reducción correspondiente de la pérdida por dispersión compense el aumento de pérdida de difracción en el filo de la arista. En un caso extremo, la arista puede ser

* Este Informe y el 337-1 reemplazan al Informe 337 y ha sido adoptado por unanimidad.

visible a la vez desde la estación terrena y desde la de relevadores radioeléctricos, y la pérdida a lo largo del trayecto podría muy bien ser inferior a la registrada por encima de un terreno regular; en este caso, el factor de pantalla del terreno sería negativo. Este es el fenómeno denominado «ganancia del obstáculo».

La pérdida de difracción en la cresta puede calcularse por medio de la fórmula del Informe 244-2, ésta depende sólo ligeramente de la distancia existente entre la estación de relevadores radioeléctricos y la cresta, a condición de que tal distancia sea por lo menos doble de la que separe a la estación terrena de la cresta. Puede suponerse que la pérdida de difracción no varía con el tiempo, ya que la variación del ángulo de difracción por efecto de la refracción es despreciable. Sin embargo, las cumbres naturales de las montañas difieren mucho del filo de una arista teórica, hecho que es preciso no olvidar. Se conocen métodos de cálculo de la atenuación debida a aristas redondeadas, pero es complicado aplicarlos en la práctica, por lo que se propone en este Informe que se aumente en 5 dB la pérdida de difracción, para compensar la imperfección de las aristas naturales [1].

La pérdida a lo largo del trayecto excedida durante el 99,9 % del tiempo entre el obstáculo y la estación de relevadores radioeléctricos, puede calcularse por el método indicado en el Informe 244-2.

3. Pérdidas suplementarias debidas a la dispersión troposférica.

Otro método para determinar la pérdida suplementaria debida a un obstáculo consiste en suponer que éste sólo tiene por efecto aumentar la distancia angular θ entre la estación terrena y la de relevadores radioeléctricos, como sería el caso si el terreno situado más allá del obstáculo fuese de tal naturaleza que impidiera cualquier disminución de la distancia angular entre el obstáculo y la estación de relevadores radioeléctricos.

En este caso, el aumento de la pérdida se puede determinar calculando la pérdida a lo largo del trayecto por el método indicado en el Informe 244-2, corregido del ángulo de elevación del obstáculo visto desde la estación terrena.

4. Método de cálculo.

A título de ejemplo de cálculo del factor de pantalla del terreno según los métodos indicados en los §§ 2 y 3, puede considerarse el caso de un obstáculo situado a 16 kilómetros de la estación terrena, con un ángulo de elevación comprendido entre 1° y 5°.

4.1 Fórmulas de difracción.

En la fig. 3 del Informe 244-2 se da la fórmula que indica la atenuación de difracción con relación al espacio libre. Puede expresarse como sigue:

$$D = 20 \log_{10} \left[\pi \sqrt{\frac{d_A + d_B}{\lambda}} \sqrt{2 \frac{(d_A + d_B)}{\lambda} \operatorname{tg} \alpha_0 \operatorname{tg} \beta_0} \right] \text{ dB};$$

los símbolos de esta fórmula están sacados de la fig. 1. Cuando α_0 y β_0 son inferiores a 10° y d_B es superior a $2d_A$, puede sustituirse la fórmula anterior por la siguiente:

$$D = 20 \log_{10} \left[2\pi \theta \sqrt{\frac{d_A}{\lambda}} \right] \text{ dB}$$

que da el mismo resultado, con una aproximación de 2 dB.

Como la distancia d_A se acerca bastante a la longitud ES, la distancia del punto E a la cresta de la pantalla, y el ángulo de difracción θ , pueden calcularse por medio de fórmulas establecidas, en la hipótesis de una tierra esférica, para valores dados de θ_s , ángulo de elevación de la cresta de la pantalla con relación al plano horizontal del punto E. La variación de D en función de θ_s , en la frecuencia de 4 GHz, y para un trayecto ES de 16 kilómetros, se indica en el cuadro I.

CUADRO I

Pérdida de difracción D en la frecuencia 4 GHz

θ_s (grados)	1	2	3	4	5
θ (grados)	1,6	2,8	4,0	5,1	6,2
Pérdida de difracción (dB)	38	43	46	48	50

Si la antena de la estación R está en visibilidad directa con relación a la cresta del obstáculo, el ángulo de difracción θ puede tener un valor diferente del que corresponde al punto H , pero esto sólo influye en la atenuación de difracción en menos de 2 dB, a condición de que el punto R esté situado a más de 30 km del obstáculo.

4.2 Cálculo de las pérdidas de dispersión en el trayecto.

La fig. 2 contiene una curva que representa la atenuación $L_{0,1}$ entre la estación terrena y la de relevadores radioeléctricos cuando no hay ningún obstáculo. Esta curva se deduce del Informe 244-2, suponiendo que las alturas de antena sean, respectivamente, de 15 y 50 metros en la estación terrena y en la de relevadores radioeléctricos y utilizando los datos correspondientes a un clima continental templado.

Las demás curvas de la fig. 2 representan la atenuación ($L_{0,1}$) entre el obstáculo y la estación de relevadores radioeléctricos para alturas de obstáculos correspondientes a ángulos de elevación comprendidos entre 1° y 5° .

4.3 Valores calculados del factor de pantalla del terreno.

El factor de pantalla del terreno debido al efecto de la difracción en un obstáculo de aristas vivas puede expresarse ahora mediante la fórmula $D + 1_{0,1} - L_{0,1}$ (dB). La variación de este factor en función de la longitud total del trayecto se representa gráficamente en la fig. 3 mediante curvas de trazo grueso. Se observará que, según estas curvas, el valor del factor de pantalla del terreno disminuye hasta un mínimo situado a una distancia que depende del ángulo de elevación y aumenta después.

Las curvas de trazo discontinuo de la fig. 3 representan los factores de pantalla del terreno determinados según el método descrito en el § 3. Estos factores empiezan por aumentar con la distancia, para estabilizarse finalmente en cierto valor.

La carencia de datos sobre el perfil del terreno más allá del obstáculo, obliga evidentemente a determinar el factor de pantalla de acuerdo con la curva que da el valor más bajo, más un margen de 5 dB para compensar las imperfecciones del filo de la arista. Se observará que es imposible especificar los valores del factor de pantalla independientes de la distancia. Sin embargo, se puede establecer el cuadro II, en el que se indican los factores de pantalla del terreno correspondiente a diversas combinaciones de distancias y de ángulo de elevación.

Los valores dados en el cuadro II son aplicables cuando los obstáculos están situados a distancias comprendidas entre 5 y 16 km de la estación terrena, pero pueden también aplicarse para distancias inferiores cuando se sabe que sólo los lóbulos laterales o el lóbulo posterior del diagrama de antena de la estación terrena iluminan el obstáculo. (Documento V/131 (Suecia), 1966-1969).

CUADRO II

*Factor de pantalla del terreno (dB)**Clima continental templado*

Ángulo de elevación (grados)	Distancia (km)					
	100	150	200	300	400	500
1	20	15	11	8	8	8
2	(¹)	21	18	17	17	17
3	(¹)	(¹)	23	23	23	23
4	(¹)	(¹)	(¹)	28	28	28
5	(¹)	(¹)	(¹)	33	33	33

(¹) En estos casos, puede aplicarse el valor máximo de cada columna, si se sabe que sólo los lóbulos laterales o el lóbulo posterior del diagrama de antena de una estación terrena iluminan el obstáculo.

Aunque el procedimiento descrito se aplica a las transmisiones por trayectos terrestres en un clima continental templado, puede también utilizarse para los demás climas mencionados en el Informe 244-2.

4.4 Aplicación de un factor de pantalla del terreno dependiente de la distancia.

Los factores de pantalla del terreno indicados en el cuadro II y en la fig. 3, varían con la distancia. El método utilizado por la Comisión de estudio 4 (Informe 382-1) para el cálculo de la distancia de coordinación, tiene por objeto simplificar el procedimiento, mediante la elección de factores de pantalla del terreno que dependan únicamente del ángulo de elevación del horizonte.

En [2], se describe otro método para incluir el efecto de pantalla del terreno. En este método se hace uso de perfiles de modelos de trayectos semejantes a los de la fig. 1, elegidos después de observar un considerable número de perfiles de trayectos reales entre estaciones terrenas y ubicaciones de relevadores radioeléctricos en Estados Unidos.

Por este método se obtienen curvas de distancias de coordinación en función de la atenuación de trayectos deseada para varios ángulos de elevación del horizonte y para dos zonas radioclimáticas. Las curvas han sido calculadas a base de datos válidos de propagación (Informe 244-2), pero deben proseguirse los estudios a fin de que sean universalmente aplicables.

Se señala a la atención de la Comisión de estudio 4 y a la de las administraciones la referencia [2], que se sugiere se estudie a fin de determinar si el método preconizado sería preferible al del Informe 382-1.

5. Influencia de la dispersión debida a las precipitaciones.

Algunas veces, la propagación por dispersión debida a las precipitaciones anula, en parte, el aumento de pérdida producida por los obstáculos. Los datos de que se dispone en relación con este mecanismo de propagación son escasos. A este respecto, es necesario recopilar datos estadísticos pluviométricos.

El Informe 339-1 contiene otras informaciones sobre este punto.

BIBLIOGRAFÍA

1. C. C. I. R.: Doc. V/48, 1963-1966.
2. C. C. I. R.: Doc. V/119 (IV/303) (Estados Unidos), 1966-1969.

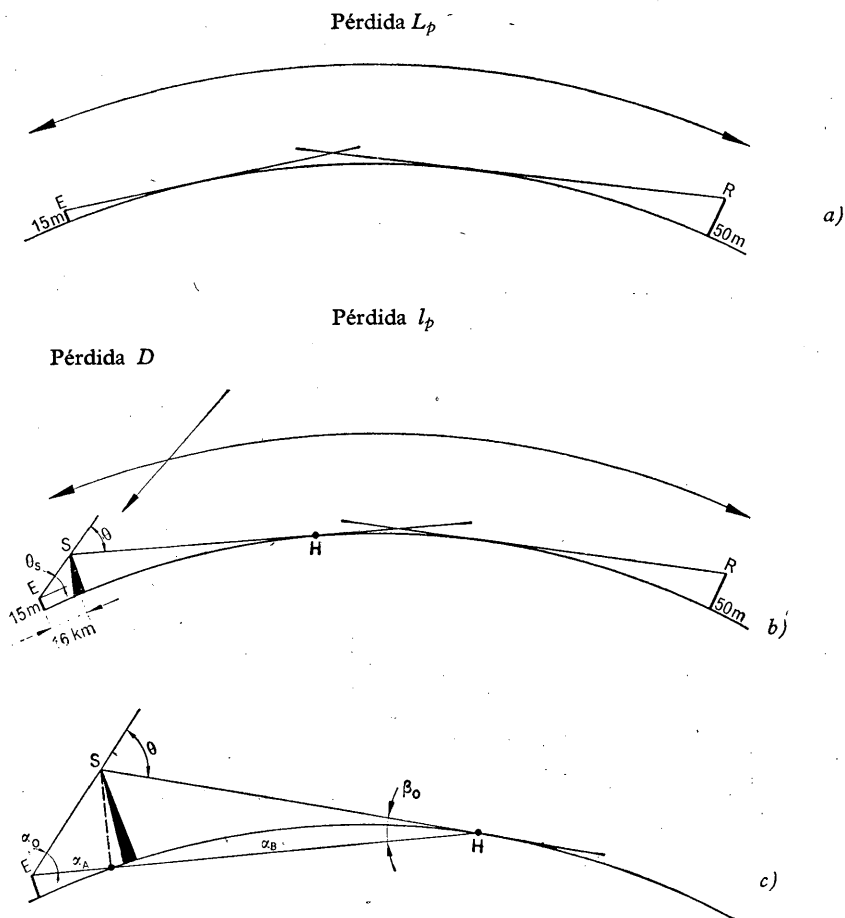


FIGURA 1

Método práctico para calcular la pérdida de difracción cuando se interpone una cresta de montaña en un trayecto que, de otro modo, no estaría en visibilidad directa

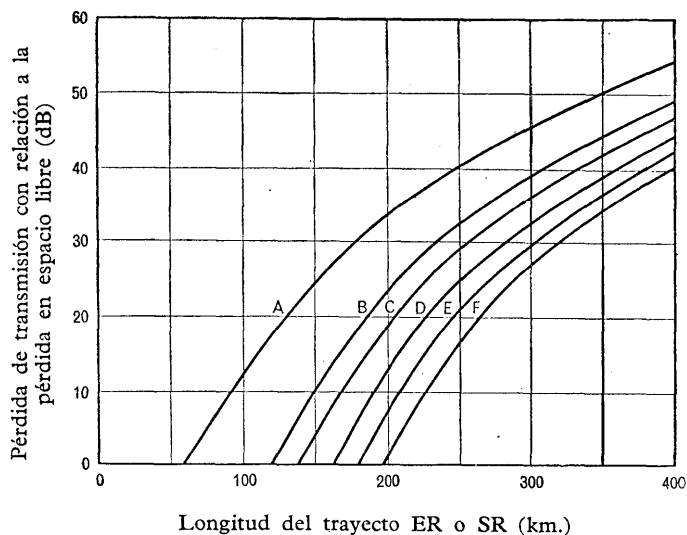


FIGURA 2

Pérdida de transmisión no excedida durante el 0,1 % del tiempo, en la frecuencia de 4 GHz para un clima continental templado, en las condiciones de la figura 1

- A: $l_{0.1}$ en el trayecto ER ($\theta_s = 1^\circ$, altura del obstáculo = 311 m)
 B: $l_{0.1}$ en el trayecto SR ($\theta_s = 2^\circ$, altura del obstáculo = 590 m)
 C: $l_{0.1}$ en el trayecto SR ($\theta_s = 3^\circ$, altura del obstáculo = 870 m)
 D: $l_{0.1}$ en el trayecto SR ($\theta_s = 4^\circ$, altura del obstáculo = 1555 m)
 E: $l_{0.1}$ en el trayecto SR ($\theta_s = 5^\circ$, altura del obstáculo = 1425 m)
 F: $l_{0.1}$ en el trayecto SR ($\theta_s = 5^\circ$, altura del obstáculo = 1425 m)

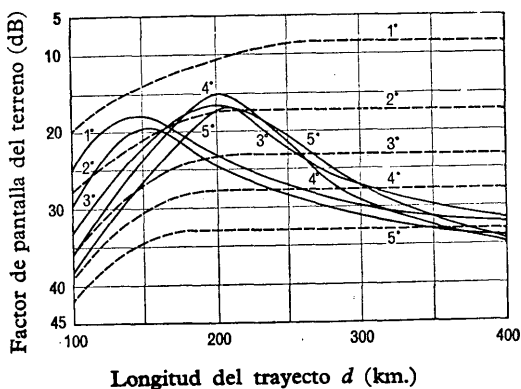


FIGURA 3

Factor de pantalla del terreno en la frecuencia de 4 GHz en un clima continental templado (0,1 % del tiempo)

- con difracción
 - - - - - con dispersión troposférica

SECCION 5 D: PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE SUPERFICIE

RECOMENDACIONES E INFORMES

Recomendaciones

RECOMENDACIÓN 368-1

CURVAS DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE SUPERFICIE PARA FRECUENCIAS COMPRENDIDAS ENTRE 10 kHz Y 10 MHz

(Cuestión 3/5)

(1951 - 1959 - 1963 - 1970)

El C. C. I. R.,

CONSIDERANDO:

- a) Que las curvas de propagación de la onda de superficie en una amplia gama de frecuencias, tienen una importancia cada vez mayor para todos los tipos de radiocomunicaciones, inclusive las ayudas a la navegación, y
- b) Que es necesario disponer de una familia de estas curvas que corresponda a numerosos valores de la conductividad del suelo, si se quiere aplicarlas a las condiciones diversas que se encuentran en la práctica a lo largo de los trayectos terrestres,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

que se adopten las curvas adjuntas (véase el anexo), utilizándolas en las condiciones indicadas en el texto que a ellas se acompaña, para la determinación de la intensidad de campo de la onda de superficie de frecuencias inferiores a 10 MHz.

A N E X O

Las adjuntas curvas de propagación se aplican a frecuencias inferiores a 10 MHz.

A propósito de estas curvas cabe hacer las siguientes observaciones:

1. Han sido establecidas para un suelo uniforme homogéneo;
2. No se tienen en cuenta los efectos de la troposfera en las frecuencias consideradas;
3. Tanto el transmisor como el receptor, se han supuesto situados en tierra. Los efectos del aumento de la ganancia en función de la altura pueden ser sumamente importantes en el caso de las ayudas a la navegación para las aeronaves que vuelan a gran altitud, pero se ha resuelto no tenerlos en cuenta por el momento;
4. Las curvas se refieren a las siguientes condiciones:
 - se han calculado para el componente vertical del campo eléctrico, a base del riguroso análisis de Van der Pol y Bremmer;
 - el transmisor es un dipolo eléctrico vertical, ideal, casi equivalente a una antena vertical de longitud inferior a un cuarto de onda;

- el momento eléctrico del dipolo se ha elegido de modo que el dipolo radiaría una potencia de 1 kW si la Tierra fuese un plano infinito perfectamente conductor, en cuyo caso la intensidad de campo a 1 km de distancia sería de $3 \times 10^5 \mu\text{V/m}$;
 - las curvas se han trazado para distancias medidas siguiendo la curvatura de la Tierra;
 - la curva A, «inversa de la distancia», mostrada en las figuras, a la cual las curvas son asintóticas en distancias cortas, pasa por el valor de intensidad de campo de $3 \times 10^5 \mu\text{V/m}$ cuando la distancia es de 1 km.
5. La pérdida de propagación definida en la Recomendación 341 para las ondas de superficie puede determinarse a base de los valores de intensidad de campo (en dB) con relación a $1 \mu\text{V/m}$ dados en las curvas anexas, por medio de la ecuación (19) del Informe 112;
 6. Por regla general, estas curvas sólo deben utilizarse para determinar la intensidad de campo en los casos en que puede preverse con certeza una amplitud despreciable de las reflexiones ionosféricas de la frecuencia considerada, por ejemplo, cuando se trata de la propagación diurna en la banda comprendida entre 150 kHz y 2 MHz, para distancias inferiores a 2000 km, aproximadamente. No obstante, cuando la intensidad de campo de la onda ionosférica sea comparable o superior a la de la onda de superficie, las curvas siguen siendo aplicables siempre que el efecto de la onda de superficie pueda separarse del de la onda ionosférica por medio de emisiones de impulsos, tal como sucede en determinados sistemas de radiogoniometría y de ayudas a la navegación;
 7. Conviene continuar aplicando esta Recomendación hasta el momento en que se la pueda revisar de conformidad con las sugerencias contenidas en el Informe 428.

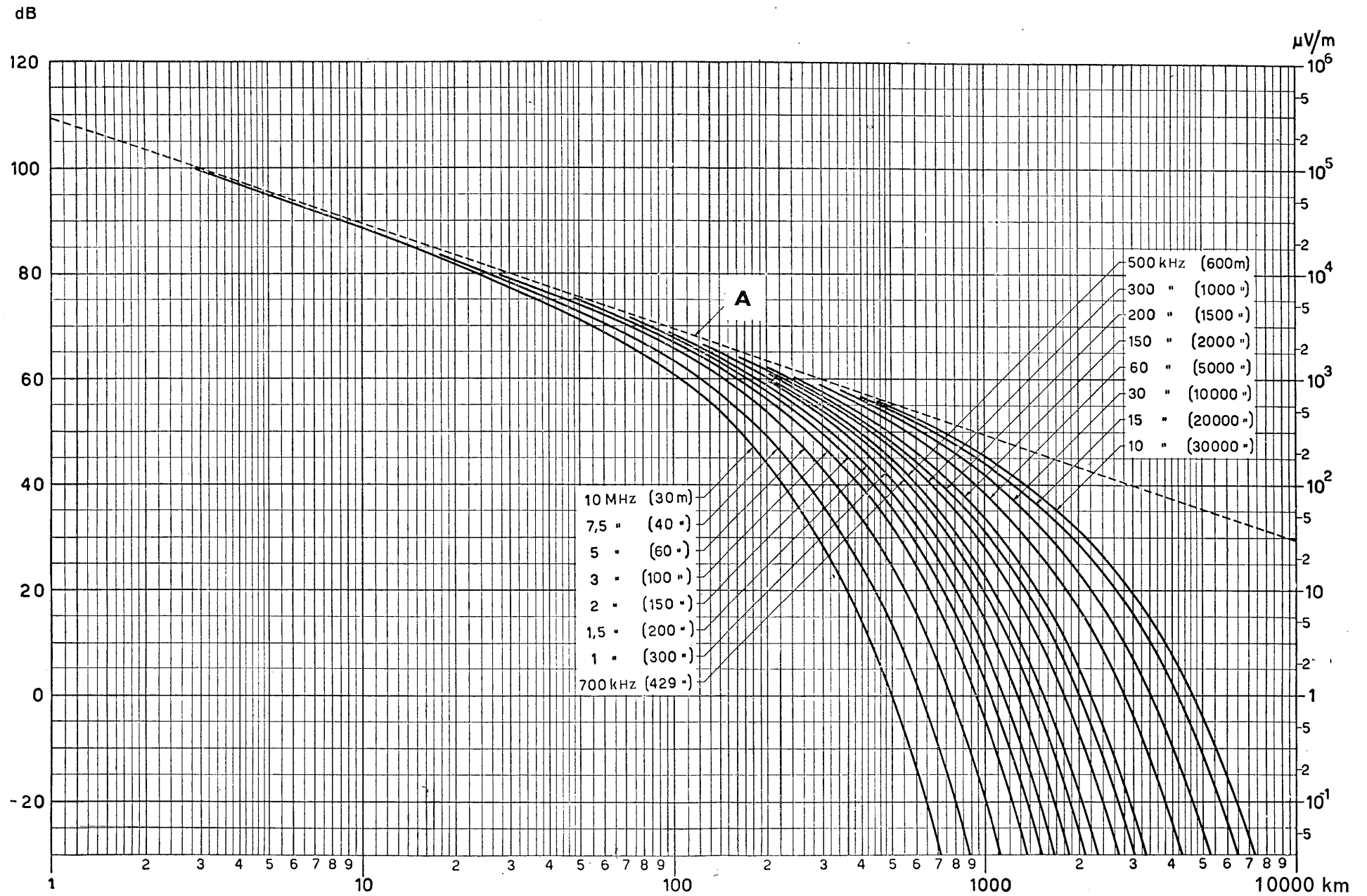


FIGURA 1

Curvas de propagación de la onda de superficie; Mar, $\sigma = 4 \text{ mho/m}$, $\epsilon = 80$.

A: inversa de la distancia

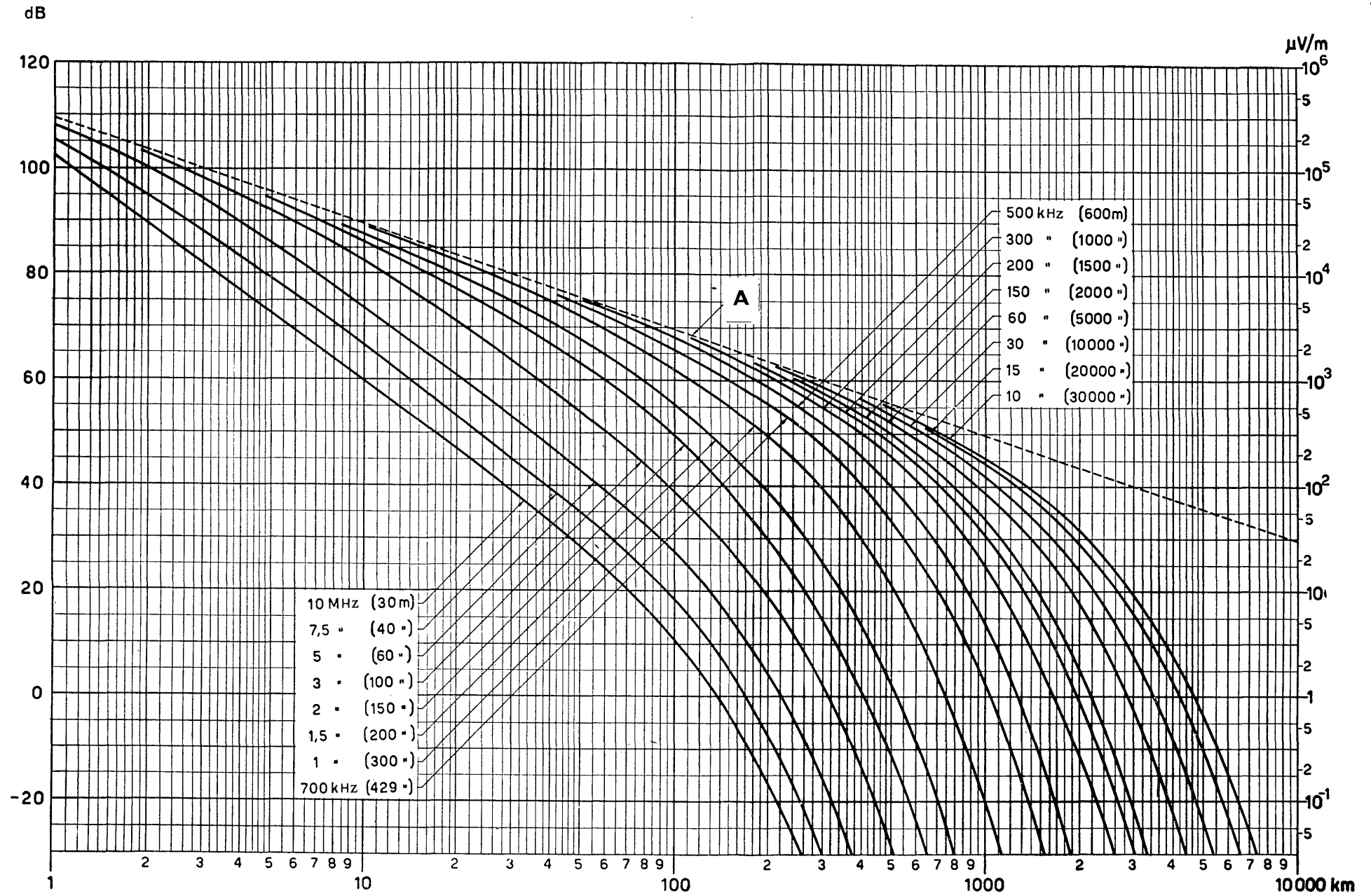


FIGURA 2

Curvas de propagación de la onda de superficie; Tierra, $\sigma = 3.10 \text{ mho/m}$, $\epsilon = 4$

A: inversa de la distancia

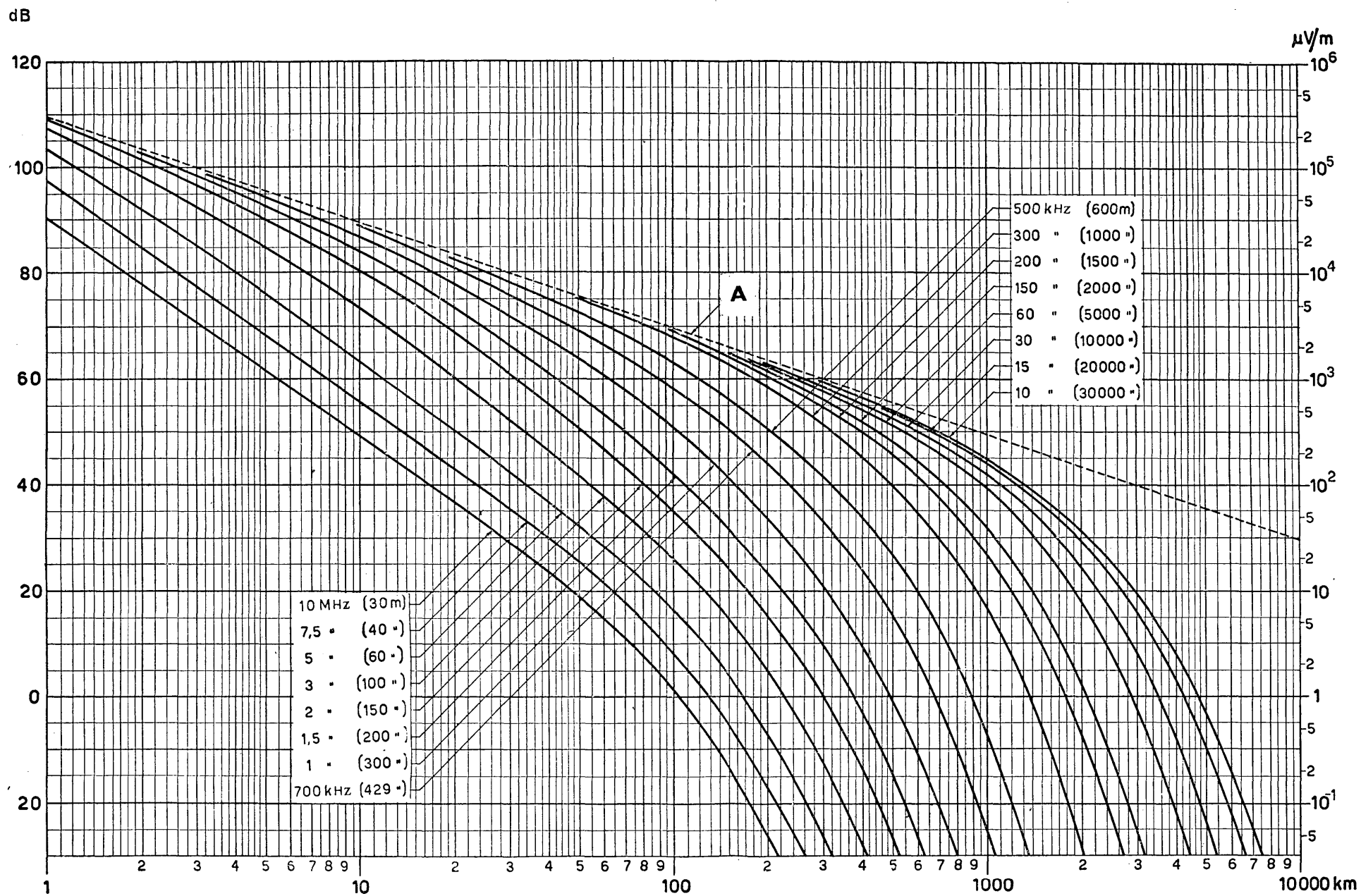


FIGURA 3

Curvas de propagación de la onda de superficie; Tierra, $\sigma = 10^{-2} \text{ mho/m}$, $\epsilon = 4$

A: inversa de la distancia

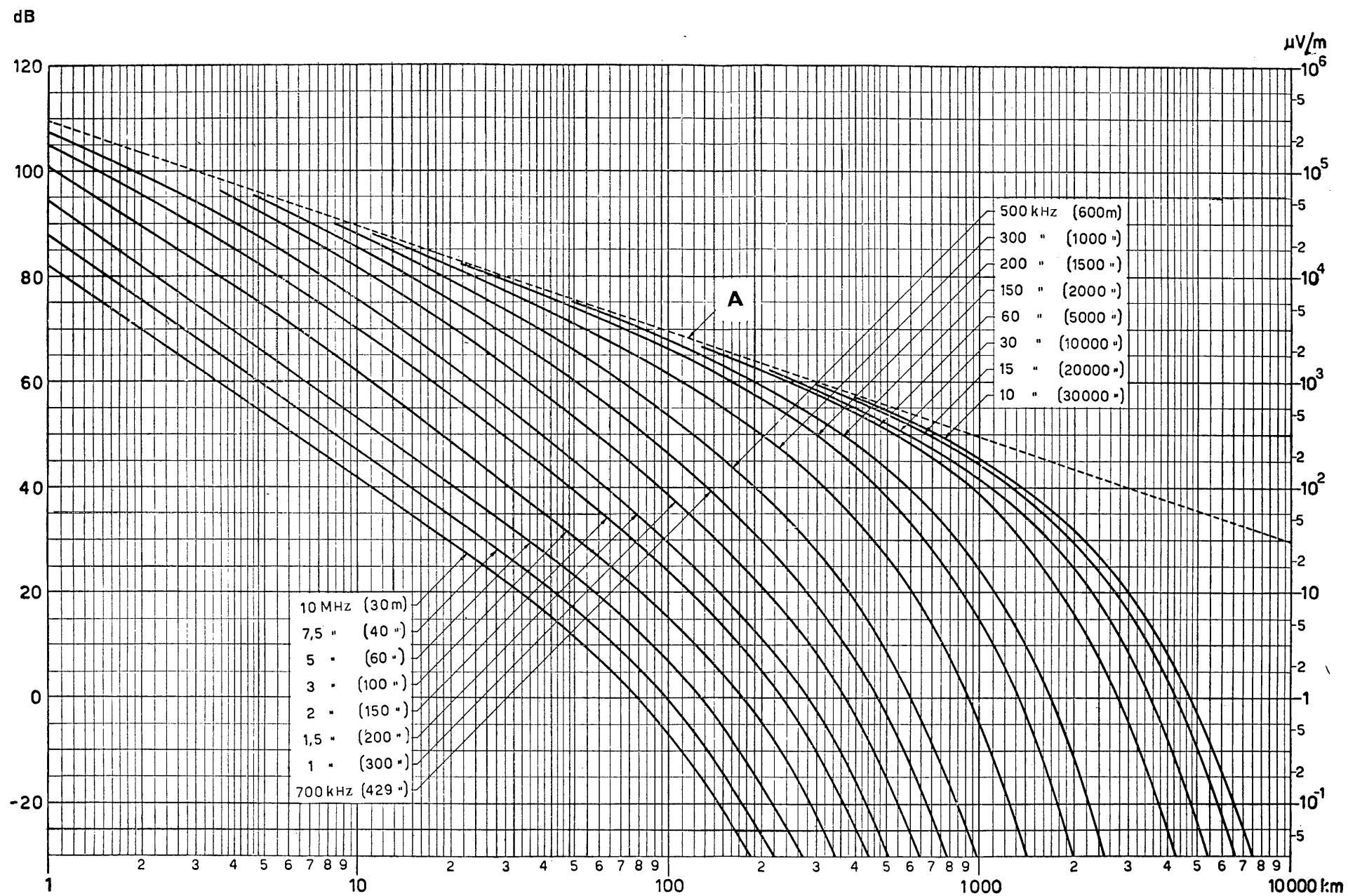


FIGURA 4

Curvas de propagación de la onda de superficie; Tierra, $\sigma = 3 \times 10^{-8} \text{ mho/m}$, $\epsilon = 4$

A: inversa de la distancia

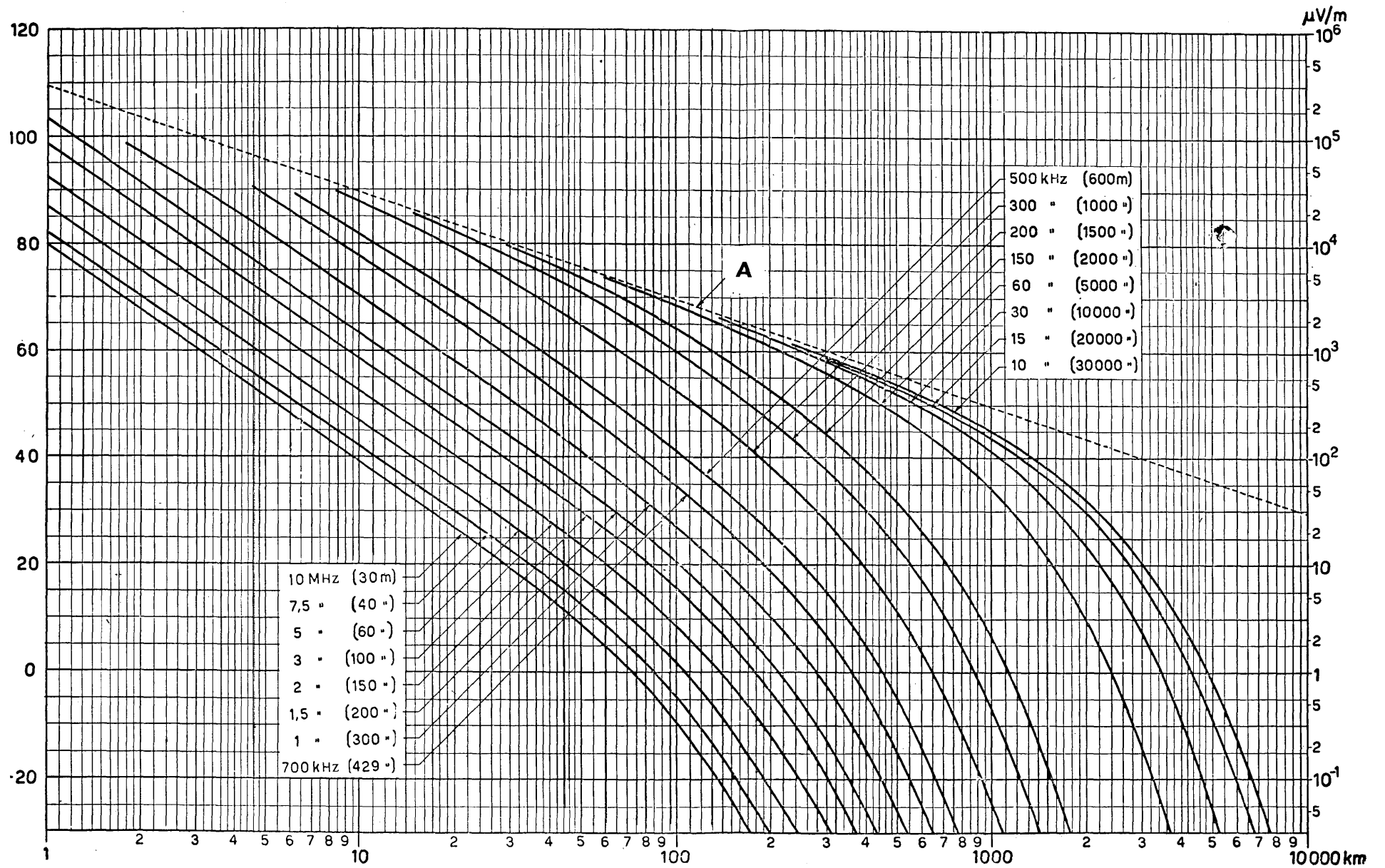


FIGURA 5

Curvas de propagación de la onda de superficie; Tierra, $\sigma = 10^{-8}$ mho/m, $\epsilon = 4$

A : inversa de la distancia

5 D: *Informes*

INFORME 235-1 *

**EFFECTOS DE LA REFRACCIÓN TROPOSFÉRICA
EN LAS FRECUENCIAS INFERIORES A 10 MHz**

(Cuestión 3/5)

(1956 - 1963 - 1970)

En las curvas de propagación de la onda de superficie representadas en la Recomendación 368-1 no se tiene en cuenta la refracción troposférica, según se explica en el anexo a dicha Recomendación; en cambio, en los *Atles* de las curvas de propagación de la onda de superficie para las frecuencias superiores a 30 MHz [1 y 2], el C. C. I. R. ha considerado los efectos de la disminución lineal del índice de refracción en función de la altura, utilizando un radio terrestre equivalente igual a los $4/3$ del radio verdadero. Incluso para esas frecuencias más elevadas, conviene recordar que el índice de refracción de la troposfera no decrece linealmente con la altura y que tiende finalmente a la unidad en el espacio libre. En lo que concierne al índice de variación de la atenuación en función de la distancia, se puede, pues, admitir un radio terrestre equivalente igual a los $4/3$ del radio verdadero, pero para mayores alturas, las curvas supervaloran la intensidad de campo; el segundo *Atlas* contiene instrucciones que permiten calcular el factor de corrección para una curva dada del índice de refracción, especialmente en el caso de una ley exponencial como la que se supone en la Recomendación 369-1 para la atmósfera de referencia.

En las frecuencias inferiores a 10 MHz, la influencia de la altura en la ganancia disminuye para valores medios de la altura y, en parte, por este motivo, las curvas de propagación de la onda de superficie sólo se aplican al caso en que los dos terminales están situados al nivel del suelo. Además, por debajo de 3 MHz aproximadamente, la gama de alturas que entran en consideración para determinar el índice de variación de la atenuación del campo en función de la distancia sobre la superficie de la Tierra, se extiende ahora hasta la región en que el índice de refracción de la troposfera empieza a separarse de modo apreciable del valor que corresponde a una disminución lineal con la altura apropiada para el empleo de un radio igual a los $4/3$ del radio terrestre. De ello se deduce que el índice de variación de la atenuación del campo en función de la distancia sobre la superficie de la Tierra no justifica el empleo de una atmósfera en la que el índice de refracción disminuye linealmente hasta alturas ilimitadas.

En el límite superior de 10 MHz, para las curvas de propagación de la onda de superficie que figuran en la Recomendación 368-1, se puede también, en la práctica, emplear un radio equivalente igual a los $4/3$ del radio verdadero para los dos puntos extremos situados al nivel del suelo; en cambio, la troposfera puede tener un efecto extremadamente pequeño en el límite inferior de 10 kHz, en el que la gama de alturas que entran en consideración para la determinación del índice de atenuación del campo en función de la distancia se extiende a varios kilómetros por encima de la Tierra.

Entre el empleo de un radio equivalente igual a los $4/3$ del radio terrestre para 10 MHz y el empleo del radio verdadero en 10 kHz hay, por tanto, una transición que se acentúa hacia 3 MHz y que prácticamente desaparece en 10 kHz. Desde hace tiempo se ha reconocido la presencia de esta transición, como lo prueba la existencia de la Cuestión 3/5.

No obstante, los progresos realizados en este estudio han sido lentos por dos motivos: primeramente, debido a la dificultad de analizar matemáticamente el problema en el caso en que la ecuación de los valores propios contiene una ley de variación del índice de refracción tal como la ley exponencial propuesta; en segundo lugar porque, al disminuir la frecuen-

* Adoptado por unanimidad.

cia, la influencia de la ionosfera predomina en la propagación a larga distancia, según se indica en el § 6 del anexo a la Recomendación 368-1.

Se ha aventurado la hipótesis de que es posible estudiar experimentalmente las modificaciones introducidas por la refracción troposférica en la propagación de la onda de superficie en las frecuencias inferiores a 10 MHz, pero los resultados obtenidos de este modo son por lo general poco concluyentes. Es difícil tener la seguridad de que, en un trayecto terrestre, los efectos observados se deben a la troposfera y no a irregularidades de las constantes del suelo, o que el valor de la conductividad es efectivamente superior al admitido al comparar las curvas con los resultados de medida.

Incluso en un trayecto marítimo, en el que está bien definida la conductividad, la ionosfera puede tener una influencia notable a mediodía, en distancias para las que puede admitirse que la troposfera provoca un aumento notable del nivel de las señales; es cierto, sin embargo, que a veces se ha observado una refracción troposférica importante en frecuencias que pueden descender hasta 1500 kHz y en distancias de 200 km, por lo menos (Doc. 176 (Francia), Varsovia, 1956).

Se ha llegado a la conclusión de que no es casi posible mejorar apreciablemente las curvas a partir de los resultados de estas experiencias. Por otra parte, se ha puesto de manifiesto que toda esta cuestión tiene un carácter algo teórico, puesto que se utilizan muy poco estas curvas de propagación de la onda de superficie cuando hay que tener en cuenta los efectos ionosféricos como se indica en el § 6 del anexo a la Recomendación 368-1.

No obstante, en vista de los progresos realizados en las gamas de ondas kilométricas desde el punto de vista del empleo de las técnicas de transmisión por impulsos y de las grandes potencias radiadas, con la consiguiente puesta en servicio de nuevas ayudas a la navegación, se ha considerado pertinente volver a examinar la cuestión. La posibilidad, prevista en el § 6 del anexo a la Recomendación 368-1, de aislar la onda de superficie, ha adquirido importancia considerable, siendo éste el motivo por el que el empleo de técnicas de transmisión por impulsos ocupe actualmente lugar importante en la Cuestión 3/5.

Parece ahora que mediante nuevas experiencias de transmisión de impulsos, por lo menos en el caso de trayectos marítimos de gran longitud, podrían elucidarse las propiedades de la refracción troposférica en las frecuencias inferiores a 10 MHz. Estas experiencias están actualmente en curso de realización, pero se carece aún de resultados detallados. Conviene advertir que, cuando se comparan los resultados con los valores indicados por las curvas, la característica importante no es el valor absoluto del campo a una distancia dada, que depende de cierto número de factores tales como la potencia radiada estimada, sino la ley de atenuación en función de la distancia.

A distancias suficientemente grandes, para las que el primer término de la serie residual contenida en la fórmula de la difracción es predominante, el campo disminuye en función de la distancia según una ley exponencial, pudiendo entonces expresarse la atenuación en dB/km. Es ese índice de variación de la atenuación el que da la solución de la ecuación de valores propios en el estudio matemático del problema y el que da la medida más simple de los efectos de la refracción troposférica en la propagación de la onda de superficie. El problema secundario del cálculo de los valores absolutos del campo puede atacarse una vez resuelta la ecuación fundamental de valores propios.

El análisis matemático se refiere fundamentalmente al estudio de la función altura-ganancia, a partir de la cual se deduce la ecuación de valores propios. En el § 5 del anexo a la Recomendación 368-1, se ha subrayado la importancia de los efectos de la altura en el valor de la ganancia, en el caso de aeronaves que vuelan a gran altura y utilizan ayudas a la navegación cuyo funcionamiento depende de la propagación de la onda de superficie y que hacen uso de técnicas de transmisión por impulsos.

Incluso si se admite que se ha llevado a feliz término el estudio matemático del problema, la corrección de las curvas, para tener en cuenta la función altura-ganancia, supondría una tarea ardua en extremo. Habría que publicar un Atlas mucho más voluminoso que los actuales [1 y 2], siendo este motivo suficiente para no tener de momento en cuenta la función altura-ganancia.

Sea como fuere, se han realizado progresos satisfactorios en el cálculo teórico de la función altura-ganancia, incluso para leyes de variación del índice de refracción tales como la

ley exponencial [3 a 6], y cuando se haya resuelto definitivamente la ecuación fundamental de valores propios en su forma generalizada será posible establecer curvas altura-ganancia para frecuencias inferiores a 10 MHz por métodos modernos de cálculo.

Algunos de los trabajos actualmente en curso para hallar la solución de la ecuación de valores propios, han dado ya resultados alentadores, confirmando, por ejemplo, que la troposfera sigue ejerciendo efectos notables en una frecuencia de 1500 kHz, como sugerían los escasos datos experimentales disponibles. No obstante, es aún prematuro hacer hipótesis sobre los resultados definitivos de dichos trabajos.

Si se consigue resolver este problema de manera satisfactoria, es de esperar que los resultados obtenidos se incluirán en toda revisión de las curvas de propagación para la onda de superficie dadas en el anexo a la Recomendación 368-1, como se prevé en el Informe 428.

BIBLIOGRAFÍA

1. C. C. I. R.: Atlas de las curvas de propagación de la onda de superficie para frecuencias comprendidas entre 30 y 300 Mc/s (U. I. T., Ginebra, 1955).
2. C. C. I. R.: Atlas de las curvas de propagación de la onda de superficie para frecuencias comprendidas entre 30 y 10000 Mc/s (U. I. T., Ginebra, 1959).
3. BREMMER, H.: On the theory of wave propagation through the concentrically stratified troposphere with a smooth profile. Part I: Discussion of the extended W. K. B. approximation. *NBS, Journal of Research*, **64D**, 467 (1960). Part II: Expansion of the rigorous solution. *Ibid.*, **66D**, 31 (1962).
4. NORTON, K. A.: System loss in radiowave propagation. *Ibid.*, **63D**, 53 (1959).
5. MILLINGTON, G.: Propagation at great heights in the atmosphere. *Marconi Review*, **21**, 143 (1958).
6. WAIT, J. R.: On the propagation of radiowaves in an inhomogeneous atmosphere. *NBS, Technical Note* 24 (1959).

INFORME 428 *

CÁLCULO DE LAS CURVAS DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE SUPERFICIE CON CALCULADORA ELECTRÓNICA

(Recomendación 368-1, Informe 235-1)

(1970)

El Informe 235-1 trata de las curvas de propagación de la onda de superficie, y más especialmente de la influencia de la troposfera en las frecuencias inferiores a 10 MHz. En él se señala, también, que existe una discontinuidad, desde este punto de vista, entre las curvas de los Atlas del C. C. I. R. para las frecuencias superiores a 30 MHz y la Recomendación 368-1 que no tienen en cuenta los efectos de la troposfera ni los de la ganancia en función de la altura. Además, los usuarios han comprobado que la gama de los valores de la constante dieléctrica y de la conductividad indicados en la Recomendación no es lo suficientemente amplia para abarcar la de los valores indicados en el cuadro I del Informe 229-1.

* Adoptado por unanimidad.

Dado que en la Sede de la U. I. T. se dispone de una calculadora, convendría que la Secretaría del C. C. I. R. estableciera un programa que pudiera utilizarse para cualquier combinación de los valores de ϵ y de σ , a fin de aumentar el número de curvas de la Recomendación 368-1. De este modo, podría tomarse en consideración una gama más extensa de los valores de ϵ y de σ , así como la banda de frecuencias comprendidas entre 10 y 30 MHz, que actualmente no se tiene en cuenta en la citada Recomendación ni en los Atlas del C. C. I. R.

Para el establecimiento del programa y el trazado de las nuevas curvas, habrá que tener en cuenta, en lo posible, los efectos de la troposfera, conforme al Informe 235-1, pues, en una amplia gama de frecuencias inferiores a 10 MHz, hacer caso omiso de estos efectos puede tener consecuencias más graves que los errores debidos a las incertidumbres que existen sobre el conocimiento de ϵ y de σ a lo largo de un trayecto de propagación dado.

Como los efectos de la ganancia en función de la altura pueden ser importantes en frecuencias netamente inferiores a 10 MHz, podría aprovecharse la ocasión para trazar oportunamente las curvas de esta ganancia, pero indicando cuidadosamente los límites de su empleo, ya que no existe el propósito de adoptar la presentación de los datos de la ganancia en función de la altura empleados para las frecuencias superiores a 30 MHz, lo que implicaría la preparación de un atlas voluminoso en comparación con los actuales Atlas del C. C. I. R.

Cuando se describan las curvas revisadas, convendrá destacar la importancia relativa de la constante dieléctrica y de la conductividad en una frecuencia dada, hecho que deberá tenerse en cuenta al elegir los valores para los que se dan las curvas. A estos efectos, será preciso remitirse a las informaciones pertinentes del Informe 229-1.

Aunque no se ha hecho referencia, en lo que precede, a los efectos de la ionosfera, el programa de trabajo aquí previsto sería de particular interés en las bandas de ondas hectométricas y kilométricas en las que, mediante métodos apropiados, es posible aislar la onda de superficie. Además, este programa de trabajo respondería, en parte, a las necesidades urgentes de servicio de radiodifusión en ondas hectométricas y kilométricas.

PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

CUESTIONES Y PROGRAMAS DE ESTUDIOS, RESOLUCIONES Y RUEGOS

(COMISIÓN DE ESTUDIO 5)

CUESTIÓN 1-1/5 *

PROPAGACIÓN POR TERRENO HETEROGÉNEO Y ACCIDENTADO

El C. C. I. R.,

(1965 - 1966 - 1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que el problema de las variaciones de amplitud y de fase en la propagación de la onda de superficie debidas a la falta de uniformidad de las constantes eléctricas en las direcciones horizontal y vertical, es de gran importancia en lo que respecta:
 - a la determinación de las zonas de servicio de los transmisores radioeléctricos;
 - a la precisión de las ayudas a la navegación y de los equipos de radiogoniometría;
 - al efecto de la refracción costera en la utilización de esas ayudas y equipos;
- b) Que el análisis matemático riguroso se ha referido principalmente, hasta la fecha, a modelos teóricos, a saber:
 - una o varias regiones de constantes distintas cuyas separaciones son normales al trayecto de la onda y, eventualmente, con discontinuidades de altura;
 - estratificación horizontal;
 - Tierra esférica, y
- c) Que los accidentes del terreno revisten particular importancia cuando presentan obstáculos de grandes dimensiones con relación a la longitud de onda,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Cómo pueden perfeccionarse los métodos de medida de los valores de la constante dieléctrica ϵ y de la conductividad σ equivalente para un trayecto, para porciones de un trayecto o para zonas locales, en diversas frecuencias?
2. ¿Cómo se obtendrían nuevos resultados experimentales sobre la amplitud y la fase de la onda de superficie a lo largo del trayecto, en combinación sobre todo con mediciones simultáneas de ϵ y σ ?
3. ¿Cómo se puede desarrollar el estudio matemático para tener en cuenta las variaciones arbitrarias de ϵ y de σ especialmente en los casos de propagación en dirección oblicua a la separación entre dos regiones, y de estratificación no horizontal, y consideración simultánea de las irregularidades de superficie y de las constantes de un terreno heterogéneo?
4. ¿Cómo se pueden reducir los métodos analíticos a una forma que convenga a los cálculos técnicos, o bien comparación de los resultados teóricos con los de los métodos semiempíricos para definir con mayor precisión las limitaciones de estos últimos?
5. ¿Cómo se haría un examen más detenido de las ventajas del método de deducción de los parámetros equivalentes del terreno a partir de la dispersión de los atmosféricos?

* Reemplaza a la Cuestión 1/V.

6. ¿Cuál es el efecto en las ondas propagadas por encima de la superficie terrestre de las variaciones de ciertos factores, como la temperatura y la vegetación, el clima u otras causas?
7. ¿Cuál es la influencia de los accidentes del terreno, y en particular, la de los obstáculos de grandes dimensiones con relación a la longitud de onda?
8. ¿Cuál es la influencia de los accidentes del terreno en las características de propagación como por ejemplo, los desvanecimientos en la propagación troposférica?

PROGRAMA DE ESTUDIOS 1-1A/5 *

EFFECTOS DE LOS ACCIDENTES DEL TERRENO EN LA PROPAGACIÓN TROPOSFÉRICA

El C. C. I. R.,

(1951 - 1953 - 1956 - 1959 - 1963 - 1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que es muy conveniente proseguir los estudios sobre la propagación de las ondas sobre un terreno accidentado;
- b) Que es de suma importancia, en la práctica, la propagación sobre las cumbres de las altas montañas, y
- c) Que la presencia de obstáculos puede modificar en gran medida el valor medio de la atenuación de transmisión y la amplitud y duración de los desvanecimientos,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Medición de la pérdida de transmisión en trayectos que pasen sobre una sola cumbre de montaña y comparación con los valores calculados en el caso de la difracción en arista aguda;
2. Influencia de la presencia de varios obstáculos en un mismo trayecto;
3. Influencia del radio de curvatura y de la naturaleza del terreno en la cumbre de una montaña;
4. Atenuación producida por la irregularidad general del terreno, denominada factor de terreno, tanto en la zona de servicio alrededor de un transmisor como en las ondas procedentes de un transmisor situado a gran distancia;
5. Variación local de la intensidad de campo en un área dada de recepción para el caso de un transmisor cercano y otro distante, y su correlación en función de las irregularidades del terreno y de la dirección de llegada de las ondas;

* Reemplaza al Programa de estudios 6A/V.

6. Propagación a lo largo de los valles;
7. Propagación a través de los valles;
8. Propagación en zonas urbanas;
9. Problemas relativos a la influencia del terreno en la polarización de las ondas;
10. Variación de la fase en función de la distancia, sobre un terreno irregular;
11. Influencia de una región montañosa muy extensa situada por debajo del volumen común de los haces de las antenas transmisora y receptora, en la propagación por dispersión troposférica;
12. Condiciones necesarias para que haya ganancia de obstáculo, especialmente cuando el nivel de la señal recibida a lo largo de un trayecto montañoso es más elevado que el que se recibirá si el terreno fuese regular;
13. Influencia de un terreno accidentado en las variaciones cortas y largas de la pérdida de transmisión especialmente en condiciones de ganancia de obstáculo.

CUESTIÓN 2-1/5 *

**INFLUENCIA DE LAS REGIONES NO IONIZADAS DE LA ATMÓSFERA
EN LA PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS**

Radiometeorología para telecomunicaciones

El C. C. I. R.,

(1966 - 1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que la propagación de las ondas radioeléctricas es función de las condiciones termodinámicas reinantes en la atmósfera, y que se han hecho numerosos estudios al respecto;
- b) Que los estudios de propagación necesarios para establecer un enlace radioeléctrico de cualquier longitud exigen un conocimiento estadístico del medio de propagación, o sea, de la atmósfera;
- c) Que todavía no se conoce suficientemente bien la estructura fina del campo electromagnético en el espacio y en el tiempo, y que la falta de mediciones adecuadas no permite explicar con detalle las características de propagación de las ondas radioeléctricas basándose en las teorías actuales,

* Reemplaza a la Cuestión 2/V.

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

1. ¿Cuáles son los métodos e instrumentos más apropiados para estudiar las variaciones de los parámetros termodinámicos de la atmósfera que influyen en la propagación de las ondas? (véase el anexo);
2. ¿Cuáles son las variaciones, en el espacio y en el tiempo, del índice de refracción del aire y de su gradiente, especialmente en el sentido vertical?
3. ¿Cuál es la influencia que ejercen en la propagación de las ondas los diversos elementos de la atmósfera tales como vapor de agua, oxígeno, nubes, lluvia, nieve, niebla, arena, etc., y, en particular:
 - cuáles son las distribuciones estadísticas y geográficas de estos elementos;
 - cuáles son las características de correlación espacial y temporal de cada uno de ellos?
4. ¿Cuáles son los parámetros radiometeorológicos distintos de los enumerados precedentemente que pueden ser útiles en la propagación de las ondas radioeléctricas?, y
5. ¿Cuál es la correlación entre los distintos parámetros radiometeorológicos aplicables a diversas condiciones climatológicas y las características de la pérdida de transmisión, expresada por su valor mediano, su gama y rapidez de variación, y la distorsión sufrida por las señales?

Nota 1.—Debe invitarse a las administraciones y empresas privadas de explotación reconocidas a que proporcionen datos complementarios sobre el índice de refracción y el gradiente vertical, con objeto de completar los trabajos relativos a la radioclimatología mundial descritos en el Informe 233-2 (véase el anexo), y a que verifiquen mediante numerosas mediciones finas y precisas las distintas teorías adelantadas para explicar la propagación.

Nota 2.—El Director del C. C. I. R. comunicará a la O. M. M. la presente Cuestión, que tiene en cuenta las Recomendaciones 4 y 5 de la Comisión de Aerología de la O. M. M., señalando especialmente a su atención el § 1 del anexo.

ANEXO

1. Se utilizará el coíndice N definido por la fórmula que figura en la Recomendación 453.
2. Para los estudios de radioclimatología, las mediciones termodinámicas destinadas a facilitar el cálculo del índice de refracción del aire y de su gradiente vertical deberían en lo posible, tener una precisión igual, por lo menos, a la siguiente:

Temperatura: $\pm 0,2^\circ \text{C}$,

Humedad (medida en relación de mezcla): $\pm 0,1 \text{ g/kg}$.

Conviene utilizar de preferencia un equipo de medida continua. Los gradientes verticales habrán de calcularse para intervalos de 100 m entre el suelo y una altura de 2000 m.

3. Para los estudios de estructura fina, estas mediciones deberán hacerse con la mayor precisión y resolución posibles en el tiempo y en el espacio. También sería útil conocer las formas de las corrientes de aire, y en particular, de la cizalladura del viento.

CUESTIÓN 3/5 *

**EFFECTOS DE LA REFRACCIÓN TROPOSFÉRICA EN LAS FRECUENCIAS
INFERIORES A 10 MHz**

El C. C. I. R.,

(1951 - 1953 - 1956 - 1963 - 1966 - 1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que las curvas de propagación de la onda de superficie para las frecuencias inferiores a 10 MHz, anexas a la Recomendación 368-1, no tienen en cuenta la refracción troposférica;
- b) Que el efecto de la troposfera se ha tenido en cuenta en los Atlas del C. C. I. R. relativos a la propagación de la onda de superficie en frecuencias superiores a 30 MHz, en la hipótesis de que el radio equivalente de la Tierra es igual a $4/3$ del radio verdadero;
- c) Que el efecto de la refracción troposférica disminuye con la frecuencia;
- d) Que en el Informe 235-1 se dan datos experimentales y se exponen estudios matemáticos relacionados con esta cuestión;
- e) Que quizás sea importante tener en cuenta estos efectos en frecuencias que pueden descender hasta 10 kHz y para enlaces a muy larga distancia, dada la importancia que adquieren los servicios de ayudas a la navegación que utilizan técnicas de transmisión por impulsos cuyo grado de precisión depende del modo de propagación de la onda de superficie, y
- f) Que en el Informe 231-2 se indican los modelos matemáticos adecuados para describir el índice de refracción troposférica en función de la altura,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner en estudio la siguiente Cuestión:

- 1. ¿Qué mediciones de las intensidades de campo de la onda de superficie (incluidas las que utilizan las técnicas de transmisión por impulsos) son necesarias en un trayecto suficientemente largo, de conductividad uniforme (un trayecto marítimo por ejemplo) para determinar experimentalmente las modificaciones que han de introducirse en las curvas de la onda de superficie para tener en cuenta los efectos de la refracción troposférica en las frecuencias inferiores a 10 MHz?
- 2. ¿Cómo ha de interpretarse el análisis matemático relativo a la propagación de la onda de superficie a fin de tener en cuenta los efectos de la refracción troposférica en las frecuencias inferiores a 10 MHz?, y
- 3. ¿Cuál es la influencia de la refracción troposférica en la fase de la onda de superficie?

* Reemplaza al Programa de estudios 3/V y es idéntico a este texto.

CUESTIÓN 5-1/5 *

**DATOS DE PROPAGACIÓN REQUERIDOS PARA LOS SISTEMAS
DE TELECOMUNICACIÓN TERRENALES Y ESPACIALES**

El C. C. I. R.,

(1953 - 1956 - 1959 - 1966 - 1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que la calidad de una transmisión por relevadores radioeléctricos terrenales o por un sistema de telecomunicaciones espaciales depende de las características de propagación, en particular para los valores más elevados de la pérdida de transmisión de referencia que pueden encontrarse, y
- b) Que entre diferentes sistemas pueden producirse interferencias hasta distancias muy grandes, en particular cuando los valores de la pérdida de transmisión de referencia son bajos,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión:

¿Cuáles son las características de propagación a considerar para establecer sistemas de relevadores radioeléctricos terrenales y sistemas de telecomunicación espaciales, conformes a las Recomendaciones del C. C. I. R., en lo que respecta a su calidad de funcionamiento y a las interferencias mutuas?

PROGRAMA DE ESTUDIOS 5-1A-1/5 **

**DATOS DE PROPAGACIÓN REQUERIDOS PARA LOS SISTEMAS
DE RELEVADORES RADIOELÉCTRICOS CON VISIBILIDAD DIRECTA**

El C. C. I. R.,

(1963 - 1966 - 1970)

CONSIDERANDO:

Que un mejor conocimiento de las características de propagación es de gran importancia para el diseño de sistemas económicos de relevadores radioeléctricos con visibilidad directa y contribuye enormemente a mejorar la calidad de funcionamiento de los sistemas,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Distribución en el tiempo, para cada mes del año, de los valores de la pérdida de transmisión de referencia (debida a la propagación por trayectos múltiples, a la difracción, a la absorción, etc.), en las bandas de ondas métricas, decimétricas, centimétricas y milimétricas;

* Reemplaza a la Cuestión 5/V.

** Reemplaza al Programa de estudios 5A/V.

2. Restricciones que imponen a la calidad de funcionamiento de los sistemas los efectos de la propagación por trayectos múltiples;
3. Propiedades estadísticas de los factores de propagación que son origen de interferencias mutuas entre dos sistemas;
4. Influencia acumulada de estos factores en la calidad global de funcionamiento de los sistemas de relevadores radioeléctricos de varios tramos;
5. Medida en que los factores anteriormente indicados dependen de las condiciones de propagación, por ejemplo, longitud del trayecto, clima, naturaleza del terreno sobre el que pasa el trayecto;
6. Datos de propagación necesarios para elegir la ubicación de las estaciones, la zona libre de obstáculos de las antenas y las características de radiación de éstas;
7. Características de propagación (por ejemplo, correlación entre las señales) que pueden utilizarse para mejorar la calidad de funcionamiento de los sistemas.

Nota.—La Comisión de estudio 9 pide, particularmente:

- el valor de la pérdida de transmisión de referencia no excedido durante el 99,998 %, 99,99 %, 99,9 %, 99 %, 80 %, 50 %, 20 %, 1 %, 0,1 %, 0,01 % y 0,002 % de cada mes del año;
- que la estimación se haga de tal forma que permita deducir la distribución de los valores de la potencia de ruido (que depende de la pérdida de transmisión y de la propagación por trayectos múltiples) a la salida del sistema, promediados durante 5 milisegundos, un segundo, un minuto y una hora.

Se reconoce que, en la práctica, las estimaciones de la pérdida de transmisión no excedida durante porcentajes de tiempo inferiores al 1 % y superiores al 99 % son mucho menos confiables que las correspondientes a porcentajes de tiempo comprendidos entre el 1 % y el 99 %; no obstante, conviene efectuar estimaciones de la pérdida de transmisión correspondiente a porcentajes de tiempo muy reducidos y muy elevados, por ejemplo, 99,9998 %.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 5-1B-1/5 *

DATOS DE PROPAGACIÓN REQUERIDOS PARA LOS SISTEMAS DE RELEVADORES RADIOELÉCTRICOS TRANSHORIZONTE

El C. C. I. R.,

(1963 - 1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que en los proyectos de redes de comunicación es preciso definir la calidad de funcionamiento total del sistema durante diversos porcentajes dados de tiempo;
- b) Que para asegurar el funcionamiento continuo y satisfactorio de los sistemas de relevadores radioeléctricos destinados a trabajar en ondas métricas, decimétricas y centimétricas, el ingeniero debe conocer las características de la propagación troposférica y calcular para

* Reemplaza al Programa de estudios 5B/V.

cada banda de frecuencias la atenuación que no es excedida durante un gran porcentaje de tiempo en el límite de la zona de servicio, la cual puede extenderse desde unos 200 km hasta más de 500 km;

- c) Que para establecer un proyecto de sistema hay que conocer las curvas de distribución, en función del tiempo, de la atenuación correspondiente al mes más desfavorable de la zona climática considerada;
- d) Que para los estudios de interferencia es necesario conocer el valor cuasi mínimo de la pérdida de transmisión, y
- e) Que la anchura de banda del sistema puede verse limitada por la naturaleza del modo de propagación utilizado,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Distribución en el tiempo de la pérdida de transmisión de referencia (véase la Recomendación 341) en ondas métricas, decimétricas y centimétricas, correspondiente a cada mes del año (se especificará el valor de la ganancia de antena para el trayecto). El registro habrá de hacerse con un aparato de un minuto de constante de tiempo (si se estima conveniente, podrán elegirse otras constantes de tiempo, especificando en cada caso el valor de las mismas) y se observarán especialmente los valores cuasi máximos y cuasi mínimos de la pérdida de transmisión o de la intensidad de campo;
2. Niveles para un porcentaje dado de tiempo correspondiente al mes más desfavorable, al más favorable y a todo un año;
3. Horas del día en que puede preverse por lo general la atenuación más elevada;
4. Distribución en el tiempo de las fluctuaciones de nivel de la señal recibida alrededor del valor mediano horario (podrán utilizarse otros periodos para definir el valor mediano, y en ese caso convendría especificarlos) cuando se efectúa el registro con una constante de tiempo lo más pequeña posible;
5. Medida en que las distribuciones dependen de las condiciones climáticas de la zona que atraviesa el trayecto considerado y zonas climáticas especiales que conviene tener en cuenta. (Debido a la escasez de datos sobre propagación en climas distintos del templado, se recomienda encarecidamente a las administraciones que recopilen datos sobre los demás tipos de clima);
6. Proporción en que las distribuciones halladas dependen de la frecuencia, de la distancia entre las estaciones, del ángulo de elevación de las antenas situadas en cada extremo y de la naturaleza del terreno por encima del cual pasa el trayecto;
7. Medida en que pueden describirse estas distribuciones mediante leyes estadísticas simples;
8. Restricciones que impone a la anchura de banda del sistema el modo de propagación (difracción, reflexión parcial, dispersión, etc.);
9. Restricciones del sistema que imponen el ruido solar y el producido por otras fuentes externas.

Nota.—Los resultados de estos estudios se presentarán en la misma forma que en la Circular administrativa AC/63.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 5-1C-1/5 *

**ATENUACIÓN Y REFRACCIÓN TROPOSFÉRICAS EN LOS SISTEMAS
DE RADIOCOMUNICACIONES ESPACIALES**

El C. C. I. R.,

(1963 - 1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que ciertos elementos de la troposfera, como el vapor de agua, el oxígeno, la lluvia, la nieve, etcétera, producen una atenuación de las ondas radioeléctricas, sobre todo en las frecuencias superiores a unos 3 GHz y dan origen también a ruidos emitidos en esas frecuencias;
- b) Que la estructura del índice de refracción de la troposfera influye en la dirección de la propagación y en la coherencia del frente de onda;
- c) Que el interés de utilizar frecuencias superiores a 10 GHz puede depender del empleo de varias instalaciones terminales en el suelo, espaciadas de tal forma que no puedan plantearse problemas derivados de la atenuación debida a las precipitaciones y a las nubes, y
- d) Que todos estos factores son de importancia en el estudio técnico de los sistemas de radiocomunicaciones espaciales,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Medición y establecimiento de métodos de predicción de las distribuciones de la atenuación y de la duración de los desvanecimientos de las ondas radioeléctricas que atraviesan la troposfera, en función de la frecuencia, del ángulo de elevación, de la posición geográfica, del tiempo y de los elementos de la troposfera, especialmente el oxígeno, el vapor de agua y las gotas de agua, la distribución de sus dimensiones y el índice de precipitaciones, etc.;
2. Medición y establecimiento de métodos de predicción de la refracción, del centelleo y de la coherencia del frente de onda de las ondas radioeléctricas que atraviesan la troposfera, en función de la frecuencia, del ángulo de elevación, de la situación geográfica y del tiempo;
3. Medida en que pueden utilizarse la diversidad en el espacio u otras técnicas para resolver los problemas derivados de la atenuación debida a las precipitaciones y a las nubes; y
4. Medición y establecimiento de métodos de predicción del ruido radiado por los gases atmosféricos, las nubes y las precipitaciones.

Nota 1.—Para atender las necesidades de la Comisión de estudio 4, conviene dar prioridad a las mediciones de la atenuación de las ondas a lo largo de trayectos de grandes ángulos de elevación (superiores a 5°), utilizando como fuente radiobalizas de aeronave o de satélite, e incluso el Sol. Para poder extrapolar las mediciones a otras regiones en las que se dispone de radares meteorológicos, conviene establecer una correlación entre estas mediciones y los datos recogidos en el mismo instante por radares meteorológicos que funcionen en frecuencias en las que la atenuación es despreciable.

Nota 2.—Dada la urgente necesidad de obtener datos sobre la atenuación y los ruidos en los sistemas de radiocomunicación espacial para la próxima Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones prevista para 1971, se ruega a las administraciones que presenten lo antes posible a los Relatores principales y a los Relatores principales adjuntos de las Comisiones de estudio 4 y 5, así como al Director del C. C. I. R., todos los datos al respecto.

* Se señalan a la atención de los Grupos interinos de trabajo creados en virtud de las Resoluciones 2-1 y 3-1 los aspectos de este Programa de estudios que se relacionan con sus mandatos. Reemplaza al Programa de estudios 5C/V.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 5-1D-1/5 *

FACTORES DE PROPAGACIÓN QUE INFLUYEN EN LA COMPARTICIÓN DE BANDAS DE FRECUENCIAS ENTRE SISTEMAS ESPACIALES Y SISTEMAS DE RELEVADORES RADIOELÉCTRICOS

El C. C. I. R.,

(1963 - 1966 - 1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que, según la Recomendación núm. 1A de la Conferencia Administrativa Extraordinaria de Radiocomunicaciones, Ginebra, 1963, es conveniente calcular una distancia de coordinación para las estaciones terrenas de las bandas de frecuencias compartidas entre el servicio espacial y los servicios fijo y móvil;
- b) Que al calcular las distancias de coordinación, conviene tener en cuenta todos los mecanismos de propagación que pueden intervenir;
- c) Que al calcular las interferencias entre los sistemas hay que tener en cuenta de manera más detallada los mecanismos de propagación que intervienen, y
- d) Que las frecuencias de mayor interés son generalmente superiores a 1 GHz,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Determinación de un método adecuado para tener en cuenta los mecanismos de propagación troposférica conocidos, incluida la dispersión provocada por las precipitaciones, las aeronaves y por otros fenómenos que se producen dentro y fuera del trayecto ortodrómico, al estudiar la intensidad de campo recibida en el extremo de trayectos transhorizonte (teniendo también en cuenta los efectos de pantalla del terreno) de 25 a 500 km de longitud, especialmente cuando se trata de la intensidad de campo excedidas durante pequeños porcentajes de tiempo, por ejemplo, 0,005 %, 0,01 %, 0,1 %, 1 % y 20 % de un mes o de un año. Se determinará, en particular, la medida en que la utilización de la distancia angular obliga automáticamente a tener en cuenta la importante pérdida de transmisión que suele registrarse cuando el ángulo de elevación del horizonte radioeléctrico, en los dos extremos del trayecto, es considerable;
2. Determinación de la distribución de la amplitud de las señales, de la duración de los desvanecimientos por efecto de mecanismos de propagación troposférica como la formación de conductos troposféricos y la dispersión provocada por las precipitaciones y por las aeronaves, habida cuenta de las indicaciones siguientes:
 - las distribuciones de amplitud más interesantes son las distribuciones cumulativas de los valores medianos horarios ** excedidos el 0,005 %, 0,01 %, 0,1 %, 1 % y 20 % del tiempo, durante periodos de un año por lo menos, e igualmente durante los meses más desfavorables (señal deseada débil o señal interferente fuerte);
 - las longitudes de trayecto más interesantes son las comprendidas entre 25 y 1000 km, pero sobre el mar y en las regiones tropicales y ecuatoriales, y en otras regiones donde prevalece la propagación guiada, puede ser útil hacer mediciones a distancias aún mayores.

* Reemplaza al Programa de estudios 5D/V

** Conviene utilizar periodos de muestreo de duración inferior a una hora para facilitar la determinación de la intensidad de campo creada durante cortos periodos por ejemplo, 0,005 % del tiempo. Se sugiere que se considere un periodo de 1 minuto.

3. Posibilidad de dividir el mundo en grandes zonas, para tomar en consideración los efectos de las diferentes condiciones climáticas, a fin de tener en cuenta la importancia relativa de los diversos mecanismos troposféricos;
4. Determinación experimental de los valores de pérdida de transmisión que cabe esperar en trayectos mixtos, por ejemplo, que pasan en parte sobre tierra y en parte sobre el mar;
5. Efectos del empleo de antenas de ganancia elevada si se tienen en cuenta casos extremos como los siguientes, que se presentan cuando se trata de servicios de telecomunicación por satélite y de sistemas de relevadores radioeléctricos en 4 y 6 GHz;
- 5.1 El valor de la ganancia de la antena situada en uno de los extremos del trayecto puede considerarse muy próximo a la unidad, es decir, del orden de 40 dB y su haz está orientado casi horizontalmente en la dirección de la otra antena;
- 5.2 La antena del otro extremo del trayecto puede tener una ganancia del orden de 60 dB, estando orientado su haz bien por encima del horizonte o hacia la otra antena, con un ángulo de elevación de unos 30° sobre la horizontal. Los diagramas de radiación de las grandes antenas previstas para las estaciones terrenas de telecomunicación por satélite, que deben utilizarse en los estudios de interferencias, se reproducen en el Informe 391-1.

Nota.—La I. F. R. B. y las administraciones necesitan con urgencia los resultados que han de suministrarse en virtud de este Programa de estudios y en especial del § 5 del mismo.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 5-1E-1/5 *

INFLUENCIA DE LA DISPERSIÓN CAUSADA POR LAS PRECIPITACIONES EN LA ELECCIÓN DE LAS UBICACIONES DE LAS ESTACIONES TERRENAS

El C. C. I. R.,

(1966 - 1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que la lluvia, el granizo y la nieve, así como determinadas heterogeneidades de la estructura del índice de refracción atmosférica, pueden dispersar las ondas radioeléctricas con mayor fuerza y mayores ángulos que cuando las condiciones atmosféricas son normales, y
- b) Que debe emprenderse el estudio de estos fenómenos a fin de que puedan tenerse en cuenta sus efectos en la elección de la ubicación de las antenas;

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Determinación del sector angular en el cual la dispersión provocada por las precipitaciones y ciertas heterogeneidades atmosféricas puede considerarse uniforme y, en general, de la relación entre este sector angular y el ángulo de dispersión, la polarización y la frecuencia, para las frecuencias superiores a 1 GHz;

* Reemplaza al Programa de estudios 5E/V.

2. Determinación, por unidad de volumen, de la distribución media en el tiempo y en el espacio de los valores registrados de la sección eficaz de dispersión, en función:
 - de la altura sobre el suelo,
 - de la hora del día,
 - de la estación del año,
 - de la zona climática;
3. Eventualmente, determinación de una relación simple entre la sección de dispersión y las precipitaciones (milímetros de agua por hora) en casos de lluvias y de otros tipos de precipitaciones que causen una dispersión notable;
4. Métodos de cálculo de la interferencia que cabe esperar, incluido el caso de relevadores radioeléctricos y de estaciones terrenas cuyos haces no se corten.

Nota.—Para atender las necesidades de las Comisiones de estudio 4 y 9, conviene dar prioridad a las mediciones que permitan definir el nivel de las intensidades de campo interferentes en 4 GHz y en 6 GHz, con antenas y trayectos semejantes a los que se encuentran en la práctica.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 5-1F-1/5 *

FACTOR DE PANTALLA DEL TERRENO PARA EL CÁLCULO DE LA DISTANCIA DE COORDINACIÓN

El C. C. I. R.,

(1965 - 1966 - 1970)

CONSIDERANDO:

Que en ciertos casos puede ser necesario que en el cálculo de la distancia de coordinación intervenga un factor de pantalla del terreno o un factor de ganancia de obstáculo que tenga en cuenta los efectos del relieve en las inmediaciones de la estación terrena;

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios:

1. Determinación de las circunstancias en que puede tenerse en cuenta un factor de pantalla del terreno o un factor de ganancia de obstáculo al calcular la distancia de coordinación;
2. Determinación de valores del factor de pantalla del terreno adecuados para el cálculo de la distancia de coordinación; y
3. Influencia de la forma de un obstáculo, y del número de obstáculos;
4. Influencia de la longitud del trayecto, especialmente en el caso de una distancia de varios centenares de kilómetros, en el valor del factor de pantalla o de la ganancia de obstáculo para un obstáculo dado situado en las proximidades de una estación terrena;

* Reemplaza al Programa de estudios 5F/V. Ha sido redactado teniendo en cuenta la Cuestión 14-1/4 y se señala a la atención de las administraciones juntamente con el Doc. IV/93 (Japón), 1963-1966, esperando que tengan a bien facilitar la máxima información posible sobre el particular antes de la próxima Asamblea Plenaria del C. C. I. R.

5. Los métodos de cálculo del factor de pantalla del terreno para obstáculos situados a menos de 5 km de la estación terrena.

Nota.—Las administraciones y la I. F. R. B. necesitan urgentemente los resultados que han de suministrarse en relación con este Programa de estudios, especialmente con el § 5. En el Informe 427 se da una respuesta parcial a este Programa de estudios.

PROGRAMA DE ESTUDIOS 7A/5 *

CURVAS DE PROPAGACIÓN EN ONDAS MÉTRICAS Y DECIMÉTRICAS EN LA GAMA DE FRECUENCIAS COMPRENDIDAS ENTRE 30 MHz Y 1 GHz

Radiodifusión y servicios móviles

El C. C. I. R.,

(1963 - 1966 - 1970)

CONSIDERANDO:

Que las curvas de propagación provisionales de la Recomendación 370-1 están basadas en datos obtenidos principalmente en Europa y en América del Norte, con antenas de transmisión y recepción situadas, por regla general, a unos 300 y a unos 10 m, respectivamente, sobre el nivel del suelo, y que se necesitan datos no sólo de otras regiones o zonas, sino también de otras alturas de antena de hasta 30000 m,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, que se efectúen los siguientes estudios **:

1. Registro continuo de las intensidades de campo o de la pérdida de transmisión en las frecuencias comprendidas entre 30 MHz y 1 GHz durante periodos de hasta varios años, en el mayor número posible de regiones del mundo de condiciones climáticas lo más diversas posible y para distancias de hasta unos 1000 km;
2. Determinación de las correcciones a efectuar en las curvas de la Recomendación 370-1 para tener en cuenta los efectos de otras condiciones de clima, terreno y vegetación; se estudiará igualmente la influencia de los edificios en la recepción a poca altura;
3. Estudio en trayectos de hasta unos 2000 km de longitud, de los efectos debidos a la variación de altura de las antenas transmisora y receptora, teniendo en cuenta que en los servicios de radiodifusión y móvil terrestre pueden utilizarse antenas transmisoras cuya altura puede variar entre 9 y 1200 m y antenas receptoras cuya altura sobre el suelo puede variar entre 2 y 150 m, mientras que en el servicio móvil aeronáutico pueden utilizarse antenas situadas a alturas de hasta unos 30000 m sobre el suelo;

Nota.—Deberá concederse especial atención a las necesidades inmediatas del servicio móvil aeronáutico en la banda de frecuencias comprendidas entre 100 y 140 MHz.

* Reemplaza al Programa de estudios 7A/V y es idéntico a este texto.

** Muchos de estos estudios están estrechamente relacionados con el Programa de estudios 5-1D-1/5.

4. Problemas planteados en particular por los trayectos marítimos y por los trayectos mixtos, terrestres y marítimos;
5. Efecto obtenido, para diversos valores de la distancia de transmisión entre puntos de la superficie terrestre, cuando se utilizan antenas directivas y antenas cuyos haces están inclinados con relación al plano horizontal, considerando especialmente la inclinación que puede resultar de la existencia de un horizonte elevado o bajo;
6. Estudio de la distribución estadística de la intensidad de campo en función de la ubicación del punto de recepción dentro de una zona determinada, y
7. Análisis estadísticos de los resultados obtenidos, conforme a la Recomendación 311-1, con objeto de ampliar el campo de aplicación de las curvas contenidas en la Recomendación 370-1.

CUESTIÓN 8/5

DATOS DE PROPAGACIÓN PARA LA RADIODIFUSIÓN SONORA Y LA TELEVISIÓN EN BANDAS DE FRECUENCIAS SUPERIORES A 10 GHz

El C. C. I. R.,

(1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que, en lo futuro, se utilizarán también frecuencias superiores a 10 GHz para la radiodifusión sonora y la televisión;
- b) Que los fenómenos de propagación que se producen en estas bandas de frecuencias influirán de manera decisiva en la planificación de las redes de radiodifusión,

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente cuestión:

1. ¿Cuáles son los valores de intensidad de campo excedidos durante el 99 %, 90 %, 50 %, 10 % y 1 % del tiempo en las distintas bandas que han de considerarse en las frecuencias superiores a 10 GHz * y en qué medida dependen de la distancia, la altura de la antena transmisora, la naturaleza del terreno y las condiciones climáticas?
2. ¿Cuál es la distribución local de la intensidad de campo o de la atenuación, especialmente en las grandes ciudades, y qué influencia ejercen en la zona de servicio obstáculos tales como los edificios elevados?

* Actualmente, la banda de 11,7 a 12,7 GHz presenta especial interés.

CUESTIÓN 9/5 *

CONSIDERACIONES SOBRE LA PROPAGACIÓN, DE INTERÉS PARA LOS SERVICIOS MÓVILES QUE UTILIZAN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN O DE RADIODETERMINACIÓN POR SATELITE

El C. C. I. R.,

(1969 - 1970)

CONSIDERANDO:

Que diversas administraciones estudian sistemas de satélites destinados a la seguridad, la radiodeterminación, las telecomunicaciones y el control de la navegación aérea y marítima;

DECIDE, POR UNANIMIDAD, poner a estudio la siguiente Cuestión, en lo que respecta a las aeronaves y a los barcos:

1. ¿Cuáles son los factores de propagación que influyen en la elección de frecuencias para estos sistemas, teniendo en cuenta el caso en que el satélite está cerca del horizonte?, y
2. ¿Cuáles son las características y efectos de las reflexiones en la tierra o en el mar y de los desvanecimientos debidos a la propagación por trayectos múltiples, en el caso de señales de telecomunicación o de radiodeterminación transmitidas por satélites geoestacionarios, o de otro tipo, con destino a barcos y aeronaves?

RESOLUCIÓN 2-1

DATOS RELATIVOS A LA PROPAGACIÓN TROPOSFÉRICA PARA LA RADIODIFUSIÓN, LAS TELECOMUNICACIONES ESPACIALES Y LOS ENLACES ENTRE PUNTOS FIJOS

El C. C. I. R.,

(1963 - 1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que las curvas relativas a la radiodifusión y a los servicios móviles, que figuran en anexo a la Recomendación 370-1, han de mantenerse al día para tener en cuenta los nuevos resultados experimentales;
- b) Que es también necesario conocer los factores de propagación troposférica que influyen en el diseño de los sistemas de relevadores radioeléctricos y en la compartición de las bandas de frecuencias entre estos últimos, incluidos los sistemas de telecomunicaciones espaciales y terrenales (véase el Programa de estudios 5-1D-1/5);

* Se señalan a la atención de la Comisión de estudio 5 la Cuestión 19-1/8 y el Programa de estudios 19-1A-1/8 de la Comisión de estudio 8, así como los documentos pertinentes de la Comisión de estudio 6. La presente Cuestión debe señalarse a la atención de las Comisiones de estudio 4 y 8.

- c) Que se reciben con regularidad nuevos datos sobre las cuestiones mencionadas en los considerandos a) y b), principalmente en respuestas a la petición hecha por el Director del C. C. I. R. en la Circular administrativa AC/63;

RESUELVE, POR UNANIMIDAD:

1. Crear un Grupo interino de trabajo para proseguir el examen de todos los datos disponibles;
2. Que este Grupo proponga las oportunas enmiendas a la Recomendación 370-1;
3. Que este Grupo halle métodos para determinar sucintamente y con la mayor exactitud posible la pérdida de transmisión de un sistema de telecomunicación entre puntos fijos, fácilmente aplicable por los ingenieros de radiocomunicaciones, y que dicho Grupo proponga la revisión que se considere adecuada del Informe 244-2;
4. Que el Grupo esté integrado por miembros designados por las administraciones de Estados Unidos de América, Francia, India, Japón, Reino Unido, República Federal de Alemania y U. R. S. S., y que la coordinación de sus trabajos se confíe al representante del Reino Unido;
5. Que el Grupo trabaje en estrecha colaboración con el Grupo interino de trabajo creado en cumplimiento de la Resolución 3-1;
6. Que en lo posible el Grupo efectúe sus trabajos por correspondencia, y
7. Que el Grupo presente los oportunos informes antes de la Asamblea Plenaria del C. C. I. R.

RESOLUCIÓN 3-1

**INFLUENCIA DE LAS REGIONES NO IONIZADAS DE LA ATMÓSFERA
EN LA PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS**

El C. C. I. R.,

(1963 - 1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que habrá que poner al día los datos que figuran en los Informes 233-2 y 234-2 para tener en cuenta los nuevos resultados experimentales;
- b) Que es necesario examinar la utilidad de otros parámetros en los estudios radiometeorológicos (véase la Cuestión 2-1/5) para diversos climas, y
- c) Que es necesario conocer las características de absorción, refracción y ruido celeste en relación con los sistemas de telecomunicación espacial (véase el Programa de estudios 5-1A-1/5);

RESUELVE, POR UNANIMIDAD:

1. Crear un Grupo interino de trabajo para proseguir el examen de todos los datos meteorológicos relacionados con la propagación de las ondas radioeléctricas en las regiones no ionizadas de la atmósfera;
2. Que este Grupo de trabajo proponga las oportunas enmiendas a los Informes 233-2 y 234-2;
3. Que los miembros del Grupo de trabajo sean designados por las administraciones del Canadá, Estados Unidos de América, Francia, India, Japón, Países Bajos, República Federal de Alemania, Reino Unido, Suecia y U. R. S. S. De la coordinación de la labor del Grupo se encargará el miembro que designe la administración francesa;
4. Que el Grupo de trabajo realice sus tareas en estrecha colaboración con el Grupo interino de trabajo creado en virtud de la Resolución 2-1;
5. Que el Grupo desarrolle por correspondencia la mayor parte posible de sus actividades, y
6. Que el Grupo de trabajo prepare un informe con anterioridad a la XIII Asamblea Plenaria del C. C. I. R.

RESOLUCIÓN 45

PREDICCIÓN DE LA FASE Y DE LA AMPLITUD DE LA ONDA DE SUPERFICIE

El C. C. I. R.,

(1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que conviene preparar mejores métodos de predicción de la fase y de la amplitud de la onda de superficie propagada sobre la Tierra (véanse las Cuestiones 1-1/5 y 3/5);
- b) Que la influencia de la refracción troposférica es importante en la predicción de la fase (instante de llegada) de las señales que utilizan los sistemas de radiolocalización de gran precisión,

RESUELVE, POR UNANIMIDAD:

1. Crear un Grupo interino de trabajo para examinar la aplicación práctica de los datos meteorológicos, topográficos y geológicos a la predicción de la fase y de la amplitud de la onda de superficie, especialmente en frecuencias inferiores a unos 30 MHz, que se propaga sobre la superficie terrestre y por las regiones no ionizadas de la atmósfera;
2. Que este Grupo proponga las oportunas revisiones y enmiendas a los Informes 230-1 y 235-1 y a la Recomendación 368-1;
3. Que los miembros de ese Grupo sean designados por las administraciones de Estados Unidos de América, Reino Unido y Suecia;
4. Que sus trabajos sean coordinados por el miembro designado por la administración del Reino Unido, y
5. Que, para el estudio de las cuestiones de interés común, el Grupo colabore con el Grupo interino de trabajo creado en virtud de la Resolución 3-1.

RESOLUCIÓN 46

PUBLICACIÓN DE UN ATLAS DE LOS COEFICIENTES DE REFLEXIÓN

El C. C. I. R.,

(1970)

CONSIDERANDO:

- a) Que la Secretaría especializada del C. C. I. R. ha preparado un programa de calculadora electrónica para calcular los coeficientes de reflexión de Fresnel de una onda electromagnética plana con polarización vertical y horizontal, y otro programa para el cálculo de los ángulos de Brewster y de los coeficientes de reflexión correspondientes, y
- b) Que es necesario conocer estos coeficientes de reflexión para trazar curvas de propagación, calcular diagramas de radiación de las antenas y resolver ciertos problemas de orden práctico,

RESUELVE, POR UNANIMIDAD:

- 1. Que el Director del C. C. I. R. publique un Atlas de los coeficientes de reflexión de Fresnel que contenga:
 - 1.1 Una introducción que indique las fórmulas utilizadas en los cálculos, los problemas que se pueden resolver mediante el Atlas y las limitaciones que cabe imponer al empleo de estos coeficientes de reflexión en determinados casos reales;
 - 1.2 Cuadros con valores del ángulo de Brewster y de los coeficientes de reflexión correspondientes, para una onda electromagnética plana polarizada verticalmente;
 - 1.3 Cuadros con valores del coeficiente de reflexión de Fresnel para una onda electromagnética plana (polarización vertical y polarización horizontal);
 - 2. Que estos cuadros se establezcan con tres cifras significativas, utilizando valores apropiados de conductividad σ y de la constante dieléctrica ϵ para la gama de frecuencias de 10 kHz a 10 GHz.
-