



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.

Conferencia Administrativa Regional
de Radiodifusión por ondas kilométricas
y hectométricas

**INFORME DE LA PRIMERA REUNIÓN
(TEXTOS DEL C.C.I.R.)**

(Ginebra, 1974)



Secretaria General
de la
Unión Internacional de
Telecomunicaciones
Ginebra



Introducción por el Director del C.C.I.R.

Durante la primera Reunión de la Conferencia de Radiodifusión por ondas kilométricas y hectométricas, Ginebra, 1974, el C.C.I.R. sometió, en el Documento N.º 10 y sus anexos, para información de los delegados, una extensa serie de textos considerados de aplicación directa para los problemas de la Conferencia.

Al preparar el Informe de la primera Reunión de la Conferencia, se decidió incluir en él cierto número de esos textos, como información técnica de base para la labor de planificación de la segunda Reunión.

Esta serie de textos, que figura en el presente anexo, es más breve que la serie original por los motivos siguientes:

- Se han omitido algunos de los textos, considerados puramente informativos o de importancia secundaria;
- Otros textos, cuyo contenido ha sido incorporado en la parte principal del Informe, también se han omitido para evitar su duplicación.

Por otra parte, se aprovecha la oportunidad para señalar a la atención de los delegados que asistan a la segunda Reunión de la Conferencia los siguientes textos del C.C.I.R. que aunque omitidos de la colección original debido a su volumen contienen información de aplicación directa e importante para los trabajos de la segunda Reunión. Se trata de los textos siguientes:

- Informe 322: Distribución mundial y características del ruido atmosférico radioeléctrico.
- Informe 340 + Suplemento N.º 1: Atlas del C.C.I.R. de las características ionosféricas.
- Informes 413, 414 y 415: Utilización eficiente del espectro radioeléctrico.

Todos esos textos se publican aparte de los volúmenes normales del C.C.I.R., y pueden adquirirse solicitándolos de la División de publicaciones de la U.I.T.

Por último, hacemos referencia al Informe 258-2: "Medición del ruido radioeléctrico industrial" que, si bien no se incluyó en la serie original de textos, contiene materias de interés para la segunda Reunión de la Conferencia. Por consiguiente, se incluye un ejemplar de este texto en la serie actual.

Conferencia Administrativa Regional
de Radiodifusión por ondas kilométricas
y hectométricas

**INFORME DE LA PRIMERA REUNIÓN
(TEXTOS DEL C.C.I.R.)**

(Ginebra, 1974)



PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK

PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT

ÍNDICE

<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>Página</u>
368-2 - Curvas de propagación de la onda de superficie para frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 10 MHz	5
372-1 - Utilización de datos sobre el ruido radioeléctrico	18
448-1 - Radiodifusión sonora en ondas kilométricas y hectométricas (bandas 5 y 6). <u>Relación de protección en radiofrecuencia</u>	19
498 - Sistemas de radiodifusión sonora en ondas kilométricas y hectométricas (bandas 5 y 6). <u>Interferencias debidas a la transmodulación ionosférica</u>	21
499 - Radiodifusión sonora en ondas kilométricas y hectométricas (bandas 5 y 6). <u>Definición de los valores específicos de las intensidades de campo y de la zona de servicio</u>	22
 <u>INFORMES</u>	
229-2 - Características eléctricas de la superficie de la Tierra	24
258-2 - Ruido radioeléctrico industrial	36
298-3 - Relaciones de protección para la radiodifusión sonora con modulación de amplitud	39
400-2 - Radiodifusión sonora en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas (bandas 5, 6 y 7). <u>Factores que limitan la zona de servicio en ondas hectométricas (banda 6)</u>	47
401-2 - Radiodifusión sonora en ondas kilométricas y hectométricas (bandas 5 y 6). <u>Antenas de transmisión de gran eficacia</u>	65
457-1 - Radiodifusión en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas (bandas 5, 6 y 7). <u>Anchura de banda necesaria de emisión</u>	77
458-1 - Sistemas de radiodifusión sonora en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas (bandas 5, 6 y 7).....	89

<u>INFORMES</u> (cont.)	<u>Página</u>
459-1 - Relaciones de protección en radiofrecuencia para los transmisores de radiodifusión sincronizados	103
460-1 - Transmodulación ionosférica	110
616 - Cobertura de radiodifusión en la banda 6 (ondas hectométricas): problemas de explotación	125
617 - Características de los receptores de radiodifusión sonora y de las antenas receptoras	139
618 - Definiciones de la radiación en las bandas 5 (ondas kilométricas) y 6 (ondas hectométricas)...	146

R E C O M E N D A C I O N E S

RECOMENDACIÓN 368-2

CURVAS DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA DE SUPERFICIE PARA FRECUENCIAS
COMPRENDIDAS ENTRE 10 kHz Y 10 MHz

(Cuestión 3-1/5)

(1951-1959-1963-1970-1974)

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.

ANEXO

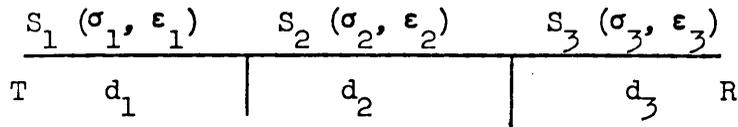
Las curvas de propagación adjuntas se aplican a frecuencias inferiores a 10 MHz.

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 de 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 2.000 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. Las curvas pueden utilizarse para determinar la propagación por trayectos mixtos (terreno uniforme heterogéneo) como se indica a continuación:

Puede considerarse un trayecto constituido por las secciones S_1, S_2, S_3 , etc., de longitudes d_1, d_2, d_3 , etc., cuyas conductividades y constantes dieléctricas son $\sigma_1, \epsilon_1; \sigma_2, \epsilon_2; \sigma_3, \epsilon_3$, etc.; tal como se indica en la ilustración para tres secciones:



Existen distintos métodos semiempíricos para determinar la propagación por estos trayectos, siendo el propuesto por Millington [Millington, 1949] el más preciso. Se ha conseguido satisfacer con este método la condición de reciprocidad. En su aplicación se consideran disponibles las curvas correspondientes a los distintos tipos de terreno de las secciones S_1, S_2, S_3 , et., supuestas individualmente homogéneas; también se suponen dichas curvas trazadas con relación a un mismo origen T, definido, por ejemplo, mediante una curva "inversa de la distancia". Los valores para cualquier otro origen podrán así obtenerse con sólo aplicar un coeficiente.

Se escoge entonces para una determinada frecuencia la curva correspondiente a la sección S_1 , y se determina el valor de la intensidad de campo $E_1(d_1)$ en dB(1 μ V/m) a la distancia d_1 . Mediante la curva correspondiente a S_2 se determinan las intensidades de campo $E_2(d_1)$ y $E_2(d_1 + d_2)$ y, procediendo de la misma manera con la curva correspondiente a la sección S_3 , se determinan las intensidades de campo $E_3(d_1 + d_2)$ y $E_3(d_1 + d_2 + d_3)$, y así sucesivamente.

La ecuación

$$E_R = E_1(d_1) - E_2(d_1) + E_2(d_1 + d_2) - E_3(d_1 + d_2) + E_3(d_1 + d_2 + d_3)$$

define así una intensidad de campo recibida E_R .

Se invierte luego el procedimiento, denominando R el transmisor y T el receptor, lo que conduce a una intensidad de campo E_T definida por la ecuación:

$$E_T = E_3(d_3) - E_2(d_3) + E_2(d_3 + d_2) - E_1(d_3 + d_2) + E_1(d_3 + d_2 + d_1)$$

La intensidad de campo requerida viene dada por $1/2 \sqrt{E_R + E_T}$, siendo evidente la forma de extender el cálculo a un número mayor de secciones.

En principio este método puede extenderse a los cambios de fase, siempre y cuando se disponga de las correspondientes curvas de la fase en función de la distancia para terrenos homogéneos. Esta información resultará indispensable para las aplicaciones relacionadas con los sistemas de navegación.

8. Conviene continuar aplicando esta Recomendación hasta el momento en que se la pueda revisar de conformidad con las sugerencias contenidas en el Informe 428-1.

BIBLIOGRAFÍA

- FURUTSU, K. [1955], 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.
- GROSSKOPF, J. [1950], Zur Ausbreitung von Mittelwellen über inhomogenes Gelände (Propagación de las ondas hectométricas en un terreno heterogéneo). Fernmeldetechn. (F.T.Z.), 3, 118.
- MILLINGTON, G. [1949], Ground-wave propagation over an inhomogeneous smooth earth. Proc. I.E.E., Parte III, 96, 53.
- MILLINGTON, G., e ISTEAD, G.A. [1950], Ground-wave propagation over an inhomogeneous smooth earth, Par. 2. Experimental Evidence and Practical Implications. Proc. I.E.E., 97, 209.
- SENIOR, T.B.A. [1957], Radio propagation over a discontinuity in the earth's electrical properties: I et II Coastal refraction. Proc. I.E.E., Parte C, 104, 43, 139.
- WAIT, J.R. [1961], On the theory of mixed-path ground-wave propagation on a spherical earth. NBS Journal of Research, 65D, 401.

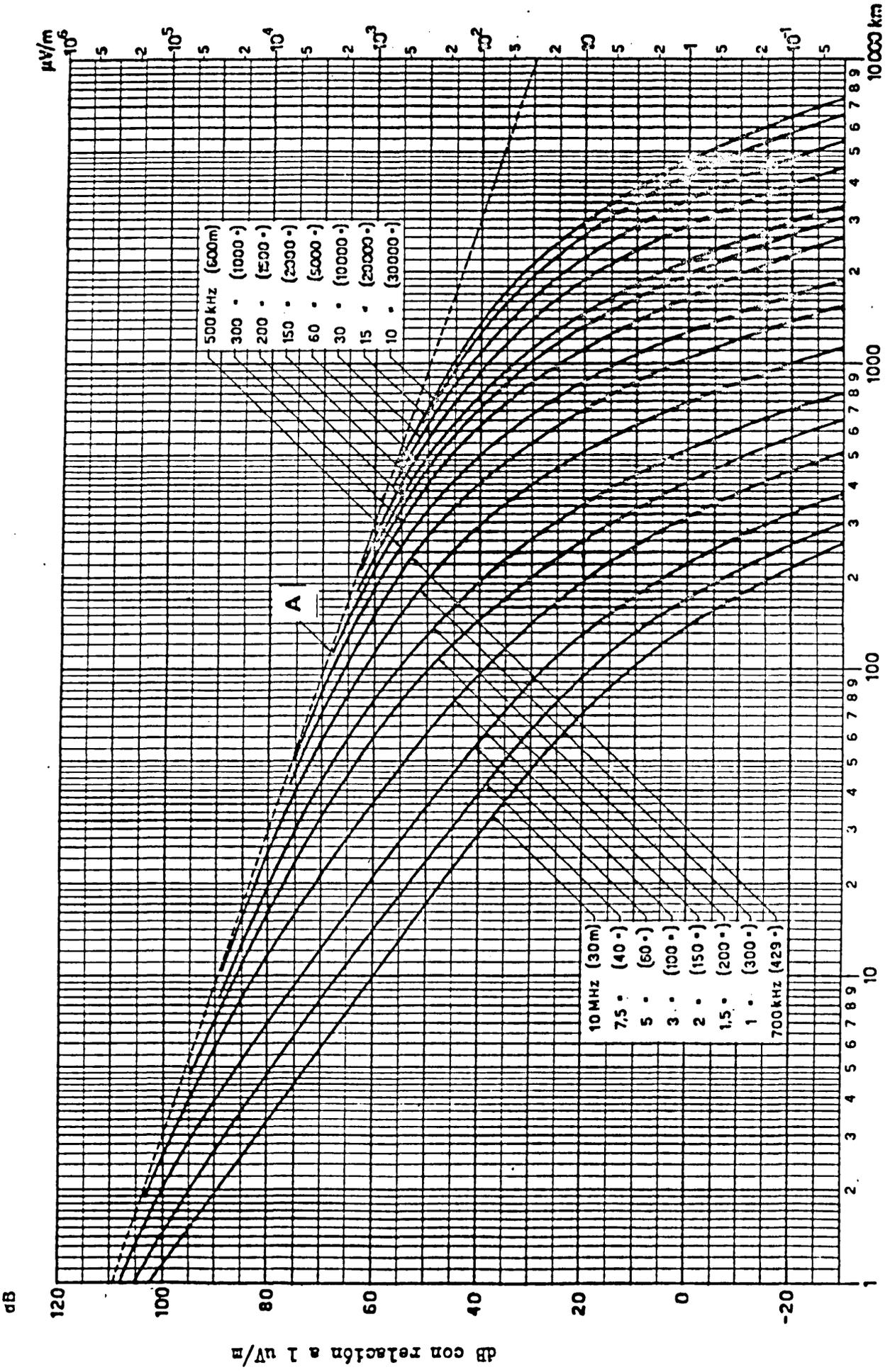


FIGURA 2
Curvas de propagación de la onda de superficie; Tierra, $\sigma = 3 \times 10^{-2}$ S/m, $\epsilon = 4$
A: inversa de la distancia

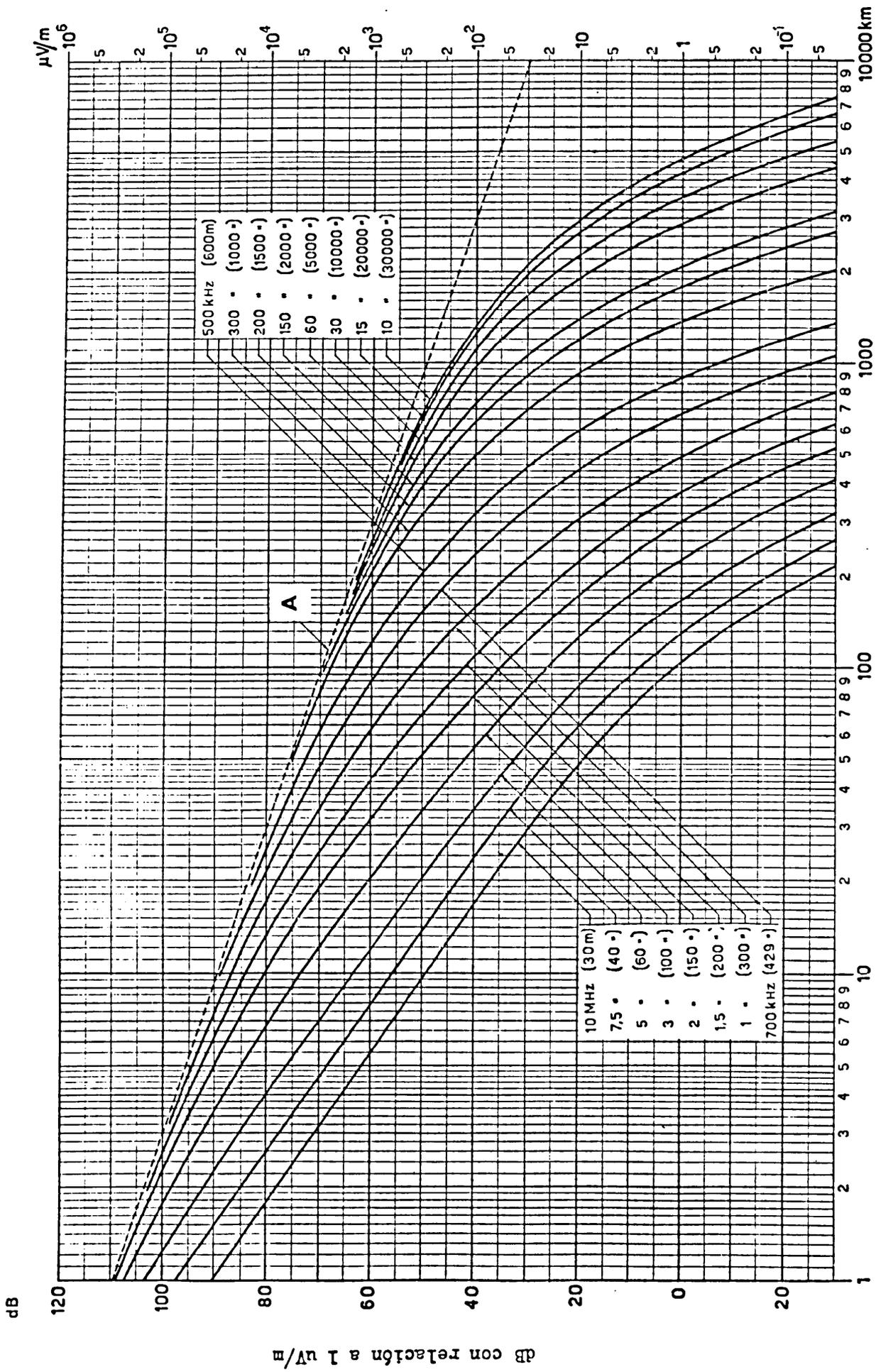


FIGURA 3

Curvas de propagación de la onda de superficie; Tierra, $\sigma = 10^{-3} \text{ S/m}$, $\epsilon = 4$

A : inversa de la distancia

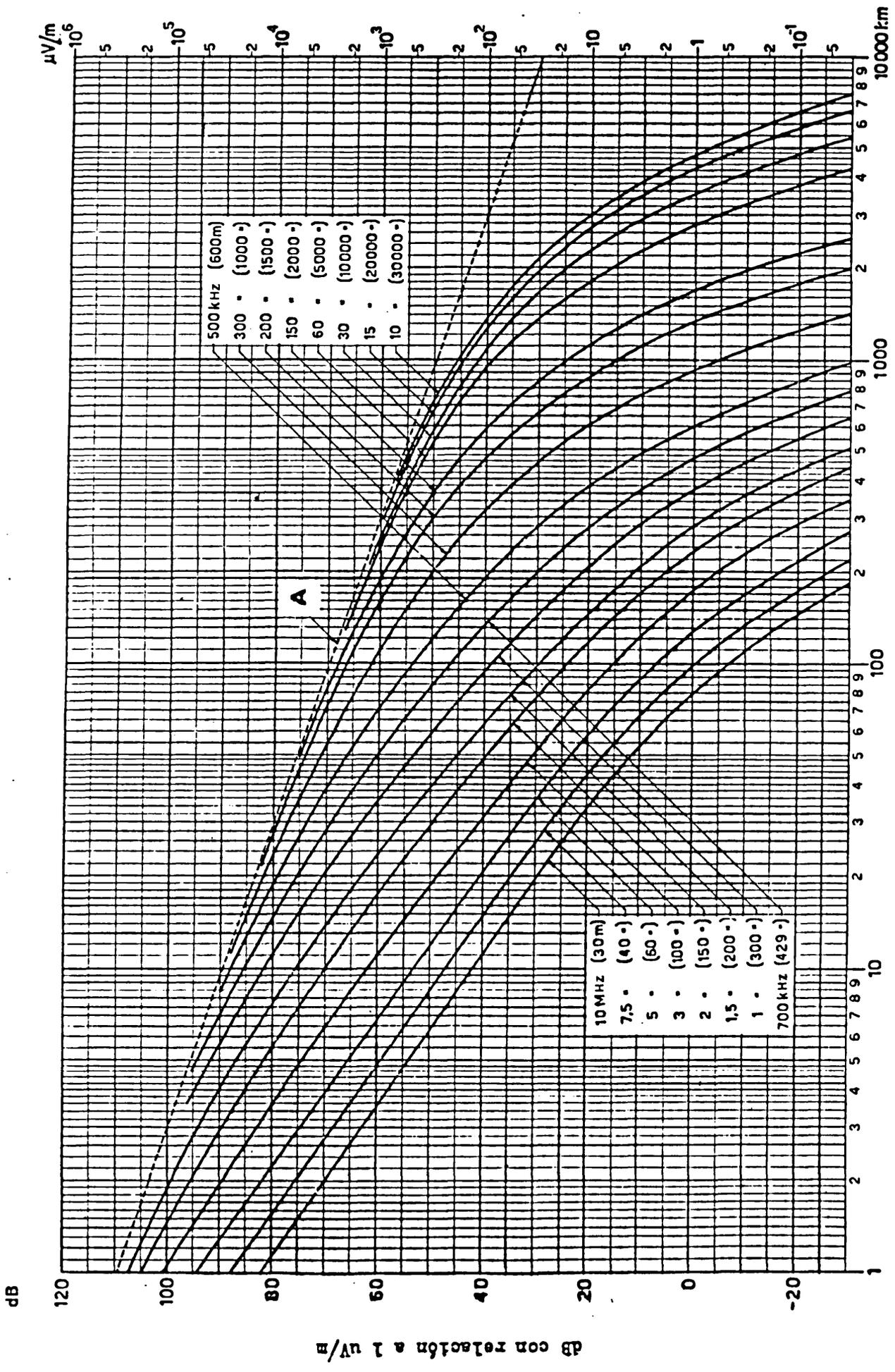


FIGURA 4

Curvas de propagación de la onda de superficie; Tierra, $\sigma = 3 \times 10^{-3} \text{ S/m}$, $\epsilon = 4$

A : inversa de la distancia

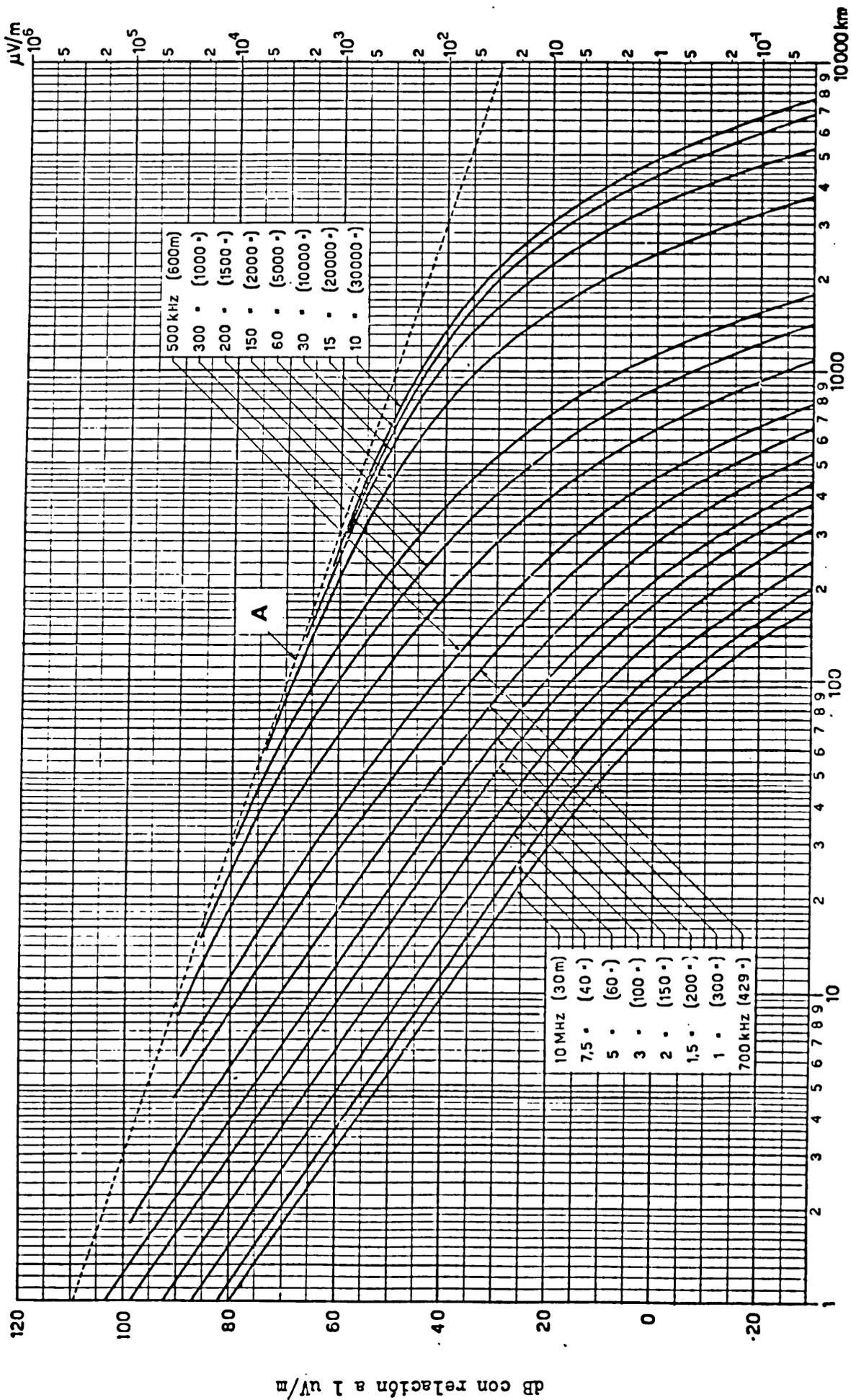


FIGURA 5

Curvas de propagación de la onda de superficie; Tierra, $\sigma = 10^{-5} \text{ S/m}$, $\epsilon = 4$

A: inversa de la distancia

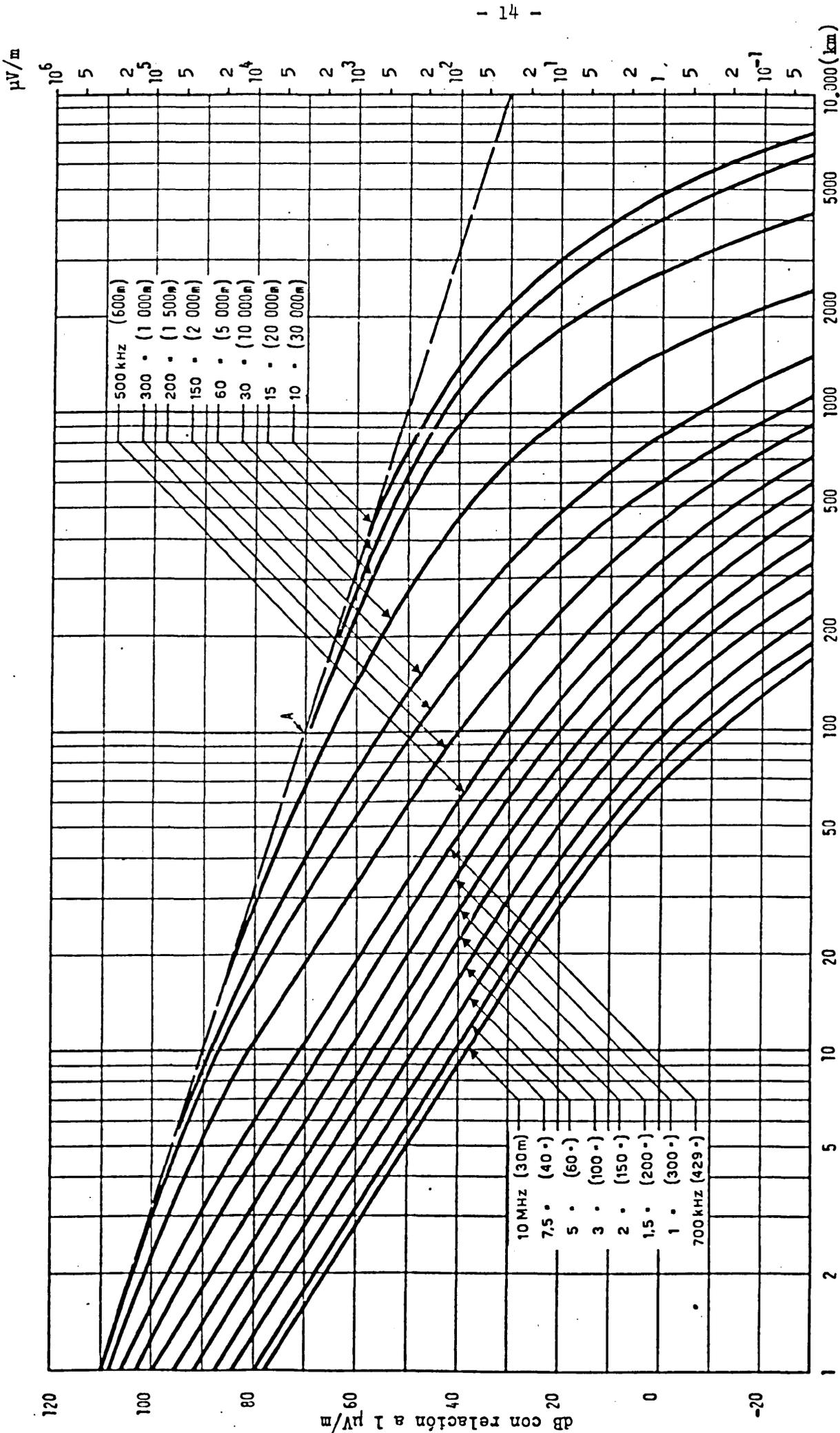


FIGURA 6

CURVAS DE PROPAGACION DE LA ONDA DE SUPERFICIE; TIERRA, $\sigma = 3 \times 10^{-4}$ S/m, $\epsilon = 4$

A: inversa de la distancia

Eje de abscisas = Distancia (km)

Eje de abscisas = Distancia (km)
 Eje de ordenadas de la izquierda = $20 \cdot \log_{10} E$ (dB)
 Eje de ordenadas de la derecha = $\mu V/m$

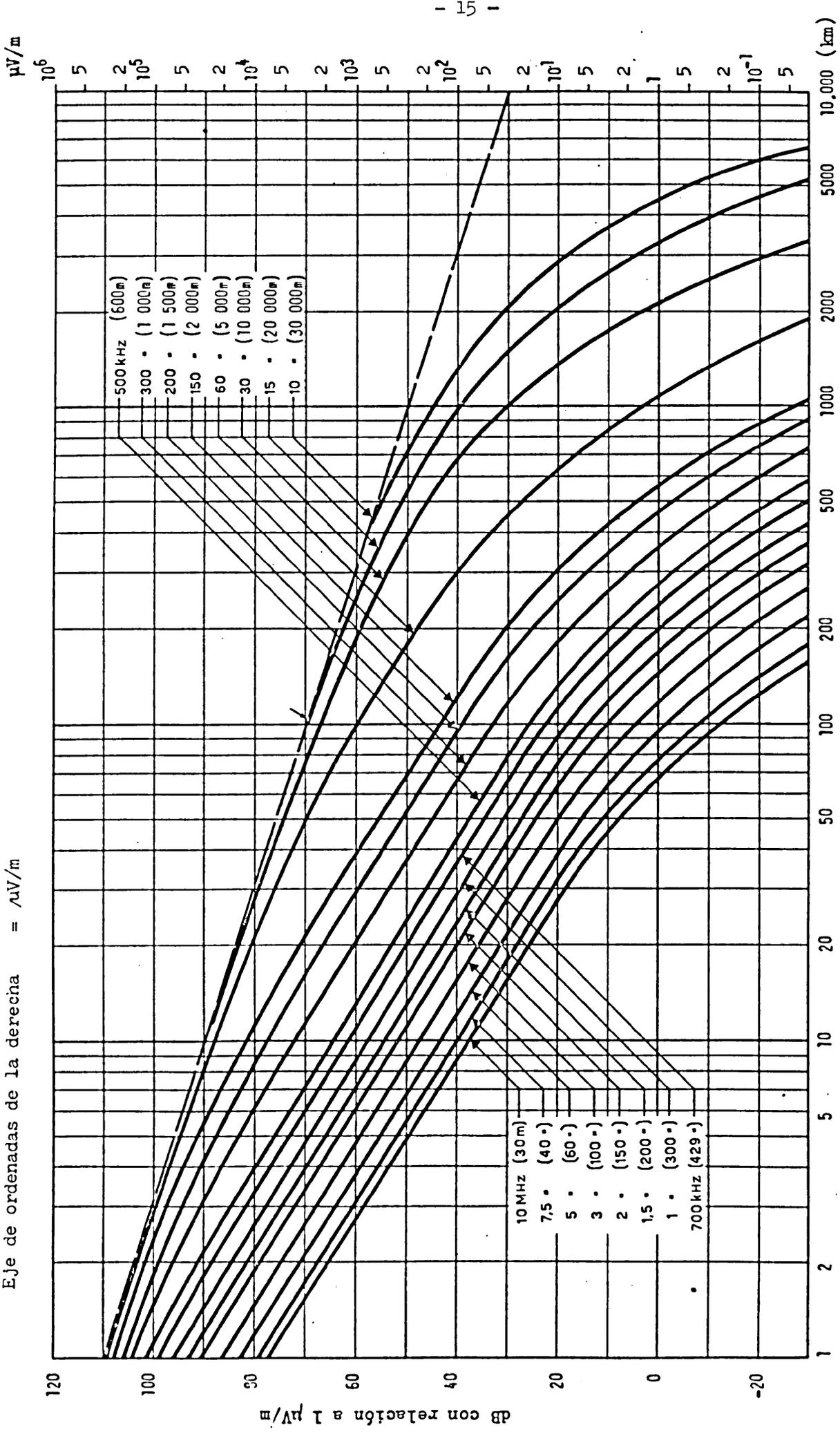


FIGURA 7

CURVAS DE PROPAGACION DE LA ONDA DE SUPERFICIE; TIERRA, $\sigma = 10^{-4}$ S/m, $\epsilon = 4$

A: inversa de la distancia

Eje de abscisas = Distancia (km)
 Eje de ordenada de la izquierda = 20 log I_{0E} (dB)
 Eje de ordenadas de la derecha = μV/m

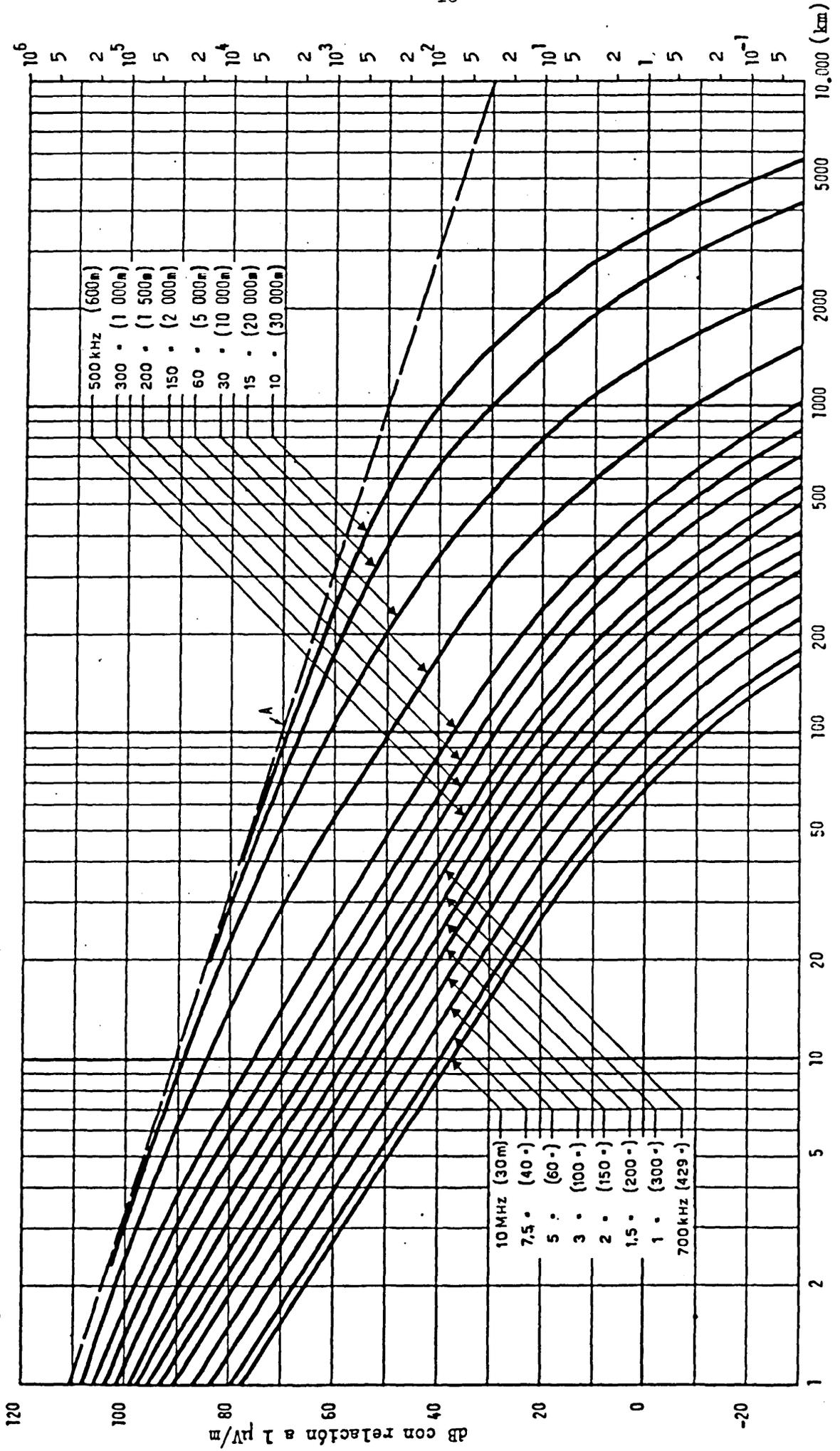


FIGURA 8
 CURVAS DE PROPAGACION DE LA ONDA DE SUPERFICIE; TIERRA, $\sigma = 3 \times 10^{-5}$ S/m, $\epsilon = 4$
 A: inversa de la distancia

Eje de abscisas = Distancia (km)
 Eje de ordenada de la izquierda = $20 \log 10^6 \mu V/m$ (dB)
 Eje de ordenada de la derecha = $\mu V/m$

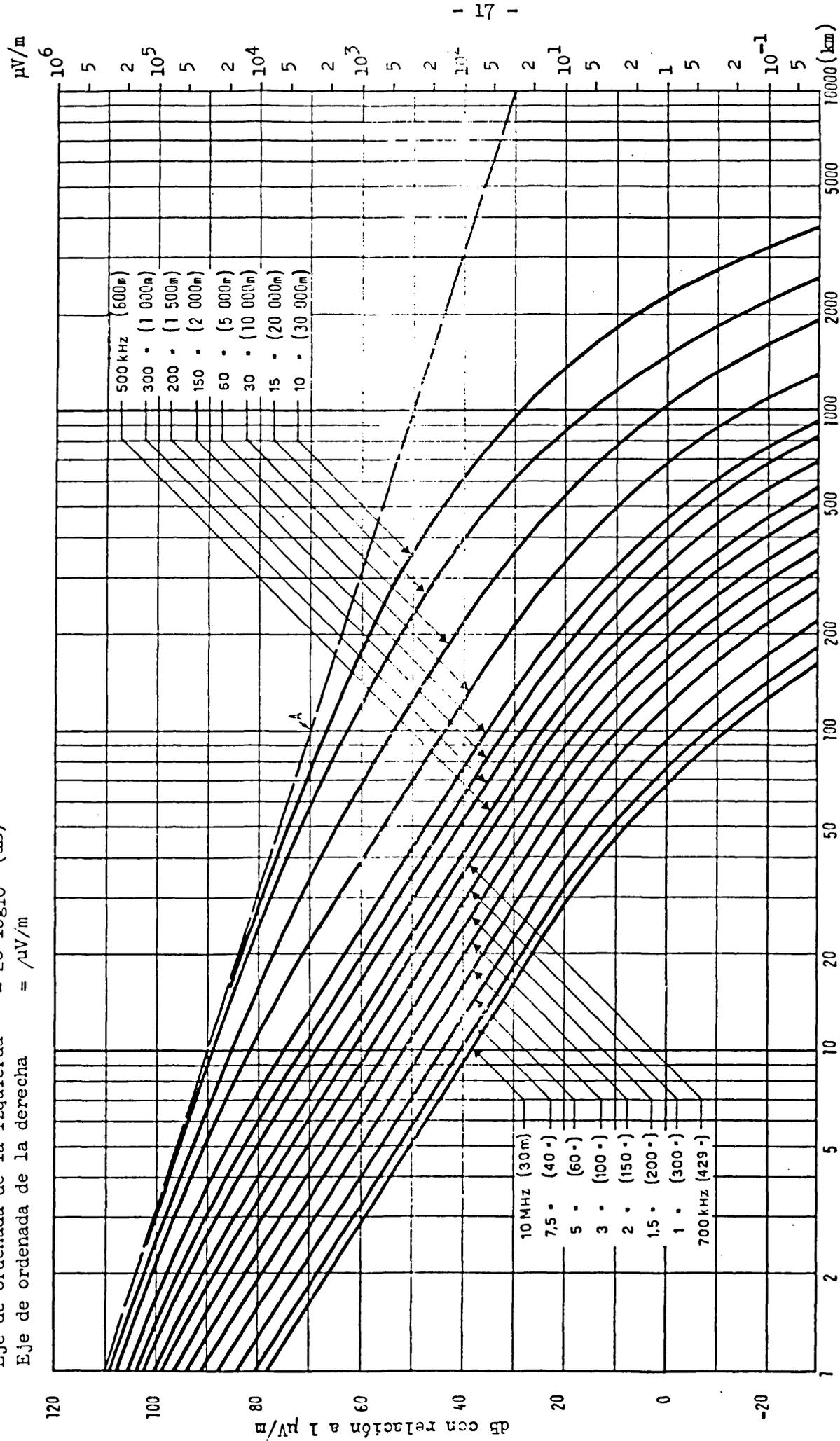


FIGURA 9

CURVAS DE PROPAGACION DE LA ONDA DE SUPERFICIE; TIERRA, $\sigma = 10^{-5}$ S/m, $\epsilon = 4$

A: inversa de la distancia

RECOMENDACIÓN 372-1

UTILIZACIÓN DE DATOS SOBRE EL RUIDO RADIOELÉCTRICO

(1951-1953-1956-1959-1963-1974)

El C.C.I.R.,

RECOMIENDA POR UNANIMIDAD:

Que se utilice la información contenida en los Informes 258-2 y 322-1 al evaluar la intensidad u otras características del ruido radioeléctrico industrial y natural hasta que se disponga de nuevos datos que justifiquen la revisión de dichos Informes.

RECOMENDACIÓN 448-1

RADIODIFUSIÓN SONORA EN ONDAS KILOMÉTRICAS
Y HECTOMÉTRICAS (BANDAS 5 Y 6)

Relación de protección en radiofrecuencia

(Programa de estudio 25A/10)

(1966-1974)

El C.C.I.R.,

RECOMIENDA POR UNANIMIDAD:

Que, para emisiones en la misma frecuencia (± 50 Hz, aproximadamente) en las ondas hectométricas y kilométricas, la relación de protección en radiofrecuencia (tal y como se define en la Recomendación 447) sea de 40 dB en el caso de señales deseada e interferente estables (onda de superficie).

En el caso de una señal deseada estable y de una señal interferente fluctuante (onda ionosférica), la relación de protección en radiofrecuencia debe ser 40 dB a medianoche para el 50%, por lo menos, de las noches de un año.

Los valores de relación de protección de radiofrecuencia especificados permitirán ofrecer un servicio de excelente calidad en la recepción. Sin embargo, para la planificación, pueden ser necesarios valores más bajos. A este respecto, algunos países y organizaciones han formulado proposiciones (véase el Informe 298-3).

ANEXO

El valor de 40 dB comprende el efecto subjetivo de las fluctuaciones a corto plazo de la señal interferente (véase también el Informe 298-3 y el § 3.2 del Informe 264-3) y corresponde a la relación entre la intensidad de campo deseada y la mediana anual de las medianas horarias de la intensidad de campo no deseada a las 24 horas (hora local en el punto medio del trayecto).

La protección así definida se logra para:

- el 50% de las noches a las 24 horas (hora local);
- más del 50% de las noches entre el ocaso y medianoche y entre las 03 horas y el orto en la Zona Europea de Radiodifusión;

- más del 50% de las noches entre el ocaso y las 21 horas y entre medianoche y el orto en Australia, y
- más del 100% de los días durante las horas diurnas.

Nota 1.- Con esta relación de protección de 40 dB la intensidad de campo mínima utilizable varía en función de la región y de la frecuencia. En la zona europea, esta intensidad de campo mínima es del orden de 1 mV/m.

Nota 2.- En Estados Unidos de América cuando las señales deseada e interferente son estables (onda de superficie), la relación de protección en radiofrecuencia es de 26 dB para emisiones en la misma frecuencia. Cuando la señal interferente fluctúa (onda ionosférica), esta misma relación de protección corresponde al 90% de las noches de un año, calculada para dos horas después del ocaso. La intensidad mínima de campo utilizable es de 100 ó 500 μ V/m según la clase de servicio.

RECOMENDACIÓN 498

SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN SONORA EN ONDAS

KILOMÉTRICAS Y HECTOMÉTRICAS

Interferencias debidas a la transmodulación ionosférica

(Programa de estudios 25E-1/10)

(1974)

El C.C.I.R.,

CONSIDERANDO

que una radiación excesiva hacia la ionosfera puede dar lugar a transmodulación ionosférica y, en consecuencia, a interferencias perjudiciales,

RECOMIENDA*

que la radiación máxima admisible con cualquier ángulo de elevación sea tal que la molestia debida a la transmodulación no exceda de la que se admite para la interferencia en el mismo canal (véase la Recomendación 448-1).

Nota.- Para la determinación de la radiación máxima, en función del ángulo de elevación, véase el Informe 460-1.

* La República Popular China y el Reino Unido reservan su opinión sobre esta Recomendación.

RECOMENDACIÓN 499

RADIODIFUSIÓN SONORA EN ONDAS KILOMÉTRICAS Y HECTOMÉTRICAS

(BANDAS 5 Y 6)

Definición de los valores específicos de las intensidades de campo y de la zona de servicio

(1974)

El C.C.I.R.,

RECOMIENDA, POR UNANIMIDAD:

que debieran utilizarse las siguientes definiciones en radiodifusión sonora en ondas kilométricas y hectométricas (bandas 5 y 6):

1. Intensidad de campo mínima utilizable (E_{\min})*

Valor mínimo de la intensidad de campo de un transmisor para el cual la señal puede utilizarse en condiciones especificadas en presencia de ruido (natural e industrial), pero en ausencia de interferencia debidas a otros transmisores.

El valor de la intensidad de campo mínima utilizable depende entre otros parámetros:

- de la frecuencia;
 - de la hora y la estación;
 - de la región geográfica;
 - del valor de la relación de protección contra el ruido;
 - de la banda de paso del receptor.
- } Véase el Informe 322-1

Para la radiodifusión en ondas kilométricas y hectométricas (bandas 5 y 6), en las zonas de gran densidad de población, el ruido industrial es generalmente más molesto que el natural; esta particularidad deberá, por consiguiente, tenerse en cuenta en los planes de frecuencias.

2. Intensidad de campo nominal utilizable (E_{nom})**

Valor mínimo convencional de la intensidad de campo de un transmisor para que la señal pueda utilizarse en las condiciones especificadas en presencia de ruido y de interferencia debida a otros transmisores.

* Esta intensidad de campo mínima utilizable corresponde a la "intensidad de campo que debe protegerse" que figura en numerosos textos del C.C.I.R. Si no se presta a ambigüedad, puede utilizarse la expresión "intensidad de campo mínima".

** Si no se presta a ambigüedad, puede utilizarse la expresión "intensidad de campo nominal".

Diversos estudios demuestran que en presencia de interferencia debida a otros transmisores, es preferible, para la utilización óptima del espectro que la zona de servicio (véase el § 4) esté limitada por las interferencias, en lugar de estarlo por el ruido. El valor de la intensidad de campo utilizable es el empleado como referencia a los fines de la planificación.

3. Intensidad de campo utilizable (E_u)

Valor mínimo de la intensidad de campo de un transmisor para que la señal pueda utilizarse en las condiciones especificadas en presencia de ruido y de interferencia en una situación real (o resultante de un Plan de frecuencias).

Puede expresarse por la fórmula:

$$E_u = \sqrt{\sum_i (a_i E_{ni})^2 + E_{min}^2}$$

en donde:

E_{ni} intensidad de campo del i-ésimo transmisor interferente ($\mu V/m$)*

E_{min} intensidad de campo mínima utilizable ($\mu V/m$).

a_i relación de protección en radiofrecuencia asociada a cada transmisor interferente expresada mediante el valor numérico del cociente de las intensidades de campo.

En el caso general la intensidad de campo utilizable es diferente para cada transmisor. Por ejemplo, para dos transmisores que trabajen en el mismo canal pero con potencias diferentes, la intensidad de campo utilizable será más elevada para el transmisor que tenga la potencia más débil.

4. Zona de servicio (de un emisor de radiodifusión)

Zona en el interior de la cual la intensidad de campo de un transmisor es superior o igual a la intensidad de campo utilizable.

Debiera indicarse el porcentaje del tiempo durante el cual se satisface esta condición.

Esta zona puede ser diferente de día que de noche o variar en función de otros factores.

* En caso de fluctuaciones del campo interferente, el porcentaje del tiempo durante el cual se rebasa el valor de E_{ni} es una de las condiciones que deben especificarse.

I N F O R M E S

INFORME 229-2*

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA

(Cuestión 1-2/5)

(1959-1963-1970-1974)

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 S/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. Las Figs. 1 y 2 muestran valores típicos de las constantes del suelo en función de la frecuencia. Se observa que en frecuencias 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) $\underline{1}$. 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.

En las Figs. 1 y 2, los valores de conductividad indicados para tipos dados de superficie son valores medios. Dadas las diferencias existentes en diversas partes del mundo, la conductividad puede variar considerablemente. Los valores más elevados son válidos para las regiones fértiles, en tanto que en las regiones montañosas y árticas, la conductividad en frecuencias inferiores a 100 MHz puede ser de sólo 10^{-5} S/m. 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} S/m; ahora bien, ha podido demostrarse que, si la arcilla está seca, su conductividad puede disminuir hasta 10^{-4} S/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

Mediciones de laboratorio de las constantes del suelo han demostrado que, en bajas frecuencias, 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. Cuando se alcanza el punto de congelación, se produce generalmente una disminución considerable en ambas constantes. 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. Esta variación es especialmente perceptible por encima de 1 GHz, como se observa en las Figs. 1 y 2. Los valores correspondientes al agua dulce y al agua del mar pueden calcularse para cualquier frecuencia a partir de los datos consignados en [1].

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 la Fig. 3 se indican estos valores para los valores medios de las constantes eléctricas.

La Fig. 3 muestra que la profundidad de penetración varía considerablemente con 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. Los efectos de esas pérdidas de energías pueden tenerse en cuenta empleando valores adecuadamente modificados para las constantes del suelo en los cálculos de propagación.

En particular en terreno boscoso, se asocian a la pérdida de transmisión altos valores de atenuación, como muestra la Fig. 4 [2, 3, 4 y 6]. La atenuación puede ser mayor cuando los árboles están cubiertos de aguanieve o sus hojas mojadas por la lluvia.

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. 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.

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 [57].

4.6 Medidas de la variación de fase (ondas kilométricas)

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 Dispersión de las ondas debida a perturbaciones atmosféricas (ondas kilométricas)

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.

4.8 Medición del coeficiente de reflexión (ondas métricas)

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 ondas métricas.

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 estos 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. Puede utilizarse para determinar la atenuación del trayecto si se procede a una serie de medidas a lo largo del mismo.

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 (Fig. 4).

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. RICE, P.L. (1971) Some effects of buildings and vegetation on VHF/UHF Propagation, Conf. Proc. of the 1971 IEEE Mountain-West Conference on Electromagnetic Compatibility, Tucson, Arizona, noviembre de 1971.
3. SAXTON, J.A. y LANE, J.A. VHF and UHF Reception. Wireless World, 1955, 61, pág. 229.
4. BLOMQUIST, A. Local ground-wave field strength variations in the frequency range 30 - 1 000 MHz. Proc. Conf. on Electromagnetic Wave Propagation, Bruselas, pág. 127, 1958.
5. KACHPROVSKI, V.: The propagation of radio waves and conductivit Radio Journal of U.S.S.R. (1958) (en ruso). Traducción al inglés del National Bureau of Standards TI-60 (30 de junio de 1959).
6. TAMIR, T. (1967). On radio-wave propagation in forest environments, IEEE Trans. on Antennas and Prop., Vol. 15, N.º 6, págs. 806-817.

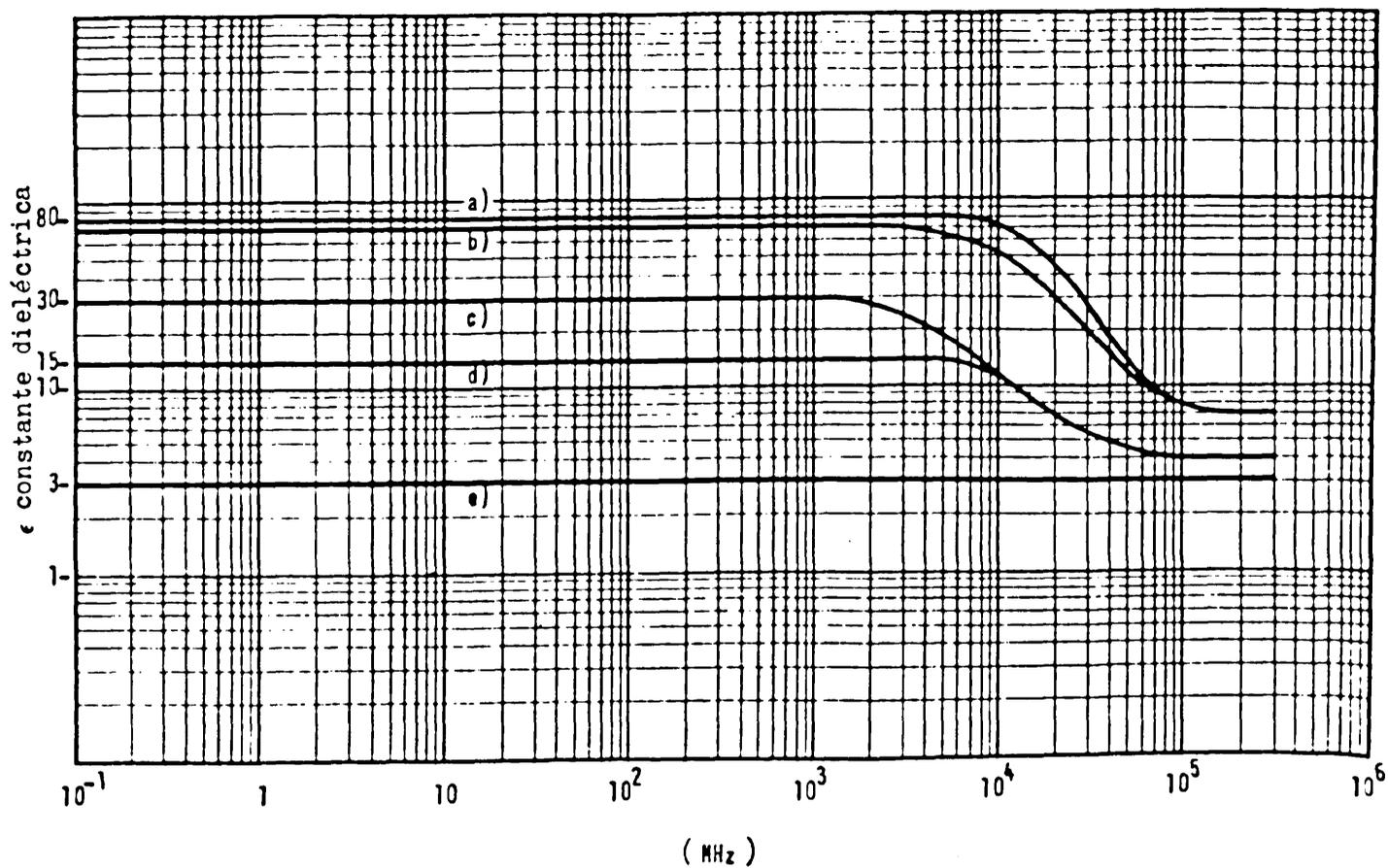


FIGURA 1
CONSTANTE DIELECTRICA EN FUNCION DE LA FRECUENCIA

- a) Agua dulce y agua pura (20°C)
- b) Agua salada (20°C)
- c) Suelo húmedo
- d) Suelo moderadamente húmedo
- e) Suelo muy seco y hielo

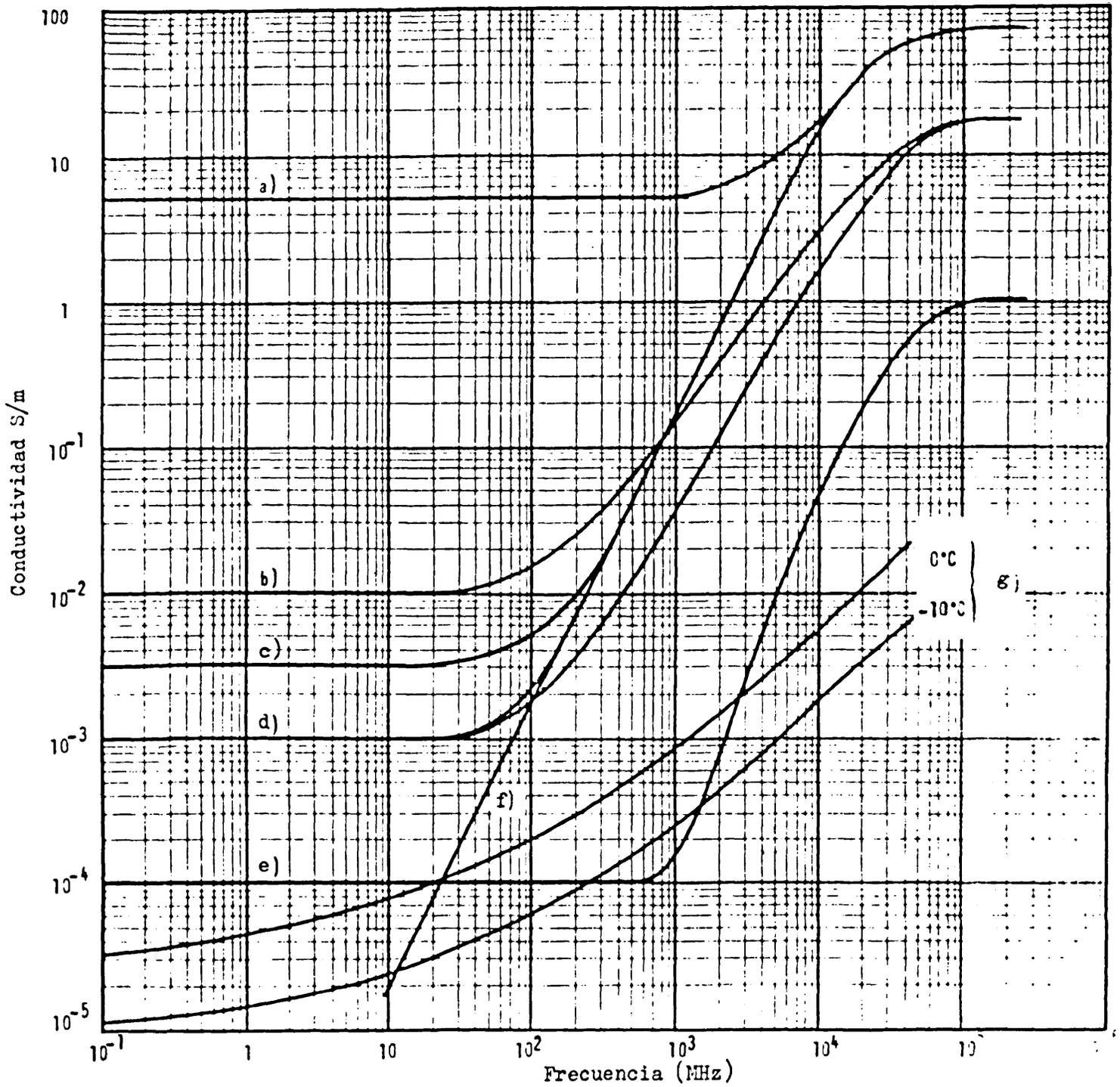


FIGURA 2

CONDUCTIVIDAD EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA

- a) Agua salada (salinidad media) 20°C
- b) Suelo húmedo
- c) Agua dulce, 20°C
- d) Suelo medio
- e) Suelo muy seco
- f) Agua pura, 20°C
- g) Hielo (agua dulce)

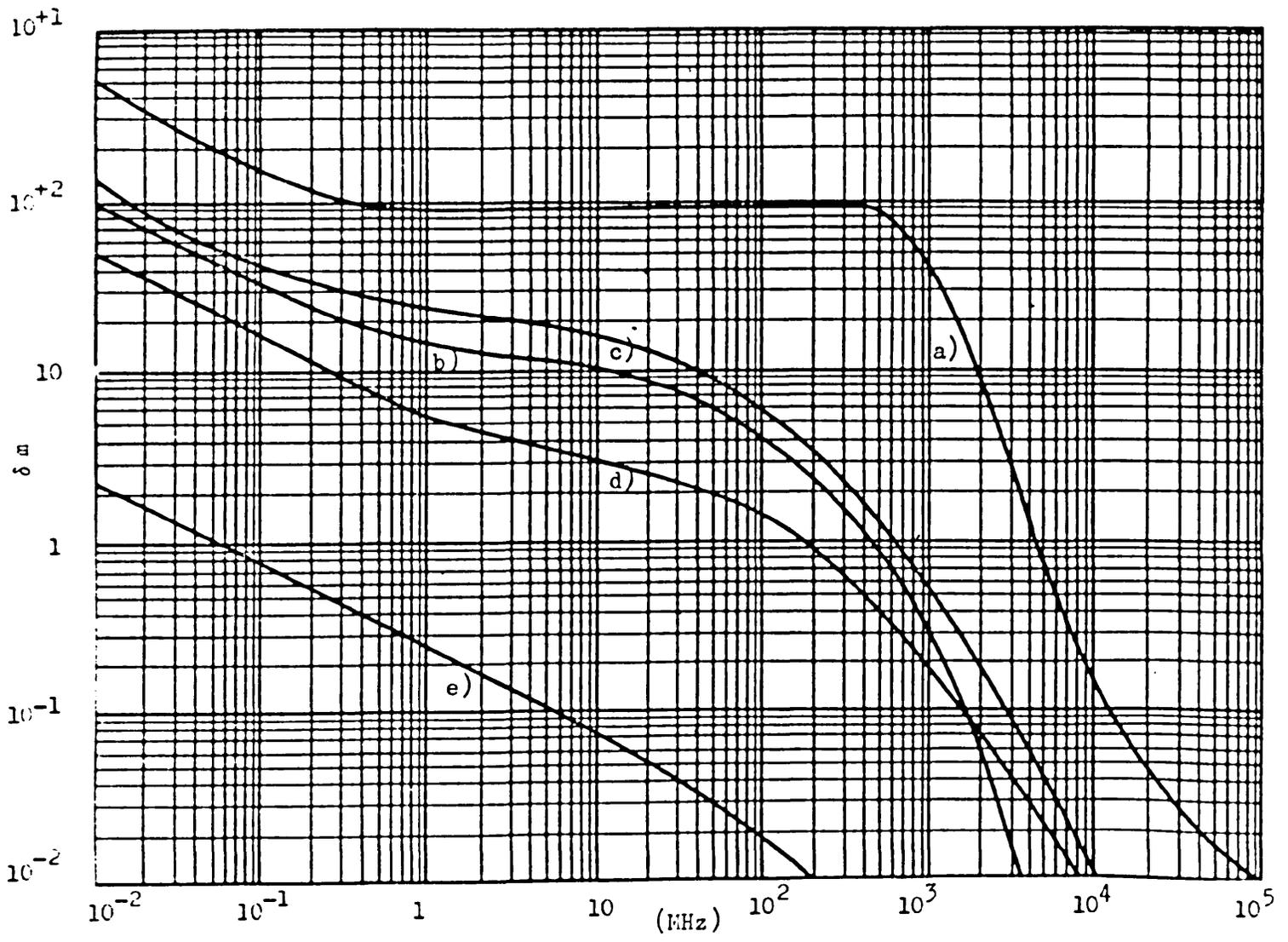


FIGURA 3

DI. TANCIA DE PENETRACIÓN EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA

- a) Suelo muy seco
- b) Agua dulce
- c) Suelo moderadamente húmedo
- d) Suelo húmedo
- e) Agua salada

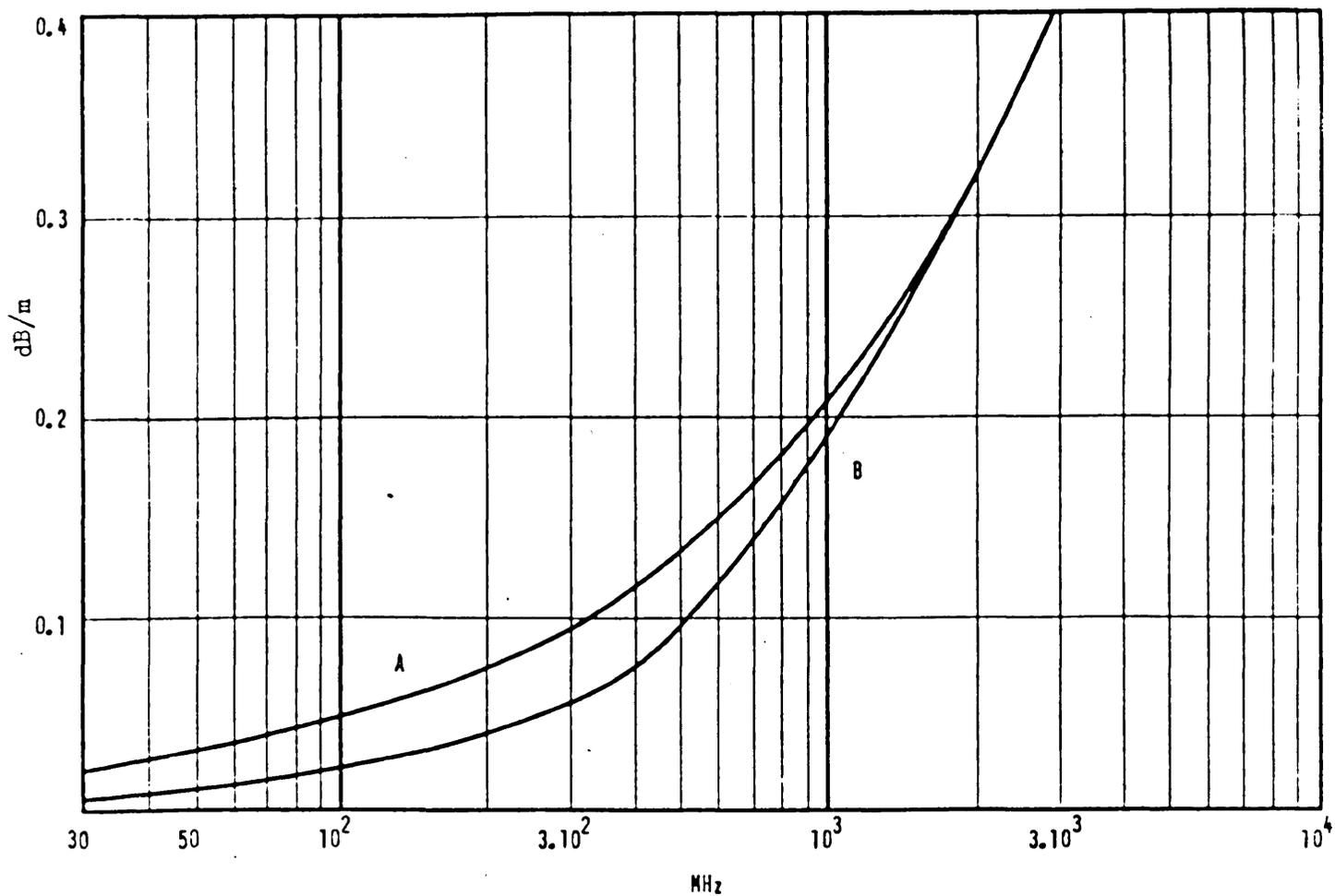


FIGURA 4

ATENUACIÓN SUPLEMENTARIA SOBRE LOS TERRENOS BOSCOSOS

A: Polarización vertical

B: Polarización horizontal

INFORME 258-2*

RUIDO RADIOELÉCTRICO INDUSTRIAL

(Programa de estudios 7C/6)

(1963-1970-1974)

Al tratar de resolver problemas de telecomunicación, es muy conveniente poder estimar el ruido radioeléctrico causado en cualquier punto por diferentes tipos de fuente de ruido. En ciertos sitios puede predominar el ruido industrial no intencional. Dado que puede provenir de diversas fuentes, como líneas de distribución de energía eléctrica, maquinaria industrial, sistemas de encendido, etc. este tipo de ruido varía mucho con la ubicación y la hora [Herman, 1971; Horner, 1971].

No se dispone actualmente de los datos necesarios para estimar las intensidades de ruido industrial en todas las condiciones, pero observaciones limitadas [J.T.A.C., 1968, Disney, 1972] permiten calcular valores típicos.

La Fig. 1 indica valores medianos de la potencia de ruido industrial expresada en términos de F_a (dB por encima del ruido térmico a 298°K; véase el Informe 322-1), atribuida a fuentes de ruido industrial, para zonas comerciales, residenciales, rurales y rurales tranquilas. Las tres curvas superiores se establecieron a base de mediciones en 103 puntos de los Estados Unidos de América durante 1966-1971 inclusive. Una zona comercial se define como el núcleo central de una gran ciudad, y una zona urbana como la sección residencial de una gran ciudad y como la zona suburbana de un gran centro de población. La zona rural se define como una pequeña comunidad y granjas, mientras que la curva para la zona rural tranquila corresponde a los valores de ruido industrial indicados en el Informe 322 para un sitio tranquilo. La curva de trazos interrumpidos del ruido galáctico, obtenida del Informe 322-1, se incluye como referencia.

Nota: Se ruega a la Secretaría del C.C.I.R. que transmita el presente Informe a la Comisión de estudio 1 para su información.

* Adoptado por unanimidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Disney, R.T. (1972), Estimates of man-made radio noise levels based on the Office of Telecommunications ITS data base, Proceedings IEEE International Conference on Communications, Order N.º 72CH0622-1-COM, 20-13/20-19.

Herman, J.R. (1971), Survey of man-made radio noise, Progress in Radio Science, Vol. I, 315-348, U.R.C.I., Bruselas.

Horner, F. (1971) Techniques used for the measurement of atmospheric and man-made noise, Progress in Radio Science, Vol. II, 177-182, U.R.C.I., Bruselas.

J.T.A.C. (1968), Unintended radiation, Supl. 9 to Spectrum Engineering - The Key to Progress, IEEE, New York.

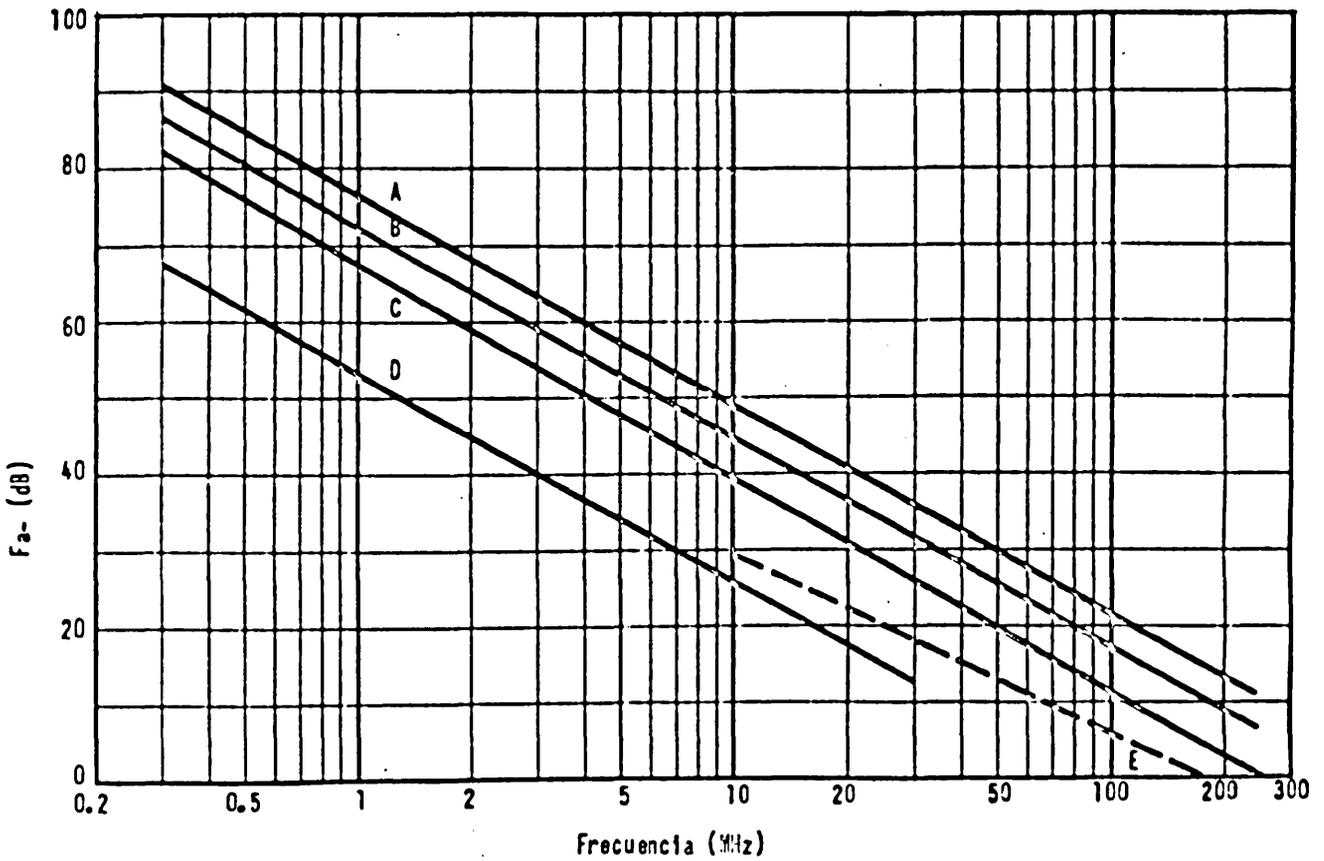


FIGURA 1

VALORES MEDIOS DE POTENCIA DE RUIDO INDUSTRIAL PARA UNA CORTA ANTENA UNIPOLAR VERTICAL SIN PÉRDIDAS, CONECTADA A TIERRA

A : Comercial

D : Rural tranquila

B : Residencial

E : Galáctico

C : Rural

INFORME 298-3*

RELACIONES DE PROTECCIÓN PARA LA RADIODIFUSIÓN

SONORA CON MODULACIÓN DE AMPLITUD

(Programa de estudios 25A-1/10)

(1974)

1. Introducción

El presente Informe constituye un resumen de los conocimientos actuales sobre las relaciones de protección en servicios de radiodifusión sonora con modulación de amplitud.

Las relaciones de protección se refieren, en todos los casos, a las señales a la entrada del receptor; no se ha tenido en cuenta el efecto de antenas directivas en la recepción.

El acuerdo sobre valores de las relaciones de protección es esencial para los problemas de asignación de frecuencias en radiodifusión sonora de modulación de amplitud. Estos valores pueden servir además de referencia para evaluar las calidades y la eficacia de los diversos sistemas de transmisión con modulación de amplitud.

Las relaciones de protección dependen de gran número de parámetros, entre los cuales desempeñan un importante papel las normas de transmisión y las características de los receptores. Aparte de los factores técnicos, también hay que tener en cuenta elementos fisiológicos y psicológicos. Por tanto, es sumamente difícil determinar valores de la relación de protección que puedan admitirse universalmente, incluso si se fijan las normas de transmisión y las características de los receptores.

Desde que existe la radiodifusión se han realizado muchas investigaciones, pero el presente Informe sólo contiene los resultados conocidos desde 1948.

2. Relación de protección en audiofrecuencia

La relación de protección en audiofrecuencia es el valor mínimo convencional de la relación señal/interferencia en audiofrecuencia, que corresponde a una calidad de recepción definida subjetivamente como aceptable (véase la Recomendación 447).

* Adoptado por unanimidad

Esta relación puede tomar distintos valores, según el tipo de servicio considerado. Depende en gran medida de la clase del programa deseado y del programa interferente. Por ello, es indispensable efectuar un gran número de pruebas de audición subjetiva para poder llegar a un acuerdo sobre un valor mínimo de la relación señal audiofrecuencia.

Debe señalarse claramente que, debido a efectos fisiológicos y psicológicos, es totalmente imposible fijar valores razonables para la relación de protección en audiofrecuencia por un método distinto de las pruebas subjetivas.

3. Relación de protección en radiofrecuencia

La relación de protección en radiofrecuencia es el valor de la relación señal/interferencia en radiofrecuencia que, en condiciones debidamente determinadas, permite obtener a la salida del receptor la relación de protección en audiofrecuencia.

Tales condiciones comprenden:

- la separación entre las portadoras deseada y no deseada;
- las características de la transmisión (tipo de modulación, índice de modulación, comprensión de la dinámica, banda de paso en la transmisión, distorsión armónica, etc.);
- las características del receptor (selectividad, sensibilidad a las no linealidades, en función, por ejemplo, de la tensión de entrada del receptor, etc.).

La relación de protección en radiofrecuencia puede determinarse, pues, mediante pruebas subjetivas, como en el caso de la relación de protección en audiofrecuencia. Procediendo así, el número de factores que han de tenerse en cuenta y, por ende, la importancia del trabajo, serán mucho mayores que en el caso anterior. Sólo pueden obtenerse resultados comparables si las condiciones de prueba se asemejan bastante. Por ello, en la Recomendación 413-3, se pide que, al señalarse los resultados, se indique claramente las condiciones de prueba expresadas en la misma forma que las características y los parámetros mencionados anteriormente.

Sin embargo, la evaluación de las relaciones de protección en radiofrecuencia puede facilitarse considerablemente una vez determinada la relación de protección en audiofrecuencia. Como los efectos fisiológicos y psicológicos influyen esencialmente en la relación de protección en audiofrecuencia, en condiciones técnicas dadas, de la relación de protección en audiofrecuencia puede deducirse la de radiofrecuencia. Para ello se pueden utilizar métodos objetivos de medida o bien técnicas gráficas [Parreaux, 1972] o numéricas [Pekte, 1973; Gröschel, 1971] (véase el Informe 399-2).

Hay que insistir en que estos tres métodos de determinación de la relación de protección en radiofrecuencias se basan en los mismos principios. Por consiguiente, deben dar los mismos resultados, lo cual se comprueba efectivamente si se los aplica con precisión suficiente.

La ausencia de valores confiables adecuados de la relación de protección en radiofrecuencia en el pasado se debía esencialmente a la complejísima vinculación entre la relación de protección en radiofrecuencia y la respuesta amplitud/frecuencia global de los receptores. Esta última depende de la selectividad de los pasos de radiofrecuencia y frecuencia intermedia, de la selectividad del demodulador y de la respuesta amplitud/frecuencia de los pasos de audiofrecuencia. Esta dificultad se ha superado parcialmente merced al método de medición objetiva con dos señales. Si bien este método es bastante exacto, se ha revelado demasiado complejo para un uso generalizado, por ejemplo, por parte de los fabricantes de receptores.

No obstante, pueden utilizarse los métodos numéricos citados anteriormente para establecer el nexo entre los valores de selectividad de los receptores dados por los fabricantes y las relaciones de protección de radiofrecuencia. Si bien los cálculos son complicados y requieren un computador electrónico contrariamente al método de mediciones objetivas, permiten determinar la respuesta de frecuencia global del receptor para una determinada curva de la relación de protección en radiofrecuencias.

4. Principio general de los métodos no subjetivos

Todos los métodos no subjetivos suponen características normalizadas en la transmisión y en la recepción, como se indica en el Informe 399-2.

En los problemas de interferencia existen dos clases de perturbación:

- la diafonía del canal interferente en el canal deseado, causada por la señal de modulación, y
- el batido producido entre ambas portadoras.

La perturbación causada por el batido predomina cuando la separación entre las portadoras está comprendida entre 0,25 y 6 kHz, al menos en la mayoría de los receptores actuales.

5. Datos sobre las relaciones de protección

Los valores generalmente admitidos para la relación de protección en radiofrecuencia figuran en las Recomendaciones 448-1 y 449-2. El Informe 457-1, trata de los efectos que tiene la limitación de la banda de paso en la transmisión sobre las relaciones de protección en radiofrecuencia. La información que figura en los documentos se refiere explícita o, en el caso de la Recomendación 449-2(Rev.74) especialmente a la radiodifusión sonora en las bandas 5 (0. km) y 6 (0. hm). En los puntos / Belger y Rautenfeld, 1958; Liedtke, 1965 /, figura más información sobre las relaciones de protección. Los datos relativos a la radiodifusión en la banda 7 (0. dam) se encuentran en las Recomendaciones 261-1 y 411-1. Las curvas del Informe 302 representan los datos sobre la Cuestión 27/10 y del Programa de estudios 27C/10, y se refieren esencialmente a la relación de protección RF en la zona tropical para un servicio de radiodifusión en las bandas compartidas.

5.1 Relaciones de protección en radiofrecuencia para los servicios por onda directa

5.1.1 Señal deseada y señal interferente estables (señal deseada en onda directa interferida por otra señal en onda directa)

En la Recomendación 448-1 se indica un valor de 40 dB en ondas kilométricas y hectométricas para las transmisiones en el mismo canal.

Este valor de relación de protección radiofrecuencia asegurará una elevada calidad de recepción. Sin embargo, en la planificación será quizás necesario adoptar valores más bajos. Este problema ha sido estudiado por la U.E.R. / Doc. 10/226 / y por el Japón / Doc. 10/286 (U.E.R.), 1970-1974 /. Los valores propuestos son 30 dB y 26 dB, respectivamente.

Los valores relativos de las relaciones de protección en las frecuencias radioeléctricas, en función de la separación entre las portadoras interferente y útil figuran en la Recomendación 449-2, en forma de curvas. Estas curvas se basan, en parte, en mediciones realizadas con arreglo al método objetivo de dos señales y en parte en cálculos (véase el Informe 399-2). También puede observarse en las curvas la influencia de la comprensión de la dinámica. Sin embargo, debe señalarse que el mejoramiento de protección máxima resultante de la limitación de la banda de paso sólo se observa si la no linealidad del transmisor es suficientemente reducida.

5.1.2 Señal deseada estable y señal interferente fluctuante / Belger y otros, 1965 /

5.1.2.1 Desvanecimientos de corta duración

Los desvanecimientos de la señal interferente modifican el carácter de la molestia experimentada por el oyente; si, con un valor determinado de la relación señal deseada/señal interferente en audiofrecuencia, la señal interferente está sometida a fluctuaciones, la molestia se considera

subjetivamente mayor. Los Docs. X/5 (U.E.R.), X/31 (República Federal de Alemania), y X/36 (Francia), 1963-1966, indican que, para obtener el mismo grado de satisfacción del oyente, la protección debe aumentarse en este último caso unos 5 dB.

En la Recomendación 448-1 este valor está incluido en la relación de protección en radiofrecuencia.

5.1.2.2 Variaciones de larga duración de la intensidad de campo

El Informe 264-3 indica en el § 4 una fórmula que permite determinar la relación entre dos campos fluctuantes transmitidos por la ionosfera.

En el caso considerado, esta fórmula pasa a ser (con ciertas simplificaciones de forma):

$$R(T) = F_{ou} - F_{on}(50) - \delta_H(100 - T) - \Delta_H(50) \quad (1)$$

donde

$R(T)$ es la relación (dB) de las dos intensidades de campo excedidas durante $T\%$ de las noches de un año;

F_{ou} es la intensidad de campo de la onda de superficie de la señal deseada;

$F_{on}(50)$ es la intensidad de campo de la onda ionosférica de la señal interferente a medianoche local en el punto medio del trayecto de propagación, excedida durante el 50% de las noches del año;

$\Delta_H(50)$ es el factor de corrección que hay que aplicar al campo F_{on} para tener en cuenta la hora en el punto medio del trayecto;

$\delta_H(T)$ es el factor de corrección que hay que aplicar al campo F_{on} para tener en cuenta el porcentaje T de las noches de un año, a las H horas (hora local) en el punto medio del trayecto.

Los valores de $\Delta_H(50)$ y de δ_H se dan respectivamente, en las Figs. 6 y 7 del Informe 264-3, para la zona europea de radiodifusión.

Para asegurar una protección correspondiente a una relación de protección de A (dB), debe cumplirse la condición:

$$A \leq R(T) \quad (2)$$

5.2 Relaciones de protección para los servicios que utilizan la onda ionosférica

Una de las características de los servicios por onda ionosférica, sobre todo cuando la recepción se hace con demoduladores de envolvente, es que los efectos de propagación reducen generalmente la calidad de la señal recibida provocando, por ejemplo, una distorsión en caso de desvanecimientos selectivos. Consiguientemente, se estima que, para un servicio por onda ionosférica, es posible aplicar relaciones de protección menores que para un servicio por onda de superficie, variando los valores precisos según se trate de un servicio primario, como la radiodifusión en la banda 7 (ondas decamétricas) o de un servicio secundario, como la radiodifusión en la banda 5 (ondas kilométricas) y en la banda 6 (ondas hectométricas), en los que el servicio primario se asegura normalmente con la onda de superficie.

En la Recomendación 448-1 no se aconseja valor alguno para las bandas 5 (ondas kilométricas) y 6 (ondas hectométricas) para un servicio por onda indirecta. Como resultado de los estudios hechos por la U.E.R. [Doc. 10/226, (U.E.R.), 1970-1974], se ha propuesto un valor de 27 dB. Sin embargo, se dispone de muy poca información sobre este aspecto de la radiodifusión, y se ruega encarecidamente a las administraciones que inicien nuevos estudios.

5.3 Datos utilizados por la I.F.R.B.

Para los exámenes técnicos de las notificaciones de frecuencia realizados en cumplimiento del artículo 9 del Reglamento de Radiocomunicaciones, la I.F.R.B. utiliza los valores de relaciones de protección y de discriminación de los receptores contenidos en sus Normas técnicas, serie A, cuarta edición, 1968.

6. Evaluación subjetiva de la calidad de recepción

El Doc. X/53 (U.R.S.S.), Bad Kreuznach, 1962, da los resultados de las pruebas estadísticas y subjetivas efectuadas en la Unión Soviética sobre los efectos de la distorsión y de las interferencias en un canal de radiodifusión.

Los ensayos se efectuaron empleando un método subjetivo basado en estadísticas con ayuda de un equipo especial que permitía comparar una reproducción sonora exenta de distorsión con otra en la que se había introducido previamente una determinada distorsión.

Estas experiencias tenían por objeto determinar la perceptibilidad de la distorsión; participaron en ellas los siguientes grupos de auditores:

- expertos calificados (ingenieros de sonido de la radiodifusión);
- observadores sin formación musical especial ni adiestramiento en materia de apreciación de las distorsiones.

Los resultados de las experiencias se han publicado en forma de gráficos, que indican el porcentaje de perceptibilidad en función del nivel de distorsión o de interferencia introducido.

Los ensayos están basados en numerosos datos estadísticos. La coherencia de los datos obtenidos se ha comprobado por métodos estadísticos matemáticos. Los resultados se han expuesto (véase el Doc. X/53 (U.R.S.S.), Bad Kreuznach, 1962) en función:

- de diferentes tipos de distorsión lineal (a diversos niveles y para diferentes gamas de frecuencia);
- de distorsiones no lineales (cúbica, cuadrática y del tipo de "corte central");
- del ruido de fondo (sinusoidal), y
- del ruido blanco.

El mismo documento contiene un sistema de clasificación de la calidad de la recepción.

Se recomienda distinguir cuatro clases de calidad de reproducción sonora, que se diferencian por el grado de perceptibilidad de las distorsiones y de las interferencias (véase el Doc. X/53).

En Japón (1973) se han realizado pruebas subjetivas similares cuyos resultados se indican en el Doc. 10/286 (Japón) 1970-1974. De este documento se ha derivado la conclusión de que una relación de protección en radiofrecuencia de 26 dB satisface al 66,7% aproximadamente de los oyentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELGER, E., y von RAUTENFELD, F. [1958]: Der erforderliche Gleichkanal - und Nachbarkanal-Störabstand beim amplitudenmodulierten Tonrundfunk (Relaciones de protección para las emisiones en el mismo canal y en el canal adyacente, en radiodifusión con modulación de amplitud). Rundfunktechnische Mitteilungen, 2, 172-177.
- BELGER, E., von RAUTENFELD, F., y VOGT, K. [abril de 1965]: Rapport signal/brouilleur exigé en radiodiffusion à modulation d'amplitude en présence d'un brouillage variable dans le temps. Revue de l'U.E.R., Partie A - Technique, 90, 69-72.

- GRÖSCHEL, G. [1971]: Out-of-band radiation and its influence on the adjacent channel with amplitude-modulated sound broadcasting.
Nachrichtentechnische Fachberichte, 41, 41-49.
- LIEDTKE, G.R. [avril de 1965]: Influence des caractéristiques du récepteur et de la largeur de bande émise sur le rapport signal/brouilleur HF en radiodiffusion à modulation d'amplitude.
Revue de l'U.E.R., Partie A - Technique, 90, 65-68.
- PARREAU, D. [agosto de 1972]: Détermination graphique du rapport de protection en ondes hectométriques et kilométriques (modulation d'amplitude).
Revue de l'U.E.R. - Technique, 134, 163-167.
- PETKE, G. [octobre de 1973]: Calcul du rapport de protection RF en modulation d'amplitude.
Revue de l'U.E.R. - Technique, 141, 227-234.
-

INFORME 400-2*

RADIODIFUSIÓN SONORA EN ONDAS
KILOMÉTRICAS, HECTOMÉTRICAS Y DECAMÉTRICAS (BANDAS 5, 6 Y 7)

Factores que limitan la zona de servicio en
ondas hectométricas (banda 6)**

(Programa de estudios 25F-1/10)

(1966-1970-1974)

1. Introducción

Las redes de transmisores de radiodifusión deben estar organizadas para cubrir la zona de servicio con un número mínimo de frecuencias.

En el plano puramente técnico, la zona de servicio de cada transmisor depende de distintos parámetros, por ejemplo: potencia de transmisión, intensidad mínima de campo utilizable, relación de protección en radiofrecuencia, distancia entre los transmisores que utilizan el mismo canal, separación de canales, conductividad del suelo y frecuencia de transmisión.

Las zonas de servicio varían mucho según el tipo de servicio considerado, que puede efectuarse por onda de superficie durante el día y por onda ionosférica durante la noche.

En Francia y en la República Federal de Alemania se han efectuado estudios en el marco de las actividades de la Unión Europea de Radiodifusión [Eden y Minne, 1969]. Una de las principales cuestiones objeto de estudio ha consistido en determinar la influencia sobre la "cobertura" de la relación de protección en radiofrecuencia y de la distancia entre transmisores que utilizan el mismo canal.

Nuevos estudios realizados por la Unión Europea de Radiodifusión (U.E.R.) [U.E.R., mayo de 1974; Eden y Minne, 1973] y en Japón [véase el Doc. 10/306 (Japón), 1970-1974] han tratado de la influencia de la separación entre canales en la zona de servicio.

* Adoptado por unanimidad.

** Los aspectos de la cobertura del servicio de radiodifusión en ondas hectométricas que conciernen la explotación se analizan con mayor detalle en el Informe 616.

2. Cobertura en función de la distancia

2.1 Definición e hipótesis básicas

En ausencia de ruido, dos transmisores que trabajan en la misma frecuencia, con igual potencia P kW y distantes entre sí de D km, tienen una zona de servicio R km que depende de la relación de protección en radiofrecuencia A dB, pero que es independiente de la potencia de transmisión. Existiendo ruido, la zona de servicio depende igualmente de la potencia de transmisión.

El factor de cobertura, c , se puede definir como la relación entre la suma de todas las superficies, S_n , cubiertas por cada transmisor que trabaja en la misma frecuencia en una zona muy extensa S y la superficie total de servicio:

$$c = \sum S_n / S = (2\pi / \sqrt{3}) (R^2 / D^2) \text{ (zona de servicio por canal)}$$

La cantidad R^2 / D^2 resulta, por consiguiente, proporcional al factor de cobertura.

El factor de cobertura así definido corresponde a la cobertura por canal. Se expresa normalmente en %. Si este factor para el conjunto de canales de la banda 5 (ondas hectométricas) excede la unidad (100%), este número representa la media del número de programas que en estas condiciones pueden recibirse en cualquier punto de la zona.

Para establecer las curvas que dan la variación de $10^3 / R^2 / D^2$ o c en función de la distancia D , tomando A o P como parámetros, se han hecho las hipótesis siguientes:

- transmisores de igual potencia;
- curvas de propagación por onda de superficie de la Recomendación 368-2;
- campo indirecto que se considera: mediana anual de las medianas horarias a medianoche;
- curvas de propagación indirecta deducidas de la Fig. 2 del Informe 264-3, extrapoladas más allá de 3.500 km (Fig. 1 del presente Informe).

Esta extrapolación se ha hecho de diferentes maneras:

- prolongando las curvas mediante la fórmula (1a) del § 2. del Informe 264-3 (propagación tipo N.º 1);
- reduciendo a la mitad la pendiente media de las curvas existentes cada 500 km a partir de 3.500 km (propagación tipo N.º 2);

- tomando una curva intermedia entre las dos primeras (propagación tipo N.^o 3);
- la curva de propagación de la onda ionosférica: El Cairo (N/S) [C.C.I.R., 1938] (propagación tipo N.^o 4);
- la curva de propagación de la onda ionosférica: U.R.S.S. [Udaltsov y Schlyuger, 1972] para 1 MHz y una latitud geomagnética de 25,4^oN (propagación tipo N.^o 5).

No se ha aplicado a los valores de la intensidad de campo obtenidos a partir de las curvas ningún factor de corrección para tener en cuenta el diagrama de radiación vertical de la antena transmisora, la inclinación magnética, el número de manchas solares, etc.

Nota: Con arreglo a mediciones en ondas kilométricas y hectométricas efectuadas en la U.R.S.S. [Vilensky y otros, 1969; Täumer y Müller, 1965], las intensidades de campo a distancias superiores a 2.000 km, especialmente en ondas hectométricas, son netamente más elevadas que las deducidas de las curvas del Informe 264-3. Un resumen de estas observaciones figura en el Informe 431-1.

2.2 Resultados

2.2.1 Tierra plana

Las curvas de las Figs. 2, 3 y 4 se incluyen a título de ejemplo para 1 MHz. Las figuras se basan en las mismas hipótesis: no hay más que una estación interferente y se ha calculado la zona de servicio en las condiciones más desfavorables, es decir, en la línea recta que une el transmisor deseado con el transmisor interferente. Las figuras ilustran la relación de dependencia entre la cobertura y la distancia que separa a los transmisores que trabajan en la misma frecuencia.

Se aplica la Fig. 2 cuando el servicio en onda de superficie está limitado por la onda ionosférica del transmisor interferente, y cuando en ausencia de ruido, la zona de servicio no depende de la potencia de transmisión; el parámetro que se indica en las curvas es la relación de protección en radiofrecuencia A. Se ha indicado también, en dB por encima de 1 μ V/m, la intensidad de campo F_1 del transmisor deseado en el límite de la zona de servicio, para una potencia de transmisión de 1 kW con una antena teórica corta. Por ejemplo, un punto de intersección de una curva de trazos largos para $F_1 = 40$ dB, con una curva $R^2/D^2 = f(D)$, para $A = 25$ dB, significa que con los transmisores a D km de distancia (abscisa del punto de intersección), y con la relación de protección $A = 25$ dB, la intensidad de campo en el límite de la zona en que la relación de protección es ≥ 25 dB será 0,1 mV/m.

La Fig. 2 muestra que:

- el factor de cobertura decrece primeramente cuando D aumenta y pasa por un mínimo hacia unos 1.500 km. Sin embargo, no resulta posible en la práctica alcanzar valores relativamente elevados del factor de cobertura para distancias cortas entre transmisores, puesto que cabe esperar interferencias de más de un transmisor.
- el factor de cobertura crece para distancias superiores a 1.500 km y de hasta 4.000 km, por lo menos;
- más allá de 4.000 km, la variación de este factor de cobertura depende de las condiciones de propagación. En caso de una propagación del tipo N.° 3, esta variación es pequeña, al menos para las relaciones de protección en radiofrecuencia elevadas.
- la forma general de las curvas, aunque muy variable con el tipo de propagación más allá de 3.500 km, es prácticamente independiente de la conductividad del suelo y de la frecuencia;
- la distancia óptima de separación depende en gran medida del tipo de propagación, pero muy poco de la relación de protección en radiofrecuencia.

Las Figs. 3 a 4 [Suzuki y otros, 1974] muestran la influencia de la potencia de transmisión P (parámetro indicado en las curvas) en presencia de ruido para el valor de A = 40 dB y 26 dB respectivamente de la relación de protección en radiofrecuencia. Se da el factor de cobertura, c, en escala logarítmica para poder comparar entre los cinco ejemplos siguientes:

- servicio por onda de superficie con interferencia por onda de superficie (de día); conductividad del suelo $\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m; curvas A; véanse las Figs. 3 y 4;
- servicio por onda de superficie con interferencia por onda ionosférica (de noche); conductividad del suelo $\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m; propagación tipo N.° 1: curvas B₁, véanse las Figs. 3 y 4; propagación tipo N.° 4: curvas B₂, Fig. 3; propagación tipo N.° 5: curvas B₂, Fig. 4;
- servicio por onda ionosférica con interferencia por onda ionosférica (de noche), propagación tipo N.° 1, curvas C₁, propagación tipo N.° 4, curvas C₂, véanse las Figs. 3 y 4;

Las Figs. 3 y 4 muestran que, en presencia de ruido:

- la distancia óptima de separación entre transmisores del mismo canal varía considerablemente con la potencia de transmisión;
- la distancia óptima de separación es totalmente distinta de día que de noche;
- la distancia óptima de separación no es muy distinta de noche para el servicio por onda de superficie o por ondas ionosféricas;
- la cobertura es más débil cuando el servicio por onda de superficie queda interferido por la onda ionosférica del transmisor interferente;
- para los transmisores de gran potencia por lo menos ($P \geq 30$ kW), el servicio por onda ionosférica dará una cobertura comparable a la del servicio por onda de superficie durante el día.
- se reduce considerablemente la cobertura cuando se aplican las propagaciones tipo N.^{OS} 4 y 5;
- se reduce también considerablemente durante la noche la cobertura de la onda de superficie cuando se aplican las propagaciones tipo N.^{OS} 4 y 5. En este caso, los máximos de cobertura son menos pronunciados o casi desaparecen en comparación con los obtenidos mediante la propagación tipo N.^o 1.
- para distancias cortas la cobertura de la onda de superficie durante la noche aumenta al disminuir la separación entre emisores del mismo canal casi independientemente del tipo de propagación de la onda de superficie. Este efecto permite una mayor cobertura para distancias inferiores entre emisores del mismo canal, en tanto que el alcance de servicio se reduce a sólo unos pocos kilómetros.

2.2.2 Tierra esférica

En el caso de interferencia por ondas ionosféricas ya sea en el servicio por onda de superficie o bien en el servicio por ondas ionosféricas, las distancias más adecuadas entre los transmisores que trabajan en un mismo canal, son del orden del radio de la Tierra, de modo que es preciso tener en cuenta la forma esférica de la Tierra. Así se ha hecho en el documento de referencia [Eden y Minne, 1969], donde se ha estudiado únicamente el caso del servicio por onda de superficie, habiéndose tenido en cuenta la interferencia eventual de los transmisores más próximos, todos ellos equidistantes y trabajando en la misma frecuencia.

Se ha tratado de cubrir una esfera mediante una red de triángulos esféricos equiláteros. Puede demostrarse, que esto puede conseguirse sustituyendo, en una primera aproximación, la esfera por un poliedro: entre ellos, el tetraedro, el octaedro y el icosaedro, dan superficies formadas por 4, 8 y 20 triángulos equiláteros, respectivamente. Estos triángulos pueden extenderse sobre una superficie plana, pudiéndose conseguir entonces sin dificultad una distribución lineal de los canales.

Sin embargo, cuando se reconstruyan los poliedros, ciertos triángulos tendrán vértices o lados comunes con otros triángulos, de los que estaban separados en el desarrollo sobre el plano. En estos grupos de triángulos la distribución de canales no es necesariamente lineal, por lo que existirán restricciones en la utilización de los canales que figuren en estos triángulos. El porcentaje máximo de triángulos no utilizables, en relación con el número total, será, como máximo, del 40% en el caso del icosaedro, del 25% en el caso del octaedro y del 50% en el caso del tetraedro. Ahora bien, en la mayoría de los casos pueden no tenerse en cuenta estos triángulos, puesto que la Tierra ocupa solamente un tercio de la superficie del globo. Por consiguiente, siempre es posible utilizar los resultados obtenidos considerando redes planas.

Suponiendo que se emplease un 50% de los triángulos para cubrir las zonas sumergidas, cada canal puede repetirse un número de veces igual a la cuarta parte del número de triángulos. Entonces puede indicarse, en una sola figura, la relación entre el número de transmisores b , la distancia entre transmisores que trabajan en el mismo canal D , la potencia necesaria de los transmisores P , y el factor de cobertura c (véase la Fig. 5). Se observará que, fijando el valor de uno de estos parámetros quedan determinados los demás. Al emplear esta figura, no debe olvidarse que se trata de una aproximación.

Utilizando las mismas hipótesis que en el caso anterior, se ha calculado en un estudio complementario, el efecto de la relación de protección en radiofrecuencia sobre el factor de cobertura. Los resultados se indican en la Fig. 6 y ponen de manifiesto que el factor de cobertura aumenta más rápidamente cuando los valores de la relación de protección en radiofrecuencia disminuyen, si la distancia entre los transmisores que trabajan en la misma frecuencia es reducida. Por ejemplo, para 3.000 km, el factor de cobertura es 100 veces mayor cuando la relación de protección en radiofrecuencia es de 20 dB que cuando es de 40 dB.

2.3 Conclusiones

En la Fig. 5 se indican los principales resultados de los estudios citados. Si bien estos estudios son puramente teóricos y se sabía poco en ese momento sobre la propagación más allá de 3.500 km (se han hecho desde entonces nuevos trabajos, véase al respecto el Informe 575), existe una correlación entre los parámetros indicados en la Fig. 5.

En particular, no puede soslayarse el hecho de que el número de transmisores que pueden funcionar en el mismo canal es inversamente proporcional a la distancia que los separa. También es cierto, al menos por lo que respecta a la onda ionosférica, que el factor de cobertura aumenta con la distancia entre los transmisores que trabajan en la misma frecuencia, para distancias inferiores a los 5.000 km, aproximadamente. Por consiguiente, los valores precisos del factor de cobertura pueden considerarse algo inferiores, a causa de las interferencias suplementarias (canales adyacentes, por ejemplo) o campos más intensos procedentes de transmisores muy distantes o efectos análogos.

Conviene observar que en el caso de interferencia de la onda de superficie por la onda ionosférica, la cobertura es inferior.

Sin embargo, existen procedimientos que permiten mejorar la cobertura, por ejemplo, la utilización de redes sincronizadas y, en algunos casos, el empleo de antenas directivas en la transmisión, (véase el Informe 616).

3. Factor de cobertura en función de la separación entre canales

3.1 Hipótesis fundamentales

Se ha estudiado la influencia que ejerce la separación entre canales en la cobertura nocturna de las ondas hectométricas ionosféricas y de superficie para separaciones de 5 a 10 kHz. Se ha tenido en cuenta la totalidad de las Zonas Europea y Africana de radiodifusión ($42 \times 10^6 \text{ km}^2$), suponiendo constante el número de asignaciones de frecuencia. La superficie total de cobertura se calculó para diversas hipótesis y se presentó con cierto número de curvas, en las cuales el factor de cobertura se indicaba en función de separaciones entre canales de 5 a 10 kHz, utilizándose como parámetros diversos valores del número total de asignaciones de frecuencia.

3.2 Servicio nocturno por onda de superficie

Se han llevado a cabo en Japón estudios sobre la cobertura de la onda de superficie. Los resultados que se exponen en la Fig. 7 muestran que la cobertura máxima se obtiene con una separación entre canales de unos 8 kHz casi independientemente del número de asignaciones dentro de la zona de que se trate. El valor absoluto de la cobertura no depende decisivamente del número de asignaciones.

3.3 Servicio por onda ionosférica

Se han efectuado estudios semejantes en la República Federal de Alemania para la cobertura por la onda ionosférica. Los resultados se indican en la Fig. 8. También en este caso la cobertura máxima se obtiene con una separación entre canales de unos 8 kHz. Sin embargo, el valor de la cobertura depende decisivamente del número de asignaciones en la zona de que se trate.

3.4 Conclusiones

Los resultados muestran que, con relación a la situación actual (empleo casi general de las separaciones de 9 kHz ó 10 kHz), se obtendría una cobertura mejor con una separación de 8 kHz. Este resultado se basa en estudios efectuados mediante una red regular de transmisores y asignaciones experimentales en las zonas Europea y Africana de radiodifusión.

Tal vez sea posible explicar los resultados de un valor óptimo único de 8 kHz en prácticamente todos los casos con ayuda de la Fig. 9.

Si en una determinada zona S son necesarias N asignaciones de frecuencia a transmisores (o grupos sincronizados) en la banda 6 (ondas hectométricas) y si sólo ha de tomarse en cuenta la interferencia en el mismo canal, la cobertura aumenta al disminuir la separación entre canales, lo que permite aumentar el número de canales disponibles. Es lógico que en ese caso, la separación media entre canales comunes aumente también (curva A de la Fig. 9) y que la interferencia se reduzca en la misma medida. Resultarían preferibles, por tanto, valores reducidos de la separación entre canales.

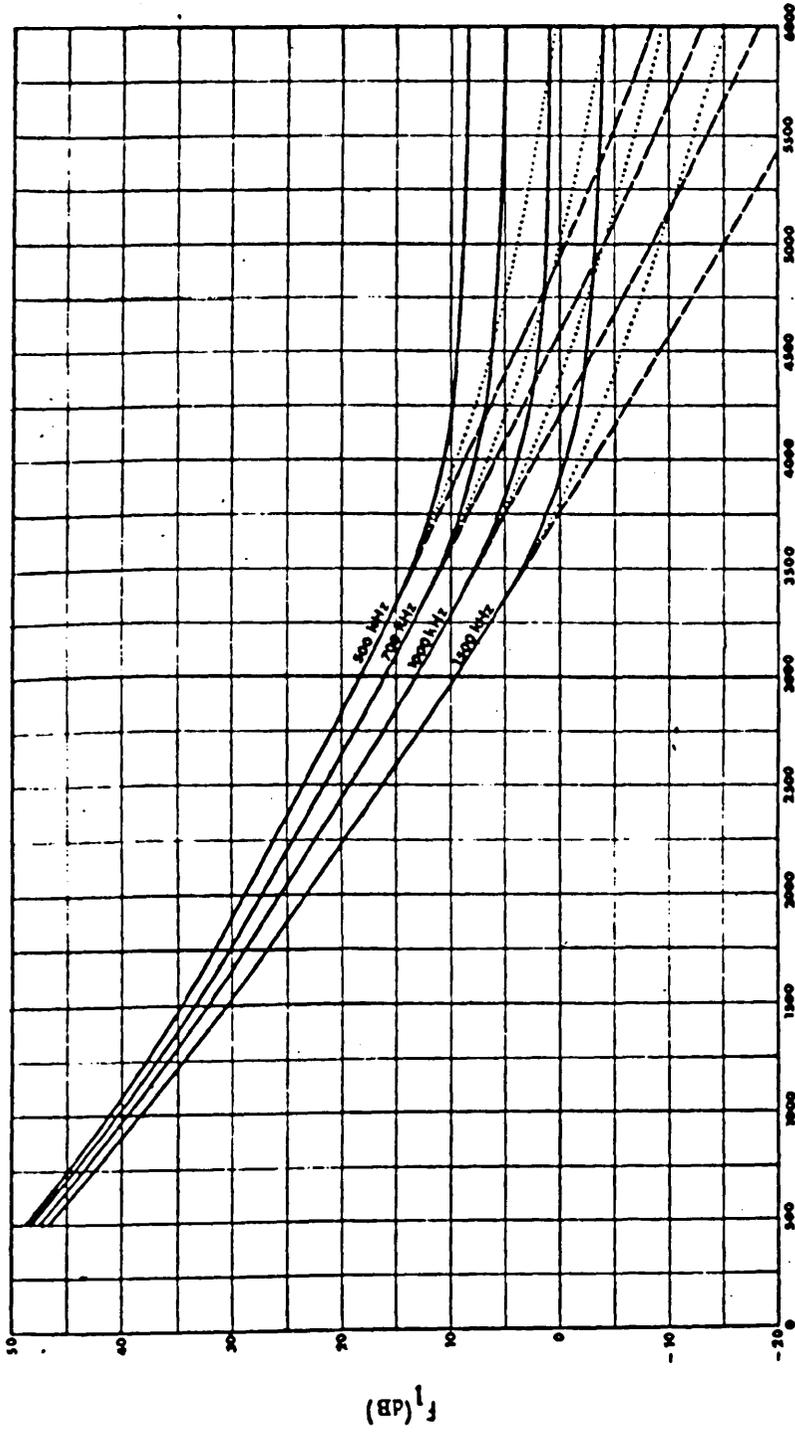
Sin embargo, si hubiera que tener en cuenta las interferencias entre canales adyacentes en lugar de entre canales comunes, en el caso de que los demás parámetros no cambiaran, aumentaría la interferencia y, por consiguiente, disminuiría la cobertura al disminuir la separación entre canales (curva B de la Fig. 9). Por lo tanto, serían convenientes en este caso valores más elevados de la separación entre canales.

Sin embargo, en la práctica han de considerarse ambos tipos de interferencia y es natural que la curva de cobertura resultante, en función de la separación entre portadoras, esté situada por debajo de las dos curvas antes examinadas. Además, la forma de las dos curvas que marcan los límites indica que es muy probable que la curva que representa la cobertura resultante tenga un máximo (curva C de la Fig. 9).

Se ha demostrado mediante un nuevo estudio que la separación entre canales correspondiente a una cobertura máxima depende principalmente de la curva de la relación relativa de protección en radiofrecuencia y corresponde a un valor relativo de aproximadamente $A_{rel} = -20$ dB.

Se ha demostrado también que, para la Zona Europea de radiodifusión, en la situación actual, para los transmisores de gran potencia (≥ 100 kW), la interferencia en el mismo canal es superior en más de 10 dB a la interferencia en el canal adyacente. Ello muestra también que la separación podría reducirse a menos de 9 kHz, lo cual proporcionaría un número mayor de canales que permitiría mayor separación entre transmisores trabajando en el mismo canal sin que se registrara interferencia excesiva en los canales adyacentes.

Estudios llevados a cabo en la U.R.S.S. han demostrado la utilidad de mantener una separación entre canales de 9 kHz.

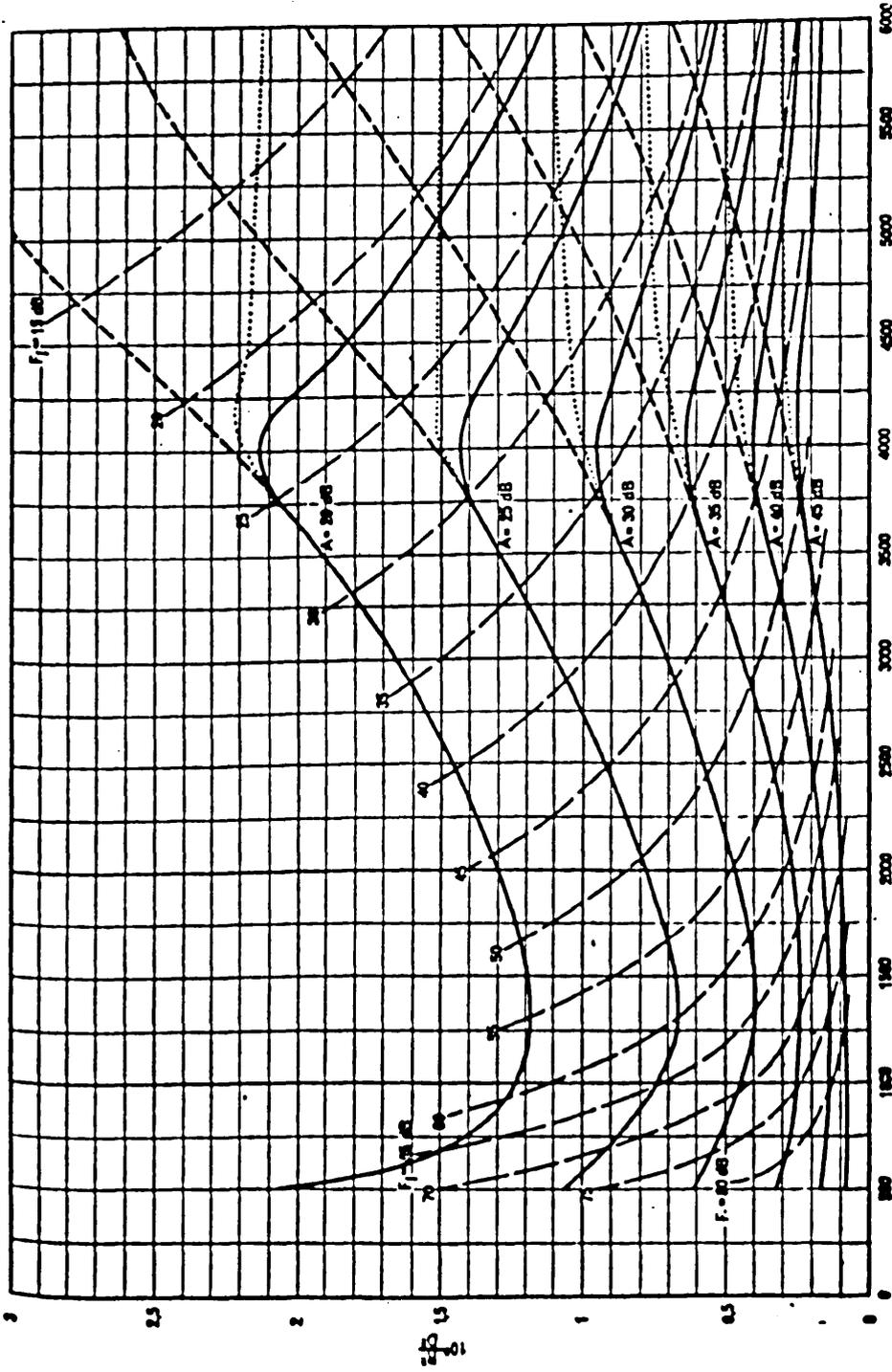


Distancia, D , (km) ↑
Límite de las curvas del Informe 264-3

FIGURA 1

Curvas de propagación ionosférica (Informe 264-3)

— Propagación tipo N.º 1 — Propagación tipo N.º 2 Propagación tipo N.º 3



Distancia, D, (km)

FIGURA 2

Factor de cobertura

$$\sigma = 3.10^{-4} \text{ S / m} \quad f = 1 \text{ MHz}$$

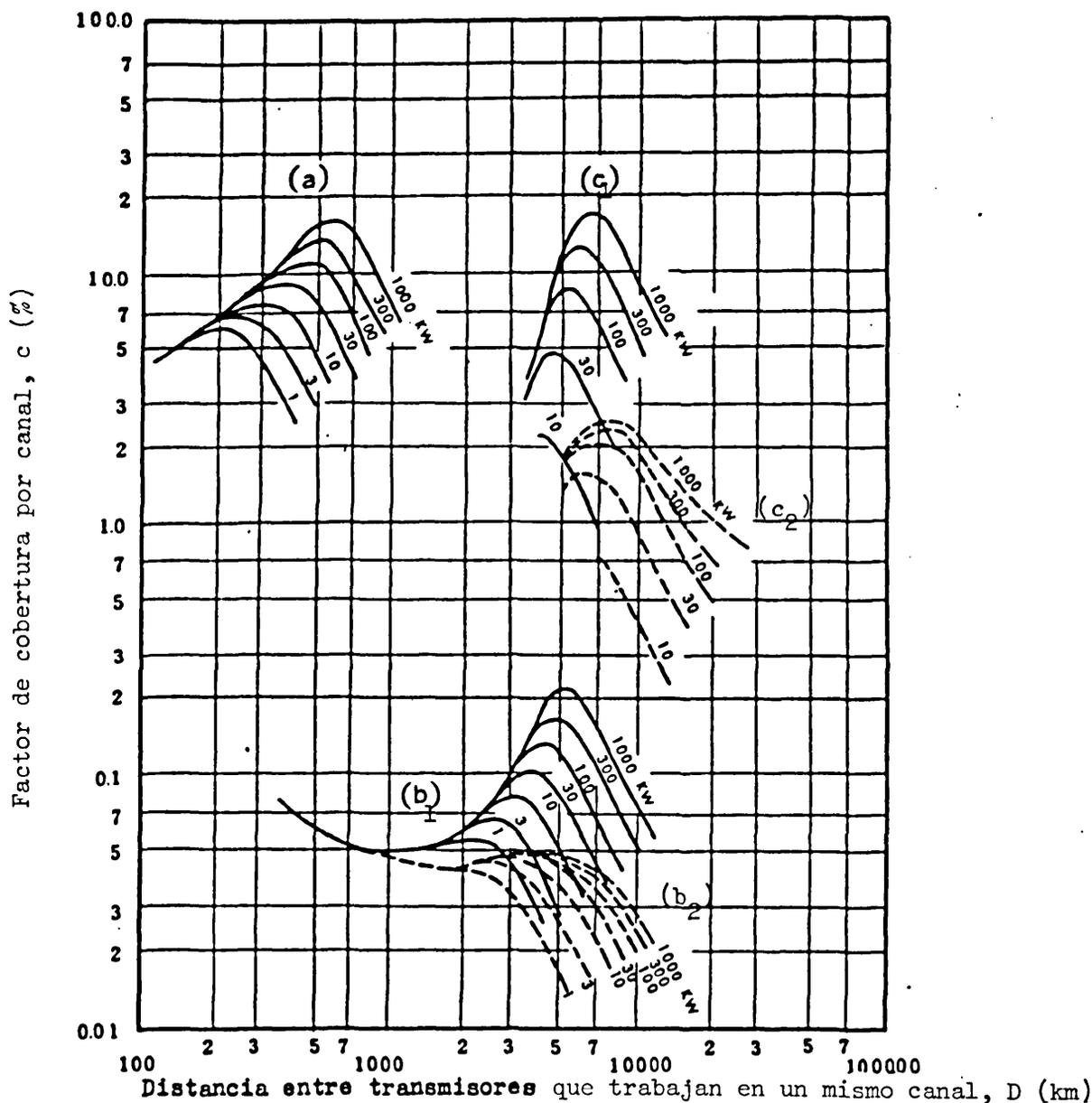


FIGURA 3

Factor de cobertura por canal C, en función de la distancia D, entre transmisores que trabajan en un mismo canal, para diversas curvas de propagación

- A: Servicio diurno por onda de superficie
 - B: Servicio nocturno por onda de superficie
 - C: Servicio nocturno por onda ionosférica
- (La potencia radiada, P , (kW) es constante cualquiera que sea el ángulo de elevación.)

Curva de propagación

Onda de superficie: Recomendación 368-1 ($\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m)

Onda ionosférica : ————— Informe 264-2 (Rev. 74)

----- EL CAIRO (N/S)

Frecuencia f : 1 000 kHz

Relación de protección RF A : 40 dB

Intensidad de campo mínima F_{\min} : 61 dB

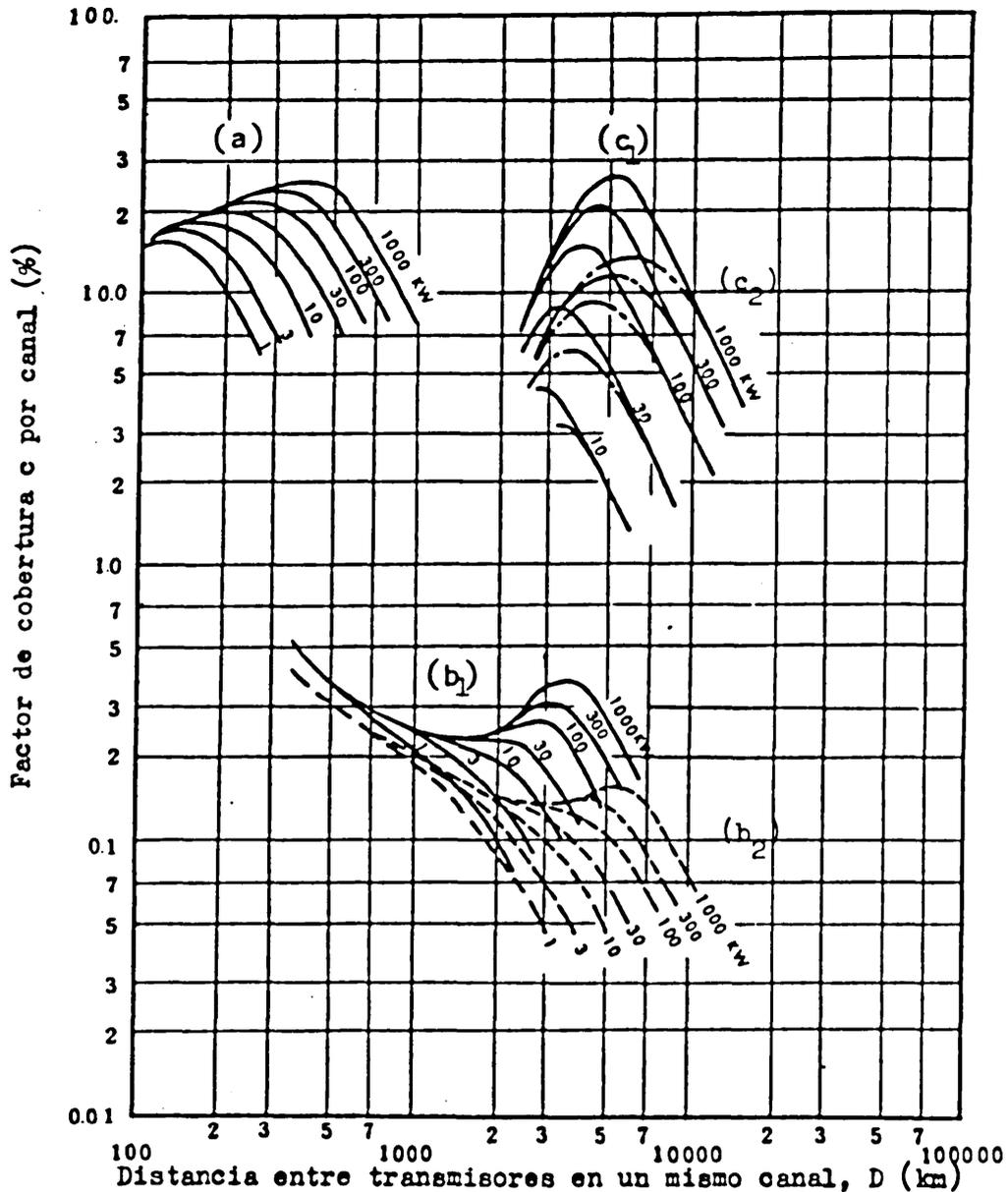


FIGURA 4

Factor de cobertura por canal C, en función de la distancia D, entre transmisores que trabajan en un mismo canal, para diversas curvas de propagación

- A: Servicio diurno por onda de superficie
 - B: Servicio nocturno por onda de superficie
 - C: Servicio nocturno por onda ionosférica
- (La potencia radiada, P, (kW) es constante cualquiera que sea el ángulo de elevación.)

Curva de propagación

Onda de superficie: Recomendación 368-2 ($\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m)
 Onda ionosférica : Informe 264-3
 - - - - - U.R.S.S.
 - - - - - EL CAIRO (N/S)

Frecuencia f : 1 000 kHz
 Relación de protección RF A : 26 dB
 Intensidad de campo mínima $F_{\text{mín}}$: 61 dB

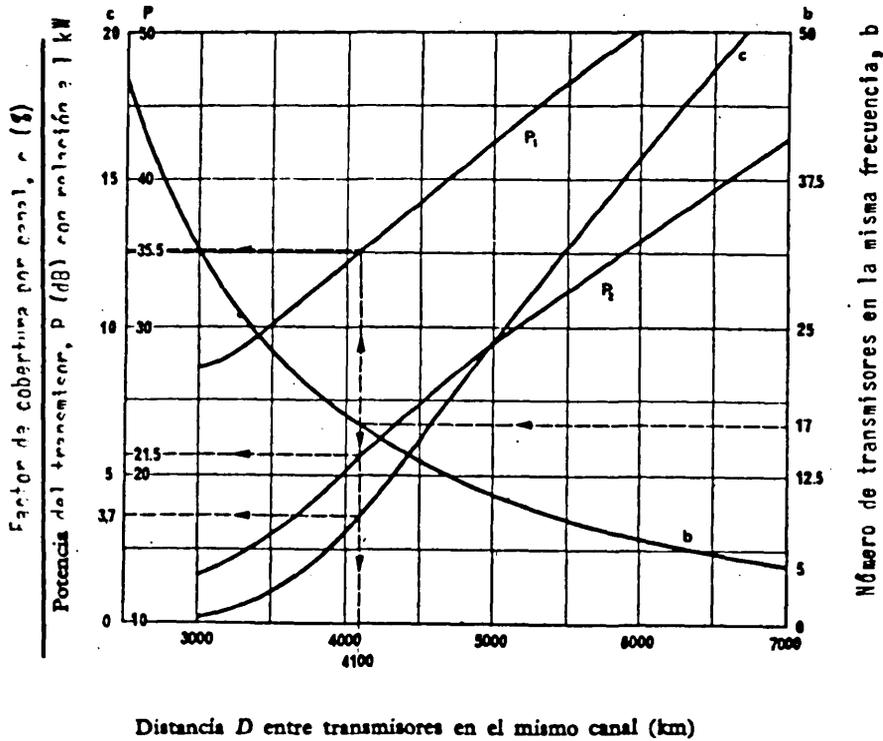


FIGURA 5

Número b de transmisores, potencia P del transmisor y factor c de cobertura por transmisor en función de la distancia D entre transmisores en la misma frecuencia

Curva P_1 : potencia del transmisor (dB con relación a 1 kW) para $F_{min} = 74$ dB ($\mu V/m$);

P_2 : potencia del transmisor (dB con relación a 1 kW) para $F_{min} = 60$ dB ($\mu V/m$);

b : número de transmisores en el mismo canal;

c : porcentaje del factor de cobertura por canal;

Relación de protección en radiofrecuencia: 40 dB

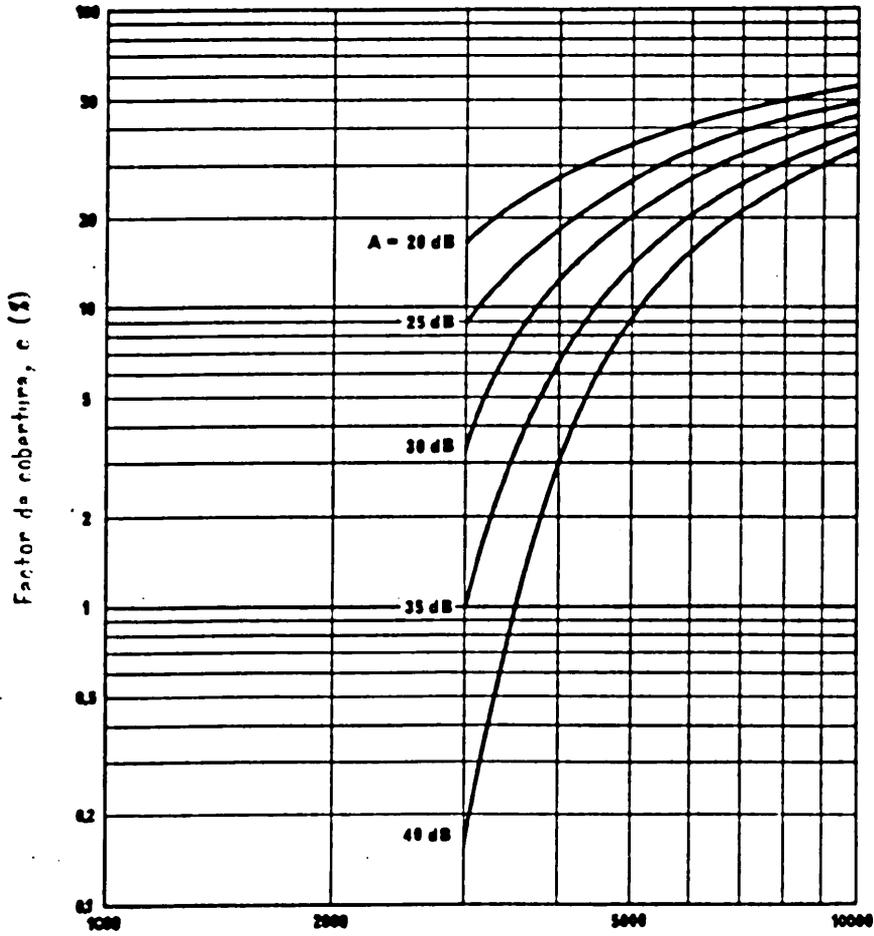
Frecuencia f : 1 MHz.

Ejemplo:

Si el número b de transmisores que comparte el mismo canal es 17, la distancia D entre los transmisores de este canal será de 4100 km, el factor c de cobertura será de 3,7% y la p.a.r.v. de cada transmisor para que la cobertura quede limitada por las interferencias (más bien que por el ruido) - será de:

$$P = 21,5 \text{ dB con relación a 1 kW para } F_{min} = 60 \text{ dB con relación a } 1 \mu V/m, \text{ o}$$

$$P = 35,5 \text{ dB con relación a 1 kW para } F_{min} = 74 \text{ dB con relación a } 1 \mu V/m$$



Distancia entre transmisores que trabajan en un mismo canal, D (km)

FIGURA 6

Factor de cobertura, c , para una Tierra esférica en función de la distancia entre transmisores, D , con la relación de protección en radiofrecuencia, A (dB) como parámetro

Frecuencia: 1 MHz

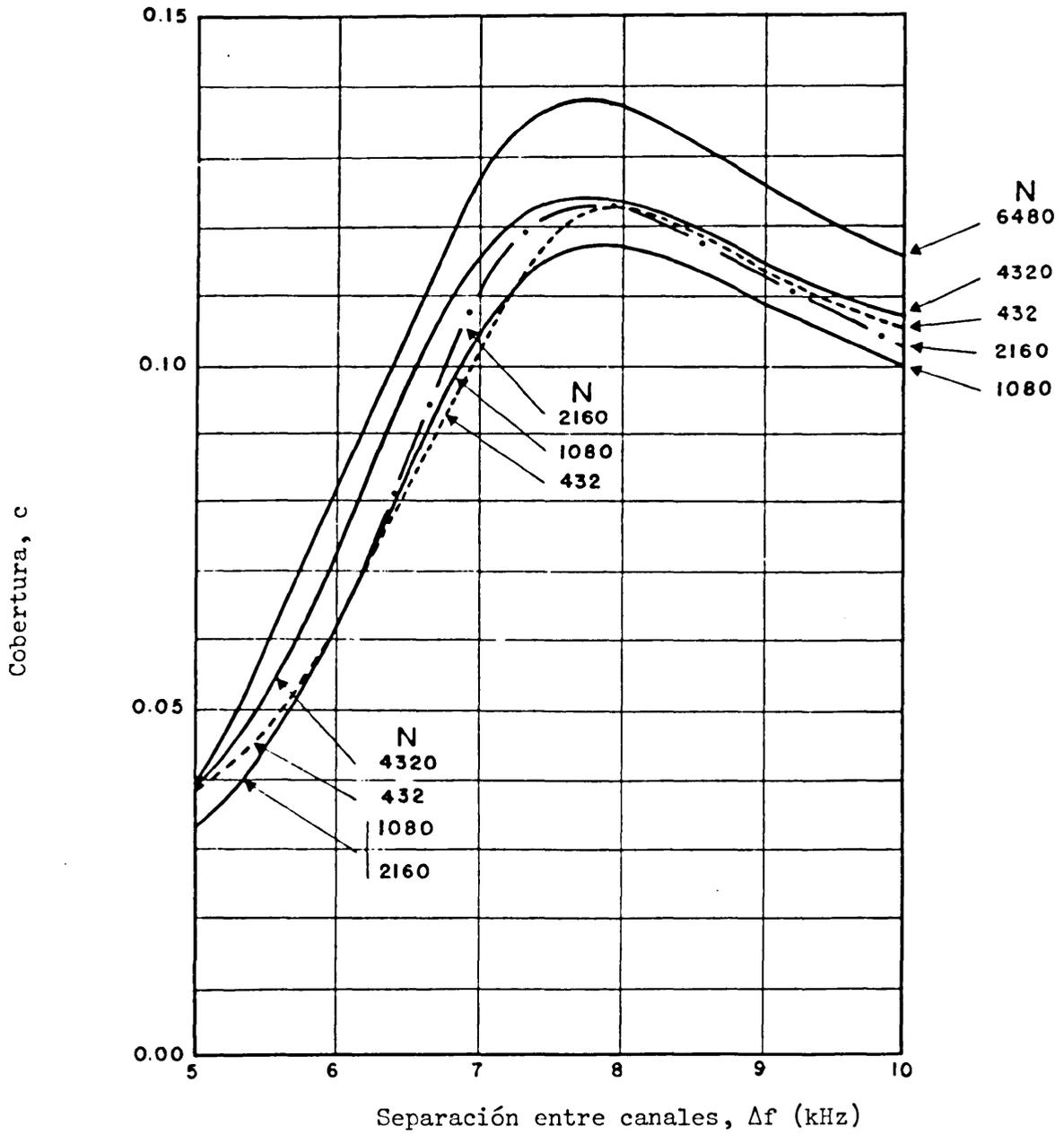


FIGURA 7

Cobertura que puede obtenerse en la banda de 1 080 kHz con N estaciones en una zona de 42×10^6 km² con un servicio nocturno por onda de superficie

Curva de propagación

Onda de superficie: Recomendación 368-2 ($\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m), a 1 MHz

Onda ionosférica : EL CATRO (N/S)

Relación de protección: A = 26 dB

Curva de la relación de protección para el canal adyacente: Recomendación 449-2, curva A

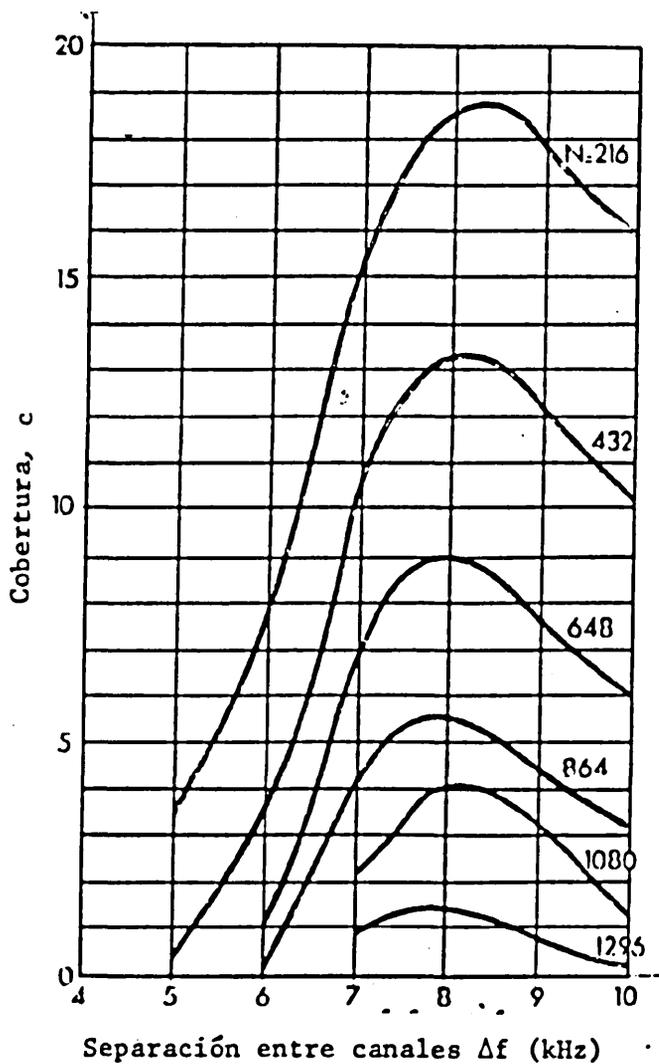


FIGURA 8

Zona de servicio por onda ionosférica que puede obtenerse con todos los canales disponibles en la banda 6 (ondas hectométricas)

Parámetro: Número de asignaciones de frecuencia N

Hipótesis de base:

- Superficie total: $42 \times 10^6 \text{ km}^2$
- Relación de protección en el mismo canal para la intensidad de campo mediana: 27 dB
- Relaciones de protección relativas: curvas de la Recomendación 449-2
- Cada transmisor deseado sufre interferencias de tres transmisores en el mismo canal y de otros tres en el canal adyacente
- Curvas de propagación por onda ionosférica:
 - señal deseada: Informe 264-3
 - señal interferente: Informe 575, ecuación (3) [Eden y Minne, 1973].

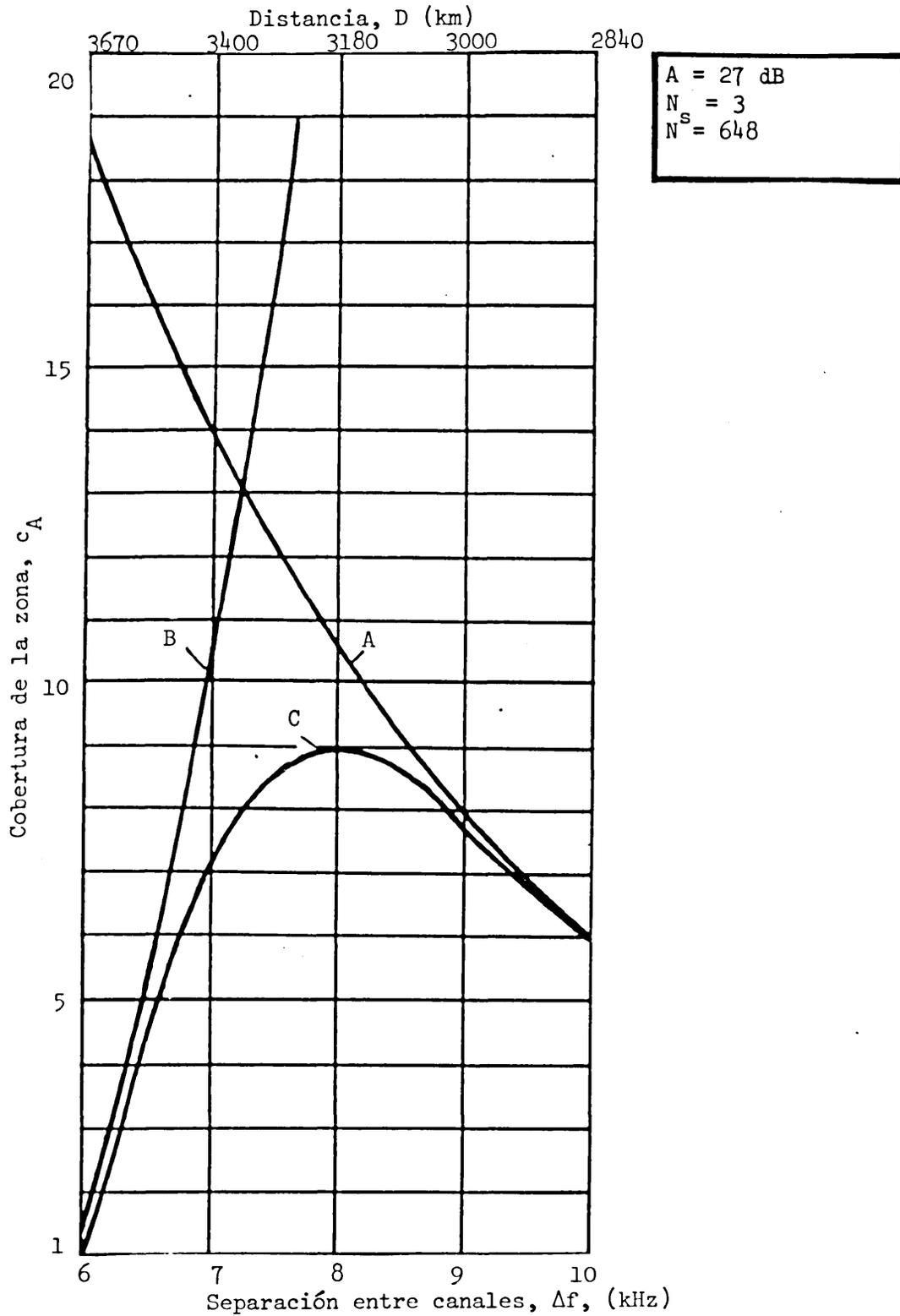


FIGURA 9

Límites de la cobertura de la zona (relación de protección en radiofrecuencia: 27 dB)

- Curva A: en presencia de interferencia en el mismo canal (tres transmisores)
- Curva B: en presencia de interferencia de canal adyacente (tres transmisores)
- Curva C: en presencia de interferencia tanto en el mismo canal como de canal adyacente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- C.C.I.R. [1938] Documentos de la Conferencia Internacional de Radiocomunicaciones de El Cairo, Tomo 1, págs. 425-433.
- C.C.I.R. [1970-1974] Doc. 10/306, Japón.
- EDEN, H., y MINNE, D. [junio de 1969] Détermination des zones de couverture en radiodiffusion sur ondes hectométriques dans le cas de réseaux réguliers, plans et sphériques. Revue de l'U.E.R., 115-A, 109-120.
- EDEN, H., y MINNE, D. [diciembre de 1973] Broadcasting coverage in the LF/MF bands. U.E.R. Review (Technical), 142, 262-272.
- SUZUKI, Y. y otros [enero de 1974] Influence of propagation curves on the coverage factor, N.H.K. Laboratories, Note N.º 175.
- TAUMER, F. y MULLER, K. [1965] Méthode de prévision du champ pendant la nuit dans la bande 150-1 500 kHz sur des distances de 300-3.000 km. Commission technique, O.I.R.T., Commission d'études IV, Contribution de la R.D.A., Praga, 1965.
- UDALTSOV, A.N. y SCHLYUGER, I.S. [1972] Krivye rasprostraneniya ionosfernoi volny dlya radioveschchatelnogo diapazona (Curvas de propagación de la onda ionosférica para la banda de radiodifusión). Geomagnetism i aeronomiya, 5.
- U.E.R. [mayo de 1974] Doc. Tech. 3206, Technical Parameters for LF/MF Broadcasting.
- VILENSKY, I.M., UDALTSOV, A.N. y SCHLYUGER, I.S. [1969] Propagación ionosférica en la banda 150-1 500 kHz (en ruso) Geomagnetism i aeronomiya, Vol. 9.

BIBLIOGRAFÍA

- C.C.I.R. [1963-1966] Doc. X/134, U.E.R.
- C.C.I.R. [1963-1966] Doc. X/148, Francia.

INFORME 401-2*

RADIODIFUSIÓN SONORA EN ONDAS KILOMÉTRICAS

Y HECTOMÉTRICAS (BANDAS 5 Y 6)

Antenas de transmisión de gran eficacia

(Cuestión 13/10)

(1966-1970-1974)

1. Antenas de radiación cenital reducida

El Doc. X/21 (Estados Unidos de América), 1963-1966, describe una antena de radiación cenital reducida de gran eficacia, consistente en una torre fraccionada en dos secciones de 120° (utilizada en la estación WOAI, San Antonio, Texas). El valor de la zona de desvanecimiento se reduce de un 50% aproximadamente (antena $0,311\lambda$) a un 30% aproximadamente de la zona de servicio por onda de superficie, para una conductividad de 10×10^{-3} S/m. En el documento se señala que en este tipo de antena la distribución de la corriente debe ser lo más sinusoidal posible, empleando una estructura delgada y de sección uniforme.

Observaciones. Por la experiencia de otros países, es evidente que una antena de gran eficacia debe construirse en secciones fraccionadas y tener una altura eléctrica de $2 \lambda/3$ a 1λ , para obtener un aumento rápido de la intensidad de campo de la onda ionosférica cerca del punto en que es igual a la de la onda de superficie. El efecto del componente resistivo de la corriente de antena, en el diagrama vertical de radiación de una torre fraccionada, puede reducirse o compensarse por alimentaciones múltiples. Debe hacerse observar que la posición y la extensión de la zona de desvanecimiento varían con las propiedades de las capas ionosféricas reflectoras.

En la práctica, la zona de desvanecimiento es algo mayor que la calculada, y esto podría deberse, por una parte, a las variaciones de la capa E, y por otra, a reflexiones en la capa F, efectos que hay que tener en cuenta al estudiar las antenas.

2. Influencia del suelo en el diagrama de radiación vertical

En el Doc. 10/188 (Reino Unido), 1970-1974, se dan los resultados de un estudio teórico sobre la influencia de la conductividad del suelo en los diagramas de radiación vertical de antenas verticales típicas. El estudio tiene en cuenta la difracción de las ondas siguiendo la curvatura de la Tierra.

* Adoptado por unanimidad.

La Fig. 1 muestra la reducción de intensidad de campo que se produciría al reemplazar un suelo plano perfectamente conductor por una Tierra curva con una conductividad imperfecta. La Fig. 1 se aplica a las antenas transmisoras verticales de hasta $0,6 \lambda$. Las curvas de la Fig. 1 se extienden a ángulos de radiación negativos, aplicables cuando las ondas se propagan siguiendo la curvatura de la Tierra, y que se definen como la distancia angular entre la antena y el punto en que la onda es tangente a la Tierra.

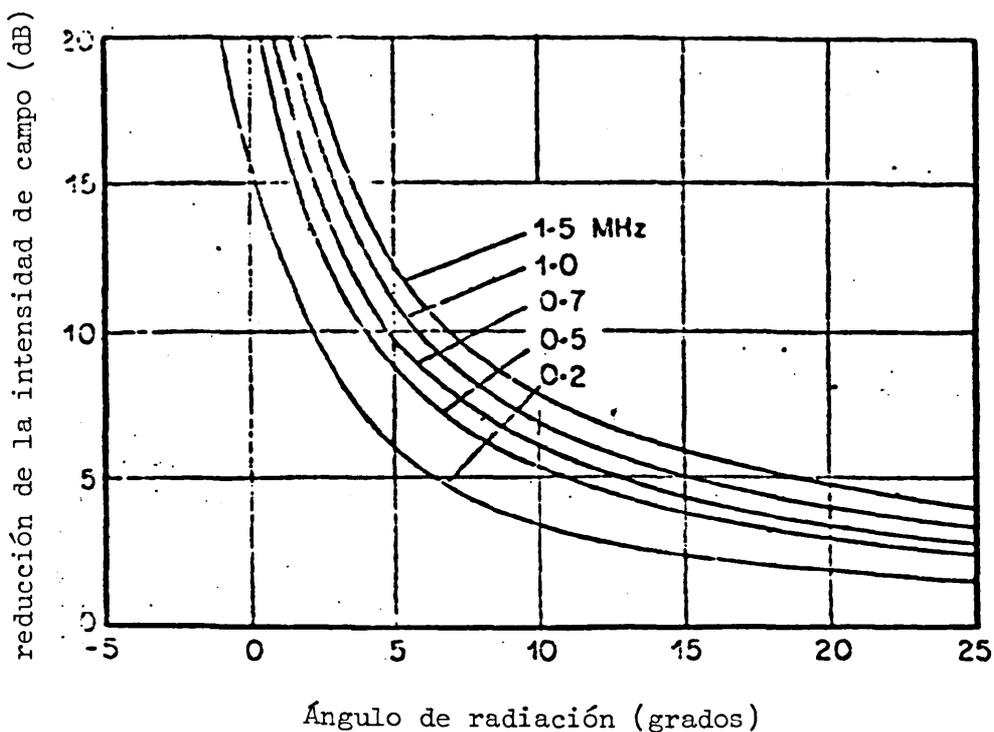
La pérdida debida al suelo puede definirse como la reducción de intensidad de campo que se produce sobre una Tierra curva, cuando la tierra sustituye a una extensión marítima. Por tanto, la atenuación debida al suelo puede derivarse de la Fig. 1 sustrayendo la reducción de intensidad de campo correspondiente a una extensión marítima de las correspondientes a un suelo de conductividad apropiada. El aumento correspondiente que se produce cuando una extensión marítima sustituye a la tierra se considera como ganancia debida al mar.

En el Doc. X/143 (Reino Unido), 1966-1969, se dan los resultados de mediciones de la intensidad de campo realizadas para verificar los efectos de la conductividad del suelo con pequeños ángulos de elevación en un trayecto relativamente largo, de 1.400 km. Las emisiones de Roma en 845 kHz se midieron en diversos puntos de la costa y tierra adentro, en el sur de Inglaterra. Teniendo en cuenta el principio de reciprocidad, poco importa que la antena se utilice en la recepción o en la transmisión.

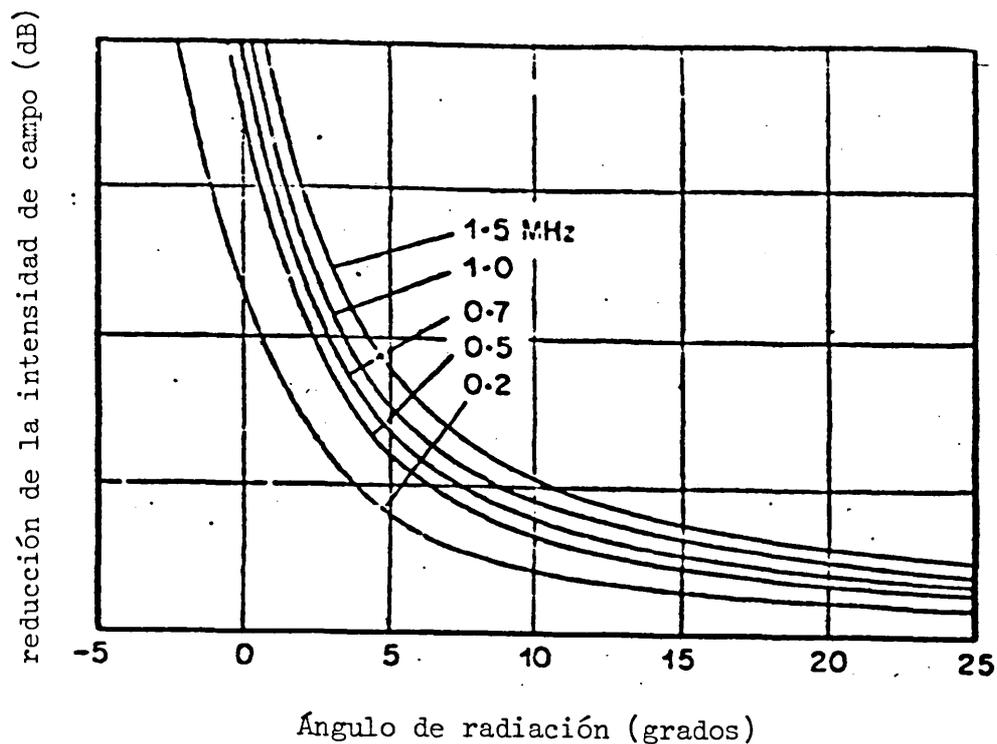
La Fig. 1 es el diagrama de directividad vertical calculado a 1 MHz para una antena corta en un terreno llano de poca conductividad (10^{-3} S/m), de buena conductividad (10^{-2} S/m) y en una superficie marítima (4 S/m). El agua dulce parece corresponder a un suelo de buena conductividad. Para comparación se representa el diagrama de directividad vertical que corresponde a un suelo perfectamente conductor.

La Fig. 2 indica, en valores relativos, las intensidades de campo medidas tierra adentro (B a K) y en la costa (A). Esta figura muestra también que las pérdidas debidas al suelo varían con la distancia en la costa, en la frecuencia de 845 kHz, para un ángulo de llegada de 4° aproximadamente. En la Fig. 2 se dan igualmente curvas teóricas para suelos de conductividad de 5×10^{-3} S/m y 10^{-2} S/m que parecen ser los valores extremos de la conductividad en la región considerada. También se ha indicado una parte de la curva teórica para 2×10^{-2} S/m, porque se sabía que los diez primeros kilómetros del trayecto terrestre presentaban poco más o menos esta conductividad. La Fig. 2 muestra con claridad la importancia de esta atenuación en ubicaciones claramente alejadas de las costas.

Se ha calculado la pérdida real debida al suelo, según el trayecto de propagación para uno o varios saltos, que se indica en la Fig. 3, suponiendo reflexiones en la capa E.



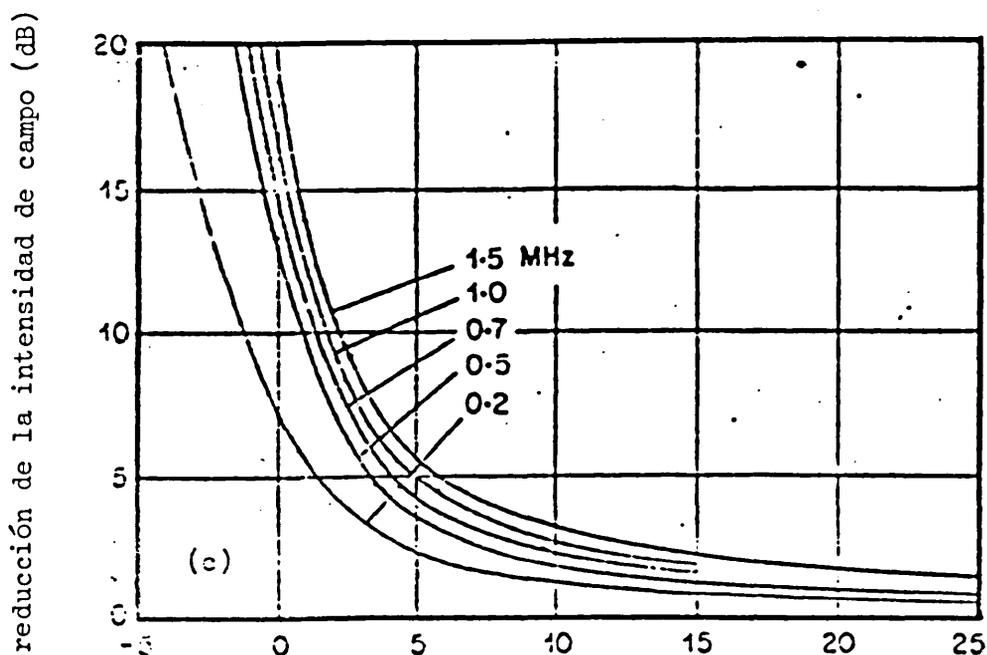
a) Conductividad del suelo 10^{-3} S/m



b) Conductividad del suelo 3×10^{-3} S/m

FIGURA 1

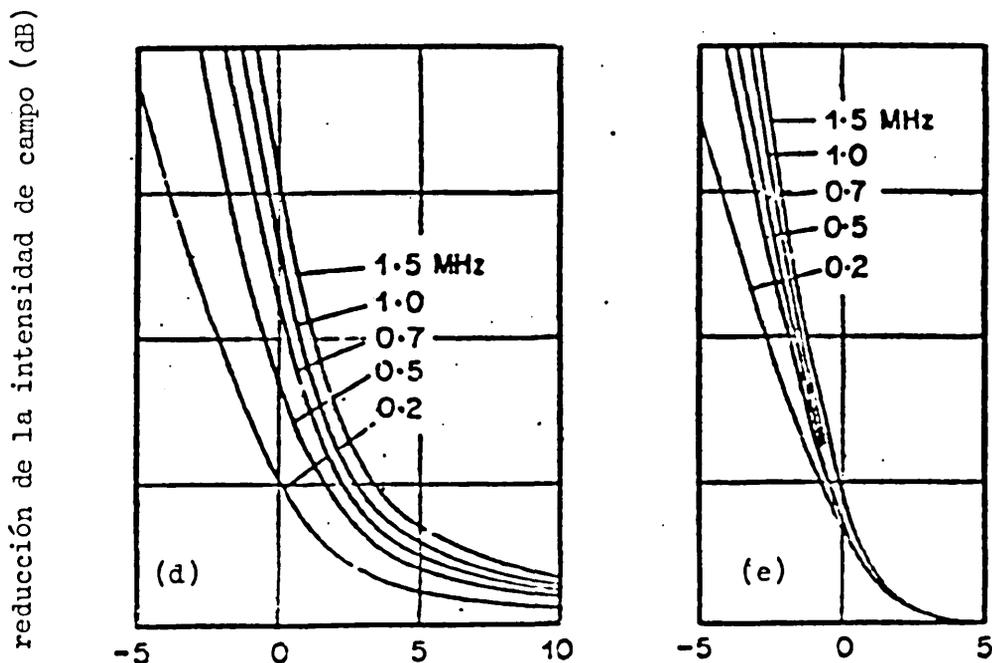
Reducción de la intensidad de campo para antenas verticales de hasta $0,6\lambda$ de altura, incluido el efecto de la curvatura de la Tierra



reducción de la intensidad de campo (dB)

Ángulo de radiación (grados)

c) Conductividad del suelo 10^{-2} S/m



reducción de la intensidad de campo (dB)

Ángulo de radiación (grados)

d) Conductividad del suelo 3×10^{-2} S/m

e) Conductividad del suelo 4 S/m (agua de mar)

FIGURA 1 (cont.)

Reducción de la intensidad de campo para antenas verticales de hasta $0,6\lambda$ de altura, incluido el efecto de la curvatura de la Tierra

En este documento se llega a la conclusión de que para un transmisor que funcione en ondas hectométricas (banda 6), la radiación directa será más eficaz en pequeños ángulos de elevación, si la antena se instala en una costa dentro de la zona de servicio, y que las pérdidas debidas al suelo alcancen su valor máximo cuando la antena está a 50 km tierra adentro. Para obtener la ganancia máxima, es preciso que el mar se extienda en la dirección de propagación hasta una distancia de 100 longitudes de onda por lo menos.

Las pérdidas debidas al suelo se aplican a la recepción y a la transmisión.

En el Doc. X/31 (Italia), 1966-1969, se muestra la influencia de la conductividad del terreno en la recepción de la onda ionosférica.

Se han hecho simultáneamente mediciones de intensidad de campo en un trayecto de 450 km (correspondiente a un ángulo de elevación de unos 24°), en dos lugares: uno al borde del mar y otro en la misma dirección pero a unos 2 km hacia el interior del país. En el primer caso la reflexión se produjo en el mar y en el segundo en la tierra. Se utilizaron dos transmisores de Roma que trabajaban en 845 y 1331 kHz.

Según todos los registros efectuados en ambos lugares, el valor mediano de la intensidad de campo al borde del mar con las dos frecuencias es 0,5 dB superior al del interior del país. Este resultado concuerda con el valor teórico calculado.

En el Doc. 10/294 (U.R.S.S.), 1970-1974, se indican resultados de mediciones comparativas de la intensidad de campo efectuadas en la banda de 150-1 500 kHz. Dichos resultados se obtuvieron en dos puntos de recepción con distinta conductividad del suelo, uno de los cuales se encontraba cerca del mar, y el otro en el interior, a 60 km de la costa en dirección del transmisor. Las mediciones se hicieron en distintas frecuencias y trayectos de transmisión de 1.200 a 1.500 km.

En los puntos de recepción se midió la intensidad de campo mediana, la cual se comparó con los valores calculados para una onda de polarización paralela y la correspondiente superficie terrestre, mediante los módulos y la fase de los coeficientes de reflexión de Fresnel.

Los resultados obtenidos indican que el aumento de la intensidad de campo de un transmisor situado cerca del mar, comparada con la de un transmisor ubicado en el interior, depende en gran parte de la longitud del trayecto de transmisión, y que dicho aumento puede ser superior a 6 dB en el caso de trayectos largos.

3. Antena transmisora de gran eficacia

Conviene destacar que el costo de una antena de gran eficacia desde el punto de vista de la inversión y de la mantención no debe considerarse aisladamente, sino en relación con el costo y la eficacia de una estación de radiodifusión en su conjunto. Por ejemplo, para una estación que tenga un transmisor con una potencia de salida de 100 kW o más, el precio de la antena representa sólo una parte relativamente pequeña del costo total.

- 3.1 En el Doc. X/57 (República Federal de Alemania), 1966-1969, se describe una antena transmisora para ondas kilométricas que acrecienta la zona de servicio por su gran rendimiento. Esta longitud de onda y su respuesta amplitud-frecuencia es llana hasta ± 6 kHz, por lo menos, de la frecuencia portadora. Su diagrama de radiación es el de una antena vertical unipolo de igual altura real.
- 3.2 En el Doc. X/190 (Suecia), 1966-1969, se describen las experiencias efectuadas en una antena de ondas kilométricas en anillo del transmisor de radiodifusión de Motala, (191 kHz). Se trata de una antena de campo estacionario constituida por un elemento radiante central (elemento vertical de 250 m) y de cinco elementos verticales de 200 metros repartidos también en un círculo de 630 m ($0,4 \lambda$). La intensidad de campo global a distancias superiores a 300 km se ha registrado de noche durante varios años en diferentes lugares, antes y después de cambiar una antena vertical corta por la antena de anillo. Las mediciones muestran que el cambio de la antena ha aumentado sustancialmente la zona sin distorsión de desvanecimiento. El diagrama teórico vertical muestra la reducción de la radiación en ángulos de 40° a 45° , y ello se ha confirmado muy bien por mediciones hechas desde un avión.
- 3.3 En el Doc. 10/28 (República Federal de Alemania), 1970-1974, se describe una antena que incluye un dispositivo de conmutación con el que puede obtenerse de día y de noche un servicio óptimo en la banda 6 (ondas hectométricas). En dos estaciones de radiodifusión hay en servicio antenas de este tipo (Ismaning, 1 602 kHz y Langenberg, 1 586 kHz). La antena consta de tres secciones separadas lo que asegura una gran flexibilidad para ajustar la distribución de la corriente y permite modificar el diagrama de radiación vertical dentro de amplios límites. Por ejemplo, puede reducirse al menos 3,5 dB la radiación para ángulos de elevación reducidos, atenuar los lóbulos laterales hasta 38 dB y obtener en el plano horizontal una ganancia de por lo menos 6 dB. Combinando racionalmente estos elementos, puede obtenerse una mejora de 3 a 10 dB en la relación señal/interferencia a frecuencias radioeléctricas en el mismo canal.

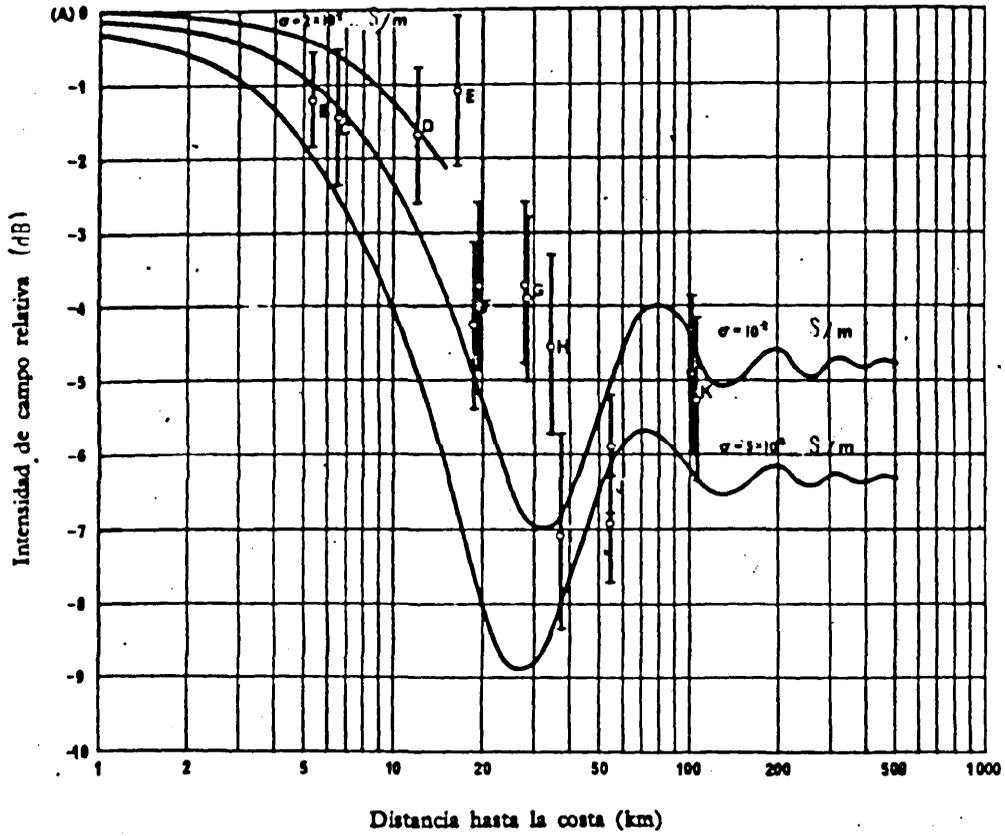


FIGURA 2

Pérdidas teóricas medidas en el suelo

———— : pérdidas teóricas debidas al suelo.
○ : pérdidas medidas.
(Las líneas verticales indican los márgenes de error.)

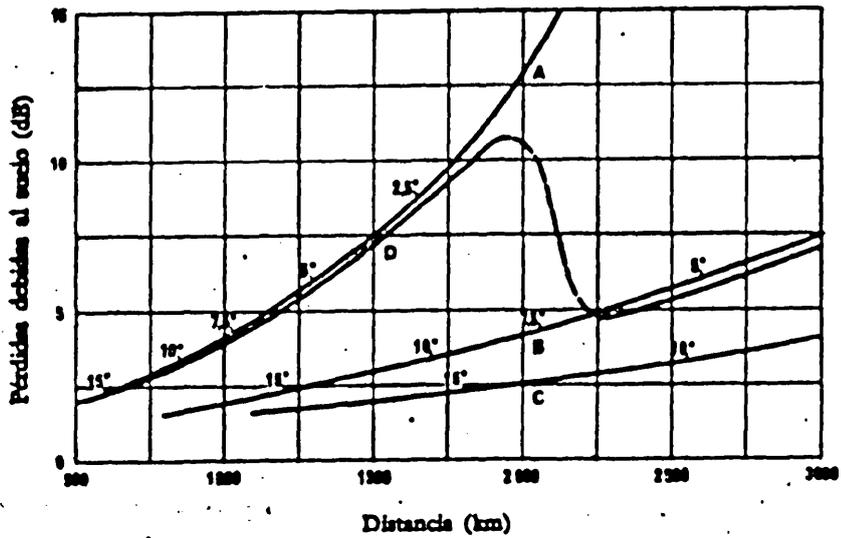


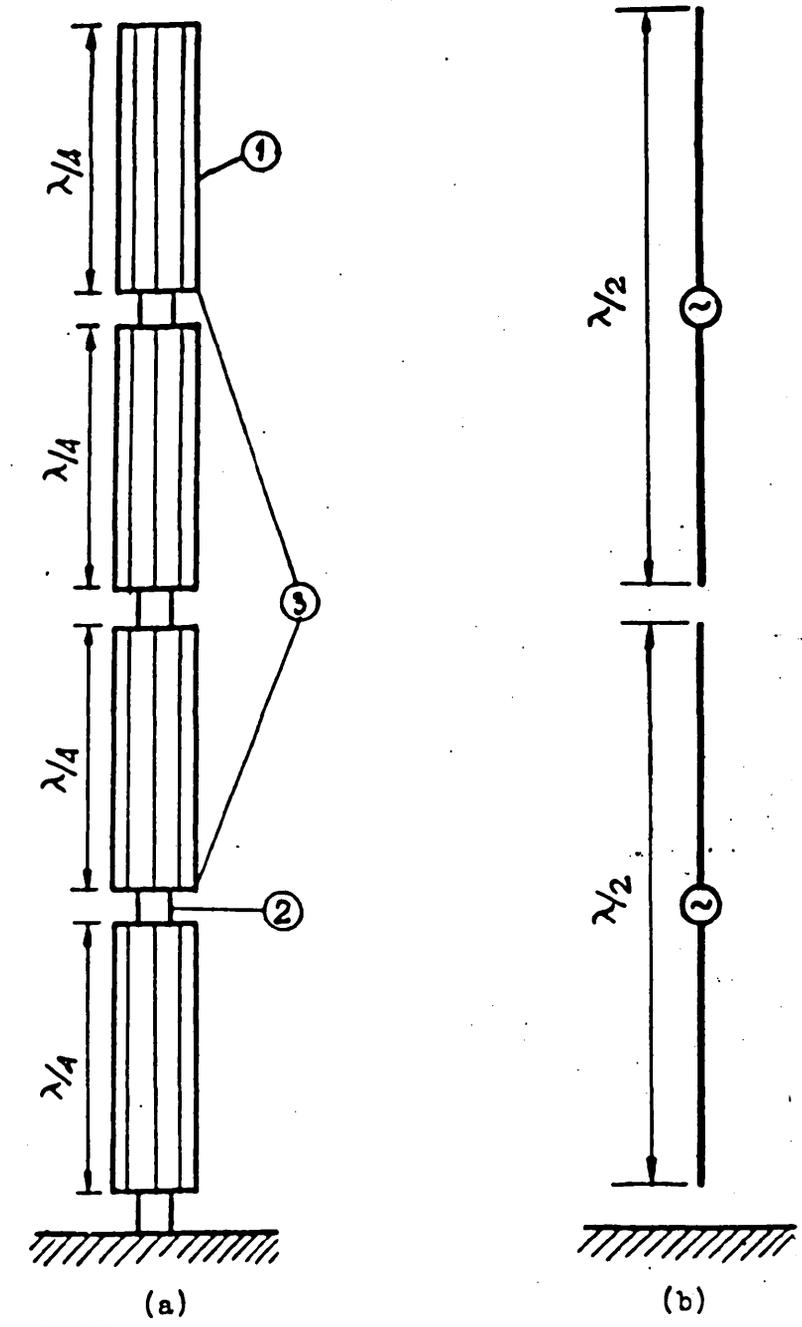
FIGURA 3

Pérdidas debidas al suelo para una propagación por saltos múltiples

Las curvas representan la pérdida que se produce en el suelo cuando se sustituye el agua de mar por un suelo de conductividad 5×10^{-3} S/m en un extremo del trayecto. Se supone que se produce una reflexión en la capa B (a una altura de 90 km); los valores que jalonan las alturas son ángulos de elevación.

Curva A: un salto
 Curva B: dos saltos

Curva C: tres saltos
 Curva D: pérdida efectiva cualquiera sea el número de saltos



Disposición de las jaulas a lo largo del mástil

Circuito equivalente

FIGURA 4

Doble antena de jaula de media onda

3.4 En el Doc. 10/62 (República Popular de Polonia), 1970-1974, se describe una doble antena de jaula de media onda para la banda 6 (ondas hectométricas). Comprende cuatro jaulas de hilo de cobre o de aluminio, soportadas por un mástil no seccionado y conectado a tierra; cada jaula está conectada galvánicamente al mástil por su extremidad superior y aislada en el extremo inferior (véase la Fig. 4). En el documento figuran los resultados de un estudio teórico y de las mediciones efectuadas con un modelo en ondas métricas.

Si se eligen de una manera adecuada la amplitud y la fase de las corrientes en ambos dipolos, puede ajustarse la forma del diagrama vertical dentro de límites muy amplios. Ello permite elegir las condiciones óptimas de explotación diurnas y nocturnas.

3.5 En el Doc. 10/73 (Francia), 1970-1974, se señala la existencia en LILLE-Camphin de una antena de radiodifusión para ondas hectométricas de elevada ganancia, en 1 376 kHz. Esta antena es del tipo "de onda completa" y está concebida de modo que la ganancia horizontal aumente al reducirse la radiación en direcciones distintas del horizonte. Está alimentada por el centro, pero su estructura en faldones de cuarto de onda evita cortar el mástil con aisladores. Tampoco hay aislador en la base del mástil. La adaptación a la línea de alimentación se efectúa sin dispositivo adaptador y sin la inductancia o capacidad clásicas. El ajuste del diagrama de radiación se ha efectuado a base de mediciones hechas desde un helicóptero. Puede encontrarse una descripción detallada de esta antena en [Lacharnay, 1969].

3.6 En el Doc. 10/292 (U.R.S.S.) 1970-1974, se describe una antena cuyo diagrama de radiación se puede ajustar en el plano vertical. La parte superior de la antena es un elemento radiante vertical normal, mientras que la inferior es un elemento vertical con una reactancia en forma de bucle en corto circuito conectado a la base. Para reducir la impedancia característica, de la parte superior de la antena cuelgan alambres inclinados. A la parte inferior de la antena va fijada una contraantena de hilos verticales que desde el suelo llega hasta una altura $H_1 = 0,4 H$.

El diagrama de radiación en el plano vertical se modifica ajustando la distribución de la corriente por medio de líneas de distribución constante. La antena posee propiedades antidesvanecimiento en una amplia banda de frecuencias y su ganancia llega a ser doble de la de una antena de media onda con excitación en la base.

La antena puede utilizarse en la banda 6 (ondas hectométricas) ajustando la distribución de la corriente y en la banda 5 (ondas kilométricas) en condiciones correspondientes al antinodo de corriente en el extremo inferior de la contraantena.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

LACHARNAY, S. [1969], Nouvelle antenne hectométrique à grand gain à l'émetteur de radiodiffusion de LILLE-Camphin (Antenne à jupe). Revue Française de Radiodiffusion et de Television, 11

BIBLIOGRAFÍA

- AIZENBERG, G.Z., BIELOUSOV, S.P., LINDBERG, A.H. y JAMPOLSKIJ, W.A. [1961], Antifedingowaja antienna dia radiowieszczanija (Antena anti-desvanecimiento para la radiodifusión). Radiotekhnika 16, 12, 21-30
- ANDERSEN, J.B. [1963], Reception of sky-wave signals near a coastline. Journal of Research, NBS, 67D, 3, 325-330
- ANDERSEN, J.B. [1963], The radiation field from a vertical dipole on an inhomogeneous ground. Electromagnetic Waves and Antennas (ed. by E.C. Jordan), 1099-1112, Oxford, Pergamon Press
- BEM, D.J. [1973], Antena klatkowa z ksztaltolwana charakterystyka promieniowania w plaszczynie pionowej (Antena de jaula con conformación del diagrama de radiación vertical). Prace Instytutu Xącznosci, XX, 1(69)
- BIELOUSOW, S.P. [1967], Sredniewolnowyje antienny s regulirujemym raspredielenjem toka (Antena con distribución de corriente regulable para ondas hectométricas). Wiestnik swiazi, 8
- CLEMMOW, P.C. [1953], Radio propagation over a flat earth across a boundary separating two different media. Phil. Trans. T. Soc., Series A, 246, 905, 1-55
- COLLARD, M. [octubre de 1973], The reduction of the results of field strength measurements to standardized conditions, for the purpose of studying LF and MF ionospheric propagation. E.B.U. Review - Technical, 141
- JEFFERS, C.L. [noviembre de 1948], An antenna for controlling the non-fading range of a broadcasting station. Proc. IRE, Vol. 36, 1426-1431
- JEFFERS, C.L. y KERSHNER, S.W., Design and performance measurements on a new anti-fade radio station WOAI.
- KERSHNER, S.W. y JEFFERS, C.L. [marzo de 1960], Design and performance measurements on a new anti-fade antenna for radio station WOAI. IRE Transaction on Broadcasting, Vol. B.C.6, 1

- KNIGHT, P. y THODAY, B.D.C. [1969], Influence of the ground near transmitting and receiving aerial on the strength of medium-frequency sky-waves. Proc. I.E.E., 116, 6, 911-919
- MAGNUSSON, E. y STRANDEN, F. [junio de 1960], Planning the new Motala Long-Wave Broadcasting Station. E.B.U. Review, A, 107-113
- MALLACH, P. [1971], Gestaltung des Vertikaldiagramms von Mittelwellen-Antennen (Diseño del diagrama vertical de radiación de antenas de ondas hectométricas) Nachrichtentechn. Fachber., 41, Hörrundfunk 2 - VDE - Verlag, Berlin
- MILLAR, R.F. [1967], Propagation of electromagnetic waves near a coastline on a flat earth. Radio Sci., (U.S.), 2, 261-286
- MONTEATH, G.D. [1951], Application of the compensation theorem to certain radiation and propagation problems. Proc. I.E.E., 98, IV, 1, 23-30
- MONTHEATH, G.D. [marzo de 1958], The effect of the ground constants, and of an earth system, on the performance of a vertical medium-wave aerial. Proc. I.E.E., Vol. 105, Parte C, 7, 292
- PAGE, H. y MONTEATH, G.D. [mayo de 1955], The vertical radiation patterns of medium-wave broadcasting aeriels. Proc. I.E.E., Vol. 102, Parte B, 3, 279
- SPONZILLI, L. [1968], Confronto tra ricezioni notturne indirette di onde medie su terra e su mare (Comparación entre la recepción nocturna de la onda ionosférica sobre tierra y sobre mar en ondas medias). Elettronica, 3, III trim.
- WILLIAMS, H.P. [mayo de 1947], The broadcast antenna, presented in the 1947 Radio Convention of the British Institute of Radio Engineers.

INFORME 457-1*

RADIODIFUSIÓN EN ONDAS KILOMÉTRICAS, HECTOMÉTRICAS Y DECAMÉTRICAS

(BANDAS 5, 6 Y 7)

Anchura de banda necesaria de emisión

(1970-1974)

1. Introducción

En los sistemas de radiodifusión sonora de doble banda lateral con modulación de amplitud, la anchura de banda de emisión es casi doble de la anchura de banda de audiofrecuencia del programa, influyendo mucho, por consiguiente, en la calidad de la recepción. Por otro lado, una separación dada entre canales adyacentes, conviene limitar la anchura de banda de emisión a fin de evitar interferencias entre esos canales.

La diferencia que se observa en radiodifusión sonora entre la anchura de banda de emisión y la anchura de banda de los receptores, ha dado lugar a estudios [C.C.I.R., 1966-1969 a y b; Netzband y Süverkrübbe, 1968; Süverkrübbe, 1969; Petke, 1973] destinados a mejorar el sistema de transmisión. No hay duda de que convendría fijar la anchura de banda de audiofrecuencia de emisión y la anchura de banda global de los receptores, y determinarlas sirviéndose de filtros limitadores de banda. Si estas dos anchuras de banda son casi iguales y su relación con la separación de los canales es satisfactoria, el sistema de transmisión permitirá utilizar al máximo la anchura de banda transmitida y obtener una relación de protección óptima entre canales adyacentes [Eden, 1967].

2. Evaluación de la anchura de banda necesaria de emisión

La anchura de banda de emisión y la banda de paso global de los receptores deben elegirse, evidentemente, de tal manera que no resulte merma alguna de la calidad de recepción ni aumento de la interferencia del canal adyacente [Netzband y Süverkrübbe, 1968]. Por consiguiente, una buena solución consistiría en elegir un mismo valor para la separación entre canales, la anchura de banda de la emisión y la banda de paso del receptor. Además, en condiciones ideales, las características de la limitación de banda de emisión y la selectividad de los receptores deberían ser curvas perfectamente rectangulares y los transmisores no deberían introducir distorsiones no lineales. En tales condiciones, no se producirían interferencias en los canales adyacentes.

No obstante, en la práctica no se cumple ninguno de esos requisitos. En especial, la anchura de banda de emisión suele exceder considerablemente la separación entre canales. Esto ha llevado a la fabricación de receptores domésticos de anchura de banda reducida, con la consiguiente degradación de la calidad de reproducción del sonido. Por otro lado, con ello no mejora suficientemente la discriminación del canal adyacente. Sin embargo, para la planificación es necesario determinar un valor apropiado de relación de protección relativa en radiofrecuencia (Informe 400-2).

* Adoptado por unanimidad.

3. Consideraciones generales

- 3.1 Existe una correlación bien determinada entre la anchura de banda del sistema, la separación entre portadoras y la relación de protección en radiodifusión del canal adyacente [Süverkrübbe, 1969; Petke, 1973].
- 3.2 El valor teóricamente óptimo de protección contra las interferencias en el canal adyacente se puede determinar utilizando un receptor ideal con banda de paso "rectangular". En este caso, la relación de protección en radiofrecuencia está determinada principalmente por la distorsión no lineal del transmisor.
- 3.3 El espectro de energía, incluida la radiación fuera de banda debida a la no linealidad del transmisor, ha sido objeto de un estudio teórico [Kettel, 1968]. Un estudio experimental de ese espectro de energía, en el caso de un transmisor de gran potencia de ondas hectométricas [C.C.I.R., 1966-1969], demuestra que la noción de anchura de banda ocupada, tal como se define en el Artículo 1, N.º 90 del Reglamento de Radio- comunicaciones, no da una idea exacta de la influencia que ejerce la limitación de la anchura de banda en las interferencias en el canal adyacente.

4. Resultados de mediciones

- 4.1 En la República Federal de Alemania se ha efectuado una serie de mediciones de las relaciones de protección en radiofrecuencia para varios valores de anchura de banda de radiofrecuencia iguales en emisión que en recepción, y para varios valores de separación entre canales [Süverkrübbe, 1969], por el método de medida objetiva de dos señales, Informe 399-2. En las mediciones se empleó un receptor comercial de gran calidad con una banda de paso casi ideal. La Fig. 1 ilustra la relación entre los parámetros considerados. Para determinado valor de separación entre canales existen numerosos pares de valores de anchura de banda en radiofrecuencia y de relación de protección entre canales adyacentes. No obstante, si únicamente se eligen dos parámetros, el tercero queda fijado automáticamente.
- 4.2 En estados Unidos de América y en el Reino Unido [C.C.I.R., 1966-1969 a y b] se han hecho pruebas subjetivas de escucha y, en la República Federal de Alemania [Netzband y Süverkrübbe, 1968] mediciones de la relación señal/interferencia en radiofrecuencia por el método objetivo de dos señales, como se indica en el Informe 399-2. En todos los casos se limitó la banda con un filtro pasabajos a la entrada de audiofrecuencia del transmisor.

En Estados Unidos se han utilizado dos receptores ordinarios, un receptor transistorizado de "bolsillo" y un receptor transistorizado para vehículos automóviles. En el Reino Unido se han utilizado cuatro receptores portátiles transistorizados y un receptor corriente de tubos. En la República Federal de Alemania, los receptores utilizados fueron: los receptores de referencia MEK y MBF de la U.E.R., descrito en [U.I.T., 1964], cinco receptores domésticos de fabricación corriente en la República Federal de Alemania y dos receptores especiales provistos de filtros mecánicos en frecuencia intermedia.

En estos tres países no se observó ninguna degradación de la calidad de la recepción con receptores de tipo corriente cuando se limitó la anchura de banda de emisión con un filtro pasabajos a la entrada del transmisor, cuya frecuencia de corte venía a ser la mitad de la separación de frecuencia entre los canales adyacentes.

En el cuadro I se indican los valores medios de la disminución de la interferencia entre canales adyacentes conseguida con receptores de tipo corriente mediante la limitación de la anchura de banda de la emisión. Se indican entre paréntesis valores obtenidos por la República Federal de Alemania con un receptor especial provisto de filtros mecánicos.

Los valores absolutos de las relaciones de protección en radiofrecuencia entre canales adyacentes varían considerablemente con el tipo de programa utilizado en las pruebas subjetivas de Estados Unidos. No obstante, los valores medios de mejora concuerdan satisfactoriamente con los valores deducidos de las medidas objetivas hechas en la República Federal de Alemania.

CUADRO I

Mejora en la discriminación del canal adyacente

Relación anchura de banda en radiofrecuencia/separación entre canales	Separación entre canales Δf (kHz)	Frecuencia de corte del filtro de pasabajos (kHz)	Pruebas subjetivas (S) o medidas objetivas (O)	Valor medio de la mejora en la discriminación del canal adyacente (dB)
0,45	10	4,5	O (R. F. A.)	12 (29)
0,5	9	4,5	O (R. F. A.)	5 (20)
0,5	9	4,5	S (R. U.)	3,6
0,525	10	5,25	S (E. U.)	3 (*)
0,5625	8	4,5	O (R. F. A.)	2 (7)
0,5625	8	4,5	S (R. U.)	0,9
0,643	7	4,5	S (R. U.)	0,3
0,7	7,5	5,25	S (E. U.)	despreciable

(*) Esta cifra representa la diferencia entre los valores extremos de la relación señal deseada/interferencia en radiofrecuencia «penas perceptibles», obtenidos con y sin filtro (véase C.C.I.R., 1966 1969a).

4.3

La U.E.R. ha proseguido los estudios sobre las relaciones entre la anchura de banda, la separación de las portadoras y la relación de protección en radiofrecuencia del canal adyacente, basándose en la hipótesis de que la separación entre portadoras y la relación de protección en radiofrecuencia para el canal adyacente tienen valores predeterminados. Se ha supuesto asimismo que todo futuro sistema de radiodifusión sonora de modulación de amplitud normalizado deberá ser compatible con los receptores existentes.

Se han utilizado los valores de relación de protección de radiofrecuencia de la Recomendación 449-2, y, por consiguiente, se han tenido en cuenta las características del receptor corriente actual. Se ha supuesto una separación de 8 kHz entre los canales, lo que probablemente dará la mejor utilización posible del espectro (véase el Doc. 10/280 (U.E.R.), 1970-1974). La relación de protección relativa en radiofrecuencia es, pues, de -20 dB.

En estas condiciones, la banda de audiofrecuencia que puede transmitir un sistema de radiodifusión de modulación de amplitud y doble banda lateral, adecuadamente concebido, se calcula por el método numérico de determinación de la relación de protección en radiofrecuencia [Petke, 1975].

En principio, todo sistema de radiodifusión de modulación de amplitud produce el mismo efecto en la calidad de recepción que un filtro de paso bajo. Los sistemas de modulación de amplitud concebidos en función de la separación entre los canales y de las relaciones de protección antes indicadas, pueden diferir entre sí en la anchura de banda y en la pendiente de corte de la respuesta global amplitud/frecuencia. Los estudios efectuados se han extendido, por lo tanto, para abarcar este aspecto del problema de la calidad de recepción.

Se ha supuesto que la influencia de la respuesta global amplitud/frecuencia del conjunto del sistema es uniforme entre los extremos transmisor y receptor. Este método, sin embargo, no es sino una primera aproximación, y habrá que realizar otros estudios en condiciones distintas.

Los cálculos han revelado que cualquiera de las tres curvas amplitud/frecuencia de la Fig. 3 dará una relación de protección satisfactoria para el canal adyacente en un sistema de canales de 8 kHz. Las curvas de la Fig. 2 indican los pares de valores de anchura de banda b y de pendiente de corte a_0 que se necesitan en los extremos transmisor y receptor de un sistema de radiodifusión sonora con modulación de amplitud. La curva de trazo continuo corresponde a un receptor con filtro de corte brusco que suprime el batido con la portadora del canal adyacente. La curva de trazo interrumpido corresponde al caso en que no se utiliza tal filtro. Los puntos 1, 2 y 3 de la curva de la Fig. 2 corresponden a las características del equipo terminal que daría las respuestas amplitud/frecuencia que corresponden a las curvas A, B y C de la Fig. 3, respectivamente.

Los resultados obtenidos concuerdan bien con la Fig. 1 que se considera corresponde a condiciones límite, pues se aplica al caso ideal de una característica de banda de paso rectangular. La banda de paso del sistema decrece rápidamente, pues, con la pendiente de corte.

4.4 Resultados de las pruebas de audición

Se han utilizado tres filtros de paso bajo, cuyas características se representan por las curvas A, B y C de la Fig. 3, para simular la influencia de una separación de 8 kHz entre los canales y de una relación de protección de -20 dB para el canal adyacente en la calidad de reproducción del sonido de un sistema de radiodifusión sonora con modulación de amplitud.

Las pruebas subjetivas han demostrado perfectamente que con las curvas A y B se obtiene mejor impresión de calidad que con la curva C. Es muy pequeña la diferencia de calidad entre las curvas A y B, lo cual puede tener un interés económico considerable, pues la pendiente de corte del receptor es 20 dB/octava inferior para la curva B que para A.

5. Características de las bandas de paso de radiofrecuencia y frecuencia intermedia de los receptores corrientes

En varios países se han comparado las distintas características de los receptores, algunas de las cuales figuran en Informe 333-1 (Nueva Delhi, 1970). En ese texto se indica que los valores de la banda de paso de radiofrecuencia y frecuencia intermedia, medidos entre puntos a 6 dB, se sitúan entre 5 y 10 kHz. Se señala que, en recepción, la banda de audiofrecuencia representa aproximadamente la mitad de estos valores. Los valores más altos registrados corresponden a receptores de "primera categoría" de selectividad variable, utilizados en la U.R.S.S. [C.C.I.R., 1966-1969d].

Existen, naturalmente, numerosos receptores con una banda de paso más estrecha aún que las indicadas en los textos de referencia citados. Se ha señalado, sin embargo, la existencia de receptores de banda de paso mas ancha en algunas zonas.

6. Utilización de la limitación de banda en explotación

En la actualidad se explota con carácter experimental un número cada vez mayor de transmisores de las bandas 5 y 6 (ondas kilométricas y hectométricas) limitación de banda. Los países que a continuación se indican explotan uno o varios de estos transmisores de gran potencia: Alemania (República Federal de), Austria, Finlandia, Francia, Italia, Luxemburgo, Mónaco, Países Bajos, Reino Unido y Suecia [U.E.R., 1971].

Esta evolución se inició en 1966, y la reacción del público ante los efectos en la calidad de los programas ha sido prácticamente nula. En cambio se ha registrado una mejor recepción en varios casos en que anteriormente las interferencias en el canal adyacente eran muy molestas.

7. Transmisión y recepción con armónicas para economizar anchura de banda

Se ha descrito un nuevo método [Gassmann, 1972 y 1973], aplicable en las bandas 5 (ondas kilométricas), 6 (ondas hectométricas) y 7 (ondas métricas), que permite mejorar la calidad del sonido en el receptor y reducir al mismo tiempo la anchura de banda de la señal moduladora de audiofrecuencia. El sistema está basado en el hecho de que el oído humano es incapaz de identificar las frecuencias armónicas unos 4 kHz superiores al tono fundamental.

Se consigue mejorar la calidad del sonido añadiendo armónicas artificiales generadas en el receptor. La amplitud de las armónicas se controla mediante una frecuencia piloto en el extremo superior de la banda de paso de audiofrecuencia. La frecuencia piloto contiene la información relativa a la amplitud de las armónicas y la necesaria señal de sincronización en forma de modulación de banda lateral única.

8. Espectro fuera de banda de las emisiones de radiodifusión sonora de doble banda lateral

En la Recomendación 328-3, § 2.5.1, se dan las curvas límite de la radiación fuera de banda de las emisiones de radiodifusión de doble banda lateral con modulación de amplitud. Las curvas no están en relación fija con el nivel de la portadora, porque esta relación depende:

- del factor de modulación del transmisor (valor eficaz);
- de la anchura de banda necesaria de la emisión, y
- de la anchura de banda del analizador de espectro utilizado para la medición.

Sin embargo, las curvas límite dependen en una relación fija del nivel máximo de las componentes de las bandas laterales, el cual depende exclusivamente de la distribución de la potencia en dichas bandas.

En el § 9 del Informe 325-2 figura información detallada sobre los valores correspondientes.

9. Anchura de banda necesaria de las emisiones en la banda 7 (ondas decamétricas)

- 9.1 Se han efectuado pruebas de audición para determinar la calidad de recepción que puede obtenerse en las emisiones en ondas decamétricas y las consecuencias de una reducción de la anchura de banda. Estos ensayos han permitido comprobar que, si la banda de frecuencias audibles se limita a 6 400 Hz (frecuencia más alta de modulación), disminuirá la calidad de recepción, pero que este efecto no será importante. En otras experiencias, la banda de frecuencias audibles se limitó a 5 000 Hz (frecuencia máxima de modulación), registrándose en este caso una disminución de la calidad muy notable.

- 9.2 En la banda 7 (ondas decamétricas) es común una disposición en canales de 5 kHz. Se considera, pues conveniente que la anchura de banda de la señal moduladora de audiofrecuencia en la banda 7 (ondas decamétricas) sea de 5 000 Hz, sin que exceda en ningún caso de 6 400 Hz.

10. Conclusiones

- 10.1 La Fig. 1 ilustra la dependencia mutua entre la relación de protección en radiofrecuencia en los canales adyacentes, la separación de los canales y la anchura de banda de audiofrecuencia, en la hipótesis de que la anchura de banda de audiofrecuencia del transmisor es la misma que la del receptor. Cuando se eligen dos de estos tres parámetros, el tercero queda determinado automáticamente. En general, se especifican la separación de los canales y la relación de protección en radiofrecuencia. Se puede entonces transmitir la anchura de banda de audiofrecuencia indicada en la Fig. 1, pero la anchura de banda de la señal transmitida sólo puede utilizarse plenamente cuando la selectividad de los receptores corresponde a la del filtro de audiofrecuencia del transmisor.
- 10.2 Las mediciones efectuadas en el Reino Unido, en Estados Unidos de América y en la República Federal de Alemania, demuestran que se puede reducir la interferencia en el canal adyacente si, en emisión, la banda es aproximadamente igual a la separación entre los canales. Las pruebas hechas en laboratorio y las pruebas prácticas llevadas a cabo, revelan que la reducción de la anchura de banda de emisión no entraña ninguna disminución apreciable de la calidad de recepción con los receptores de radiodifusión domésticos de uso corriente. Así, pues, los métodos de limitación de la anchura de banda pueden llevar a una utilización más eficaz de las bandas de radiodifusión en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas.
- 10.3 En radiodifusión sonora con modulación de amplitud, la predeterminación de la relación de protección para los canales adyacentes y de la separación entre los canales equivale a determinar la calidad de reproducción del sonido. Por ejemplo, con una separación de 8 kHz y una relación de protección de -20 dB, la Fig. 2 muestra que con una pendiente de corte de valor razonable será difícil rebasar los 4,2 kHz de anchura de banda. Por otro lado, esa misma figura demuestra que toda reducción de la pendiente de corte entraña una disminución de la banda de paso de audiofrecuencia.

Las pruebas subjetivas han demostrado que, sin salirse de los límites de la Fig. 2, la calidad de recepción depende esencialmente de la anchura de banda de audiofrecuencia. No obstante al acercarse a dichos límites, un ligero aumento de la banda de paso de audiofrecuencia puede significar un incremento considerable de la pendiente de corte sin que mejore perceptiblemente la calidad de recepción.

Se supone que estudios análogos para las separaciones de 9 ó 10 kHz darían resultados similares con las mismas tendencias. La distribución por partes iguales al receptor y al transmisor de la respuesta global amplitud/frecuencia no es necesariamente la óptima. Los cálculos demuestran, al contrario, que la relación de protección para el canal adyacente es más sensible a las modificaciones de la respuesta amplitud/frecuencia en recepción que en transmisión. No obstante, desde el punto de vista económico puede que no convenga aumentar la selectividad del receptor. Es necesario, pues, realizar nuevos estudios antes de tomar una decisión definitiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- C.C.I.R. [1966-1969a], Doc. X/16, Estados Unidos de América.
- C.C.I.R. [1966-1969b], Doc. X/142, Reino Unido.
- C.C.I.R. [1966-1969c], Doc. X/212, Alemania (República Federal de).
- C.C.I.R. [1966-1969d], Doc. X/196, U.R.S.S.
- U.E.R. [agosto de 1971], Modulation processing techniques for AM sound broadcasting. Doc. Tech. 3088
- EDEN, H. [diciembre de 1967], Réflexions sur une réorganisation de la radiodiffusion en ondes kilométriques et hectométriques. Revue de l'U.E.R. 106-A, 242-251
- GASSMANN, G.-G. [octubre de 1972], Hochwertige Musikübertragung mit nur 7 kHz Bandbreite, Bericht über die 9. Tonmeistertagung, Köln, 26 bis 29.10.1972, herausgegeben vom Verband deutscher Tonmeister. (Transmisiones musicales de alta calidad con una anchura de banda de sólo 7 kHz). Informe de la 9.ª reunión de ingenieros de sonido, Colonia, 26-29 de octubre de 1972, publicado por "Verband deutscher Tonmeister". (Asociación de ingenieros alemanes de sonido.)
- GASSMANN, G.-G. [noviembre de 1973], Verbesserung der AM-Übertragungsqualität bei unveränderter Systembandbreite, Vortrag der NTG-Tagung "Hörrundfunk", Düsseldorf, (Mejora de la calidad de transmisión MA sin alterar la anchura de banda del sistema; documento leído en la Conferencia NTG de "Radiodifusión sonora", Düsseldorf, noviembre de 1973.)
- U.I.T. [1964], Conferencia Africana de Radiodifusión en ondas kilométricas y hectométricas. Informe de la Reunión preparatoria de expertos. Ginebra, 1964, § 3.1, 11 y Apéndice 2, 85-95
- KETTEL, E. [febrero de 1968], Is the compatible single-sideband principle advantageous for AM broadcasting? Revue de l'U.E.R. 107-A, 8-15
- NETZBAND, R. y SÜVERKRÜBBE, R. [junio de 1968], Limitation de la largeur de bande à l'émission et à la réception en radiodiffusion à modulation d'amplitude. Revue de l'U.E.R. 109-A, 115-124
- PETKE, G. [octubre de 1973], Calcul du rapport de protection RF en modulation d'amplitude. Revue de l'U.E.R. - Technique, 141, 227-234
- SÜVERKRÜBBE, R. [agosto de 1969], System bandwidth and channel spacing in AM sound broadcasting, Revue de l'U.E.R., 116-A, 161-164.

Relación de protección en radiofrecuencia referida al valor en el mismo canal (dB)

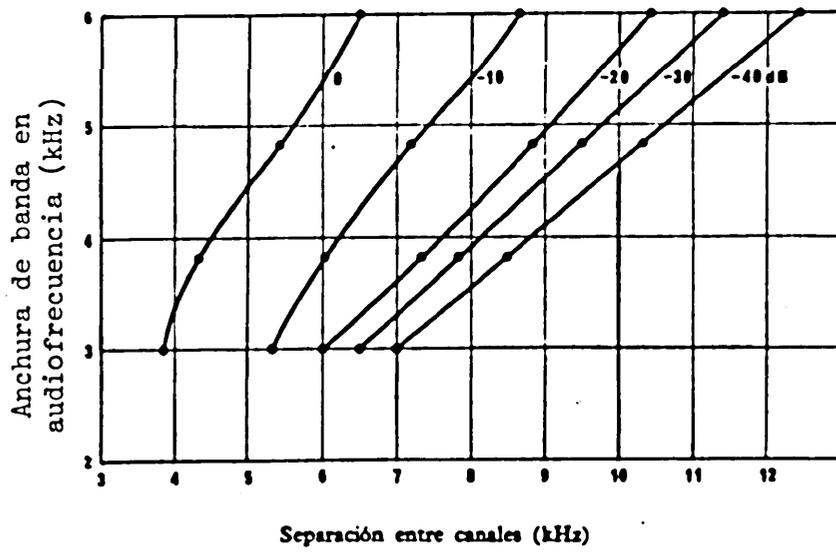


FIGURA 1

Utilización del espectro radioeléctrico

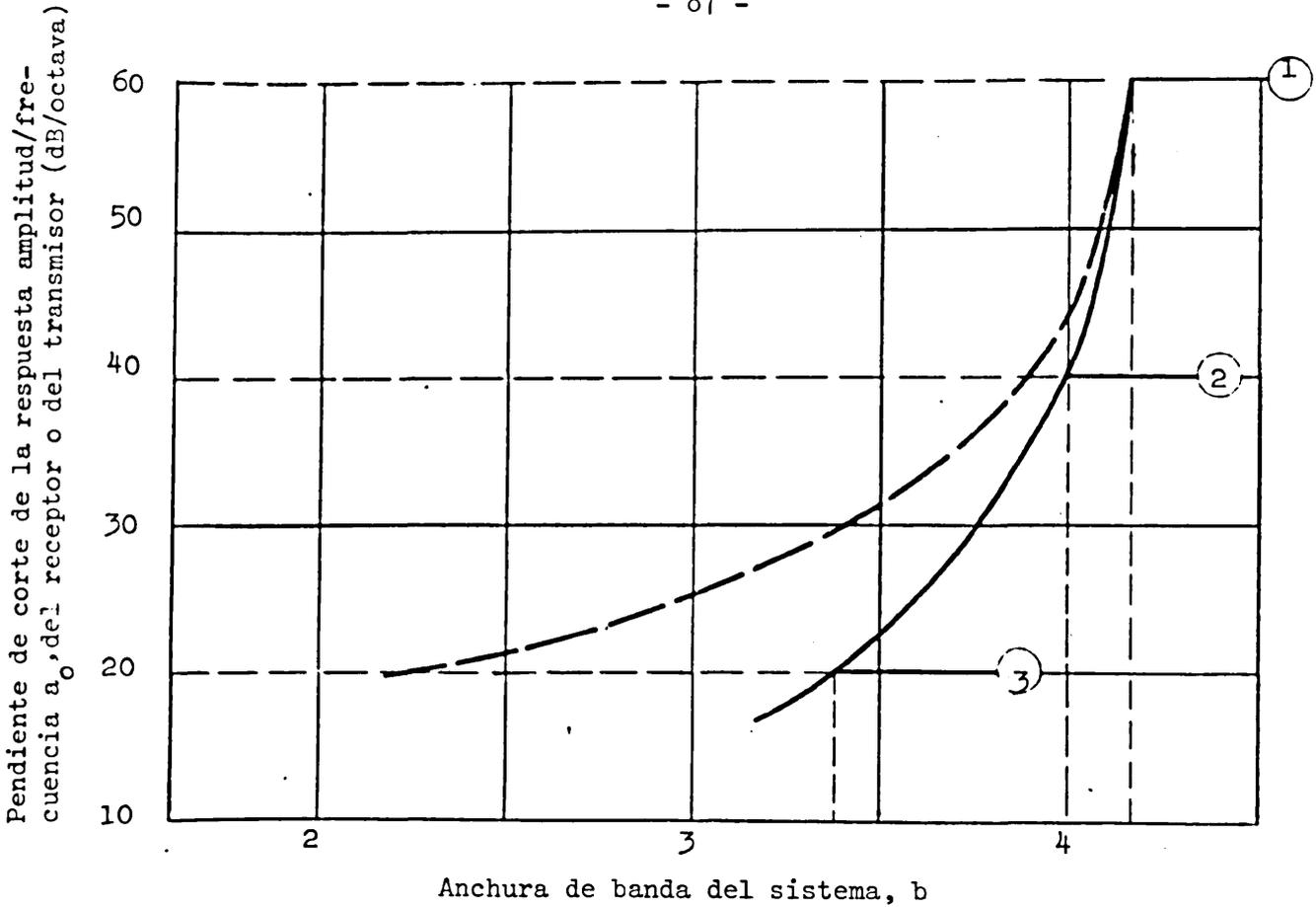


FIGURA 2

Características de un sistema de radiodifusión sonora con modulación de amplitud que dan una calidad óptima

Hipótesis de base:

Separación entre canales: 8 kHz

Relación de protección relativa para el canal adyacente: -20 dB

- Característica con filtro de corte brusco para eliminar el batido de las portadoras
- - - Característica sin filtro

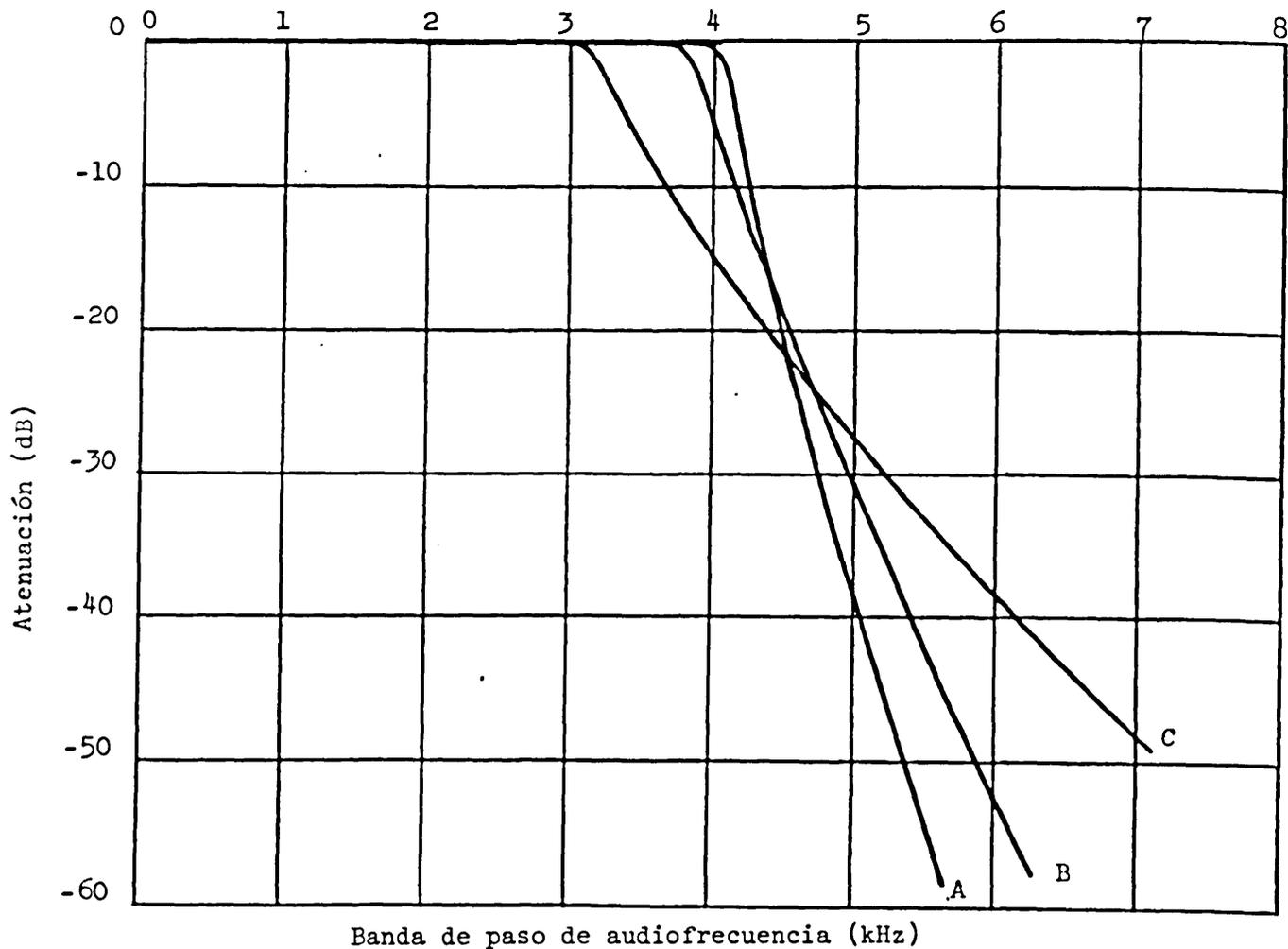


FIGURA 3

Curvas de respuesta global amplitud/frecuencia de un sistema de radiodifusión sonora con modulación de amplitud para una calidad óptima de reproducción del sonido

Curva A: Pendiente de corte de 120 dB por octava para el sistema completo

Curva B: Pendiente de corte de 80 dB por octava para el sistema completo

Curva C: Pendiente de corte de 40 dB por octava para el sistema completo

INFORME 458-1*

**SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN SONORA EN ONDAS KILOMÉTRICAS,
HECTOMÉTRICAS Y DECAMÉTRICAS (BANDAS 5, 6 Y 7)**

(Cuestión 25/10)

(1970 - 1974)

1. Introducción.

La Cuestión 25/10 trata de la posibilidad de normalizar, en el plano internacional, uno o más sistemas de radiodifusión sonora. El estudio de este complejo problema no se halla todavía suficientemente avanzado para ello. Por lo tanto, el presente Informe se limita a recoger las informaciones disponibles a fin de alentar a las administraciones, organismos de radiodifusión y empresas privadas a considerar el problema y a emprender los estudios necesarios para resolverlo.

En la actualidad, contrariamente a la radiodifusión sonora en ondas métricas y a la televisión, la explotación de la radiodifusión en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas se efectúa con una ausencia casi total de características de transmisión normalizadas en el plano internacional, salvo en lo que concierne a la separación de los canales y a los valores numéricos de las frecuencias portadoras (cabe señalar, sin embargo, que incluso estas características varían de una región a otra para las bandas kilométricas y hectométricas). Las otras características de transmisión varían de un país a otro y, en ciertos casos, de un transmisor a otro [U.E.R., 1971].

2. Sistemas que podrían normalizarse

La siguiente lista de sistemas no puede considerarse completa en la actualidad. En [Haviland, 1969] se encontrará un estudio comparativo de varios de estos sistemas. En él se ve, también, que para poder definir un sistema, es necesario tener en cuenta las interferencias entre transmisores. El estudio pone de relieve la importancia de una definición precisa de la separación entre canales.

* Adoptado por unanimidad

Modulación	Demodulación	Código
Modulación de amplitud, doble banda lateral	Demodulación de la envolvente	MA-DBL-ENV
Modulación de amplitud, doble banda lateral	Demodulación sincrónica	MA-DBL-SINC
Modulación de amplitud, banda lateral única compatible	Demodulación de la envolvente	BLUC
Modulación de amplitud, banda lateral única	Demodulación sincrónica	BLU-SINC
Modulación de frecuencia (banda estrecha)		MF

Cada uno de estos sistemas puede estar asociado a dispositivos de (tratamiento de la modulación) (véase la Nota). En el caso de ser necesario un dispositivo semejante en el receptor para sacar pleno provecho del instalado en el transmisor, deberá completarse la designación codificada mediante una abreviatura adecuada. Por ejemplo, un sistema con modulación de amplitud, doble banda lateral y demodulación de la envolvente que tenga un compresor en el transmisor y un expansor en el receptor, se designará MA-DBL-ENV-COM-EXT. En el Anexo I se da un ejemplo.

Nota.- For "tratamiento de la modulación" se entiende cualquier procedimiento que modifica ciertas características de la modulación, tales como la dinámica, la banda de frecuencias bajas, etc.

En [Netzband, 1969] y [C.C.I.R., 1966-1969] se describen sistemas del tipo modulación de amplitud, doble banda lateral y demodulación sincrónica. Estos sistemas son los únicos que permiten la transición entre los sistemas con modulación de amplitud, doble banda lateral y demodulación de la envolvente y los de banda lateral única y demodulación sincrónica, puesto que los receptores con demodulación sincrónica darían señales de audiofrecuencia sin distorsión tanto con los sistemas con modulación de amplitud, doble banda lateral y demodulación de la envolvente, como con los sistemas de banda lateral única y demodulación sincrónica (compatibilidad de receptores).

3. Características que han de especificarse

A continuación figura una lista de las características que deben especificarse para los sistemas mencionados en el § 1. Esta lista no es exhaustiva.

3.1 Para todos los sistemas:

- separación entre canales,
- frecuencias portadoras,
- frecuencia o frecuencias intermedias,
- estabilidad de frecuencia de los osciladores de los receptores.

Nota 1.- En el Anexo II se indican las relaciones entre estas características.

- Anchura de banda de audiofrecuencia del programa,
- anchura de banda de emisión necesaria,
- anchura de banda global del receptor.

Nota 2.- En lo que concierne a las relaciones entre estas características y la separación entre canales, véase el Informe 457-1. Pueden admitirse desviaciones respecto de los valores especificados, siempre que no se traduzcan en una interferencia inadmisibles.

- Características de los dispositivos de tratamiento de la modulación.

Convendría, además normalizar las siguientes características:

3.2 Sistemas con modulación de amplitud y doble banda lateral

- índice máximo de modulación.

Cuando se definan las características del sistema de transmisión y y del receptor de referencia*, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

3.2.1 Las características del sistema de transmisión y del receptor deben ser complementarias, sobre todo en lo que concierne a la curva de respuesta amplitud/frecuencia. La distorsión armónica debiera reducirse a valores aceptables. A este respecto, en [Makiedonski, 1974] se establecen y analizan criterios para determinar las tolerancias para las características globales de amplitud y de fase y métodos para evaluar los valores prácticos.

3.2.2 La anchura de banda de audiofrecuencia transmitida debe estar relacionada con la separación entre portadoras**. (No puede indicarse una anchura de banda precisa; algunas administraciones estiman que la relación

* Para asegurar la adaptación óptima de un plan de asignación de frecuencias a receptores de calidad razonable.

** Véase el Informe 457-1.

entre esta anchura y la separación entre portadoras debe ser de un medio mientras que otras estiman que la relación puede llegar a la unidad, aunque esta relación depende de dicha separación.)

3.2.3 Al menos en las bandas de radiodifusión 5 y 6 deben adoptarse separaciones uniformes entre portadoras, con frecuencias portadoras nominales que sean múltiplos enteros de las separaciones. (La adopción de una separación uniforme entre portadoras en el mundo entero, incluida la banda 7, entraña también ventajas técnicas.)

3.2.4 La frecuencia o frecuencias intermedias del receptor deben ser múltiplos enteros de la separación entre portadoras.

3.3 Sistemas de banda lateral única con demodulación sincrónica

- reducción* de la portadora;
- atenuación de la banda lateral innecesaria;
- valores máximos admisibles para los productos de intermodulación;
- señales auxiliares para la sincronización de los receptores.

Nota 3.- El Anexo III (véase también el Doc. 10/14 (República Federal de Alemania), 1970-1974) contiene alguna información sobre la gama de valores adecuados de reducción de la portadora y del nivel aceptable de los productos de intermodulación.

Nota 4.- En los sistemas de banda lateral única con portadora suprimida, la precisión de la portadora reconstituida localmente es importante para la calidad de recepción. Según se desprende de amplias pruebas subjetivas de audición [Thiessen, 1973], los efectos de distorsión no lineal y de la imprecisión de la portadora reconstituida se superponen, pudiendo describirse mediante la siguiente expresión:

$$\Delta Q = \frac{k_2^2}{10\%} + \frac{k_3^2}{6\%} + \frac{\Delta f^2}{12 \text{ Hz}}$$

en donde: ΔQ = degradación de la calidad según una escala de 6 notas,

k_2, k_3 = factor de distorsión de las segunda y tercera armónicas,

Δf = error de frecuencia (en Hz) de la portadora reconstituida

Un valor máximo $\Delta Q_{\max} = 0,25$ parece ser el límite de lo tolerable. Valores de $k_2 = 2,9\%$, $k_3 = 1,7\%$ y $\Delta f = 3,5 \text{ Hz}$, serían admisibles en su conjunto suponiendo que los efectos perturbadores tengan una distribución uniforme.

* Véase el § 1.5 de la Recomendación 326-2

Correspondería aplicar las condiciones mencionadas en el § 3.2 y, siempre que fuera posible, debieran adoptarse las mismas características. Además, debieran tenerse en cuenta las reglas siguientes:

- 3.3.1 Habría que adoptar en cada banda de radiodifusión la supresión de la misma banda lateral (superior o inferior). Según las investigaciones realizadas actualmente en materia de tecnología de filtros de frecuencia intermedia y de audiofrecuencia, resulta preferible la supresión de la banda lateral inferior. Por esta razón se sugiere que, para la radiodifusión en las bandas 5 y 6, la banda lateral superior contenga la señal completa de audiofrecuencia.
- 3.3.2 La reducción de la portadora no debe exceder de 12 dB.
- 3.3.3 Debería decidirse si debe suprimirse totalmente una banda lateral o si debe preverse un tipo de transmisión con banda lateral residual conforme a una curva de respuesta amplitud/frecuencia determinada.
- 3.3.4 La anchura de banda de audiofrecuencia transmitida debiera guardar relación con la separación entre portadoras. (No puede indicarse una anchura de banda precisa; pero ésta puede muy bien aproximarse a la separación entre portadoras.)
- 3.4 *Modulación de frecuencia.*
 - índice de modulación;
 - frecuencia de modulación máxima.
- 3.5 Sistemas de banda lateral única compatible
 - índice máximo de modulación;
 - atenuación de la banda lateral no deseada;
 - valores máximos admisibles de los productos de intermodulación.
4. Período de transición

A fin de facilitar la transición de los sistemas de radiodifusión con doble banda lateral a sistemas de radiodifusión con banda lateral única, todos los sistemas de banda lateral única especificados en el § 3.3 deben ser capaces de recibir satisfactoriamente las señales de doble banda lateral según se especifica en el § 3.2.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- C.C.I.R. [1966-1969], Doc. X/135, Estados Unidos de América.
- U.E.R. Doc. Tech. 3088, Modulation processing techniques in AM sound broadcasting.
- HAVILAND, R.P. [junio de 1969], A comparative study of communication systems using different modulation-demodulation techniques. Revista de la U.E.R., 115-A, 102-108.
- MAKIEDONSKI, A. [1974], Analiza zniekształceń obwiedni sygnału zmodulowanego przy jednoczesnym występowaniu zniekształceń tłumieniowych i fazowych jego grupy falowej. (Análisis de las distorsiones de la envolvente de una señal modulada en presencia simultánea de distorsión de amplitud y de la fase de sus componentes espectrales.) Prace Instytutu Łączności, Tomo XXX, N.º 3(75).
- NETZBAND, R. [abril de 1969], A novel arrangement for the reception of single-sideband and double-sideband transmissions in AM sound broadcasting. E.B.U. Review 114-A, 60-63.
- THIESSEN, P. [agosto de 1973], Assessment of the deterioration in quality of single-sideband transmissions as a result of frequency error and harmonic distortion. E.B.U. Review (Technical), 140.

ANEXO I

UTILIZACIÓN DE DIVERSOS PROCEDIMIENTOS DE TRATAMIENTO DE MODULACIÓN

En la O.I.R.T. se han realizado estudios sobre la posibilidad de aumentar el factor de modulación, es decir, la potencia de la banda lateral, ya sea mediante la modulación trapezoidal, o mediante la explotación con compresión dinámica, con transmisores en ondas decamétricas y hectométricas [C.C.I.R., 1970-1974a]. Los resultados de estos estudios indican que debe preferirse la compresión dinámica sin limitación de amplitud, si se persigue el objetivo de aumentar la potencia de banda lateral con una pérdida mínima en la calidad (por ejemplo para programas musicales). Por lo contrario, si se considera que no es importante una pérdida en la calidad (por ejemplo en la transmisión de la palabra), la modulación trapezoidal proporciona un grado más elevado de potencia de banda lateral.

Experimentos realizados en la RFZ, Berlín, han confirmado, en la forma indicada a continuación, el aumento de la potencia de banda lateral que se había supuesto:

- Compresión de la gama dinámica en 12 dB:

Ganancia media con un tiempo de establecimiento de 0,5 ms y un tiempo de caída de 35 ms: ≈ 6 dB.

- Compresión de la gama dinámica en 6 dB:

Ganancia media con un largo periodo de extinción (1,5 s) para programas con una amplia gama dinámica: ≈ 3 dB.

- Modulación trapezoidal:

Ganancia media con un aumento de 5 dB en el nivel de la señal de audiofrecuencia, y limitación de amplitud: ≈ 3 dB.

En Suecia se han realizado estudios con la posibilidad de mejorar la relación señal/ruido en radiofrecuencia usando la compresión-expansión en audiofrecuencia, en un sistema de doble banda lateral con modulación de amplitud y en un sistema de modulación de frecuencia con una excursión máxima de frecuencia de ± 5 kHz [C.C.I.R., 1966-1969].

La gama de audiofrecuencia iba de 40 a 5 000 Hz.

El compresor redujo la gama dinámica de la señal de audiofrecuencia expresada en dB, a la mitad de su valor, y las constantes de tiempo de establecimiento y de retorno eran 2 ms y 20 ms, respectivamente. Las características del expansor eran simétricas a las del compresor.

Los resultados experimentales pueden resumirse como sigue:

En ausencia de interferencia, no se observó variación alguna de la calidad cuando se utilizaban simultáneamente el compresor y el expansor. La calidad de audición se ha juzgado también satisfactoria cuando se utilizaba solamente el compresor.

En presencia de interferencia en el mismo canal, se hallaron las siguientes relaciones de protección en radiofrecuencia:

	Modulación de amplitud	Modulación de frecuencia
- sin compresor ni expansor	40-50	40-45
- con compresor solamente	30-40	30-40
- con compresor y expansor	20-25	25-30

Obsérvese que los valores indicados se obtuvieron con un transmisor interferente que carecía de un compresor de modulación.

En un estudio más amplio relativo solamente a la modulación de amplitud con doble banda lateral, se investigó el efecto de la compresión y expansión sobre la relación de protección en radiofrecuencias cuando el transmisor interferente disponía también de un compresor [C.C.I.R., 1970-1974b]. Este estudio comprendió un cierto número de programas de distinto tipo, transmitidos tanto por el transmisor útil como por el interferente.

Cuando un programa hablado resultaba interferido por otro programa del mismo tipo, la reducción de la relación de protección en radiofrecuencias era de unos 15 dB utilizando compresión y expansión. No se apreció deterioro en la calidad de reproducción. Si solamente se empleaba compresión, se obtenía una reducción menor de la relación de protección, de unos 10 dB, en este caso la calidad de la reproducción sonora no se consideró aceptable y considerablemente peor que con una transmisión sin compresión.

Cuando un programa musical resultaba interferido por otro musical o hablado, el resultado dependía en gran manera del carácter del programa deseado. La ventaja obtenida con compresión y expansión o bien solamente con compresión, era siempre más pequeña que cuando el programa deseado era hablado, y algunas veces incluso despreciable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

C.C.I.R., [1966-1969], Doc. X/153, Suecia.

C.C.I.R., [1970-1974a], Doc. 10/66, O.I.R.T.

C.C.I.R., [1970-1974b], Doc. 10/43, Suecia.

ANEXO II

SEPARACIÓN ENTRE CANALES, RELACIÓN DE PROTECCIÓN Y FRECUENCIA INTERMEDIA

Deben elegirse las frecuencias portadoras, la separación entre canales y las frecuencias intermedias de los receptores, con miras a reducir lo más posible las interferencias debidas

- a los osciladores locales del receptor utilizado, o de los receptores situados en las cercanías, causadas por su frecuencia fundamental o por sus frecuencias armónicas;
- a las armónicas de una frecuencia de transmisión o de los productos de la combinación de varias frecuencias de transmisión [C.C.I.R., 1963-1966; SCART, 1966; C.C.I.R., 1970-1974].

Si las frecuencias portadoras, por un lado, y la o las frecuencias intermedias, por otro, son múltiplos enteros de la separación entre canales, toda frecuencia interferente será igualmente un múltiplo de esta separación. Se deduce de ello que, teóricamente, se obtendrá una protección máxima, puesto que la diferencia de frecuencia entre cualquier señal interferente y la frecuencia portadora deseada será nula o igual a un múltiplo entero de la separación entre los canales.

Para que se den estas condiciones en una banda de radiodifusión determinada, es esencial que la separación entre canales sea la misma en toda esta banda. Sería aún más ventajoso si estas condiciones pudieran darse en ondas kilométricas y en ondas hectométricas, o, con preferencia, en ondas kilométricas, en ondas hectométricas y en ondas decamétricas [Eden, 1967]. Por otra parte, deberían cumplirse estas condiciones en todo el mundo o, por lo menos, en las zonas donde existe o vaya a establecerse un plan único de frecuencias.

Cabe señalar, sin embargo, que la perturbación producida por una señal interferente aumenta muy rápidamente a medida que crece desde cero la diferencia entre su frecuencia y la frecuencia deseada.

En las condiciones actuales, las diferencias de frecuencias pueden ser cualesquiera, y ello puede conducir al aumento de la relación de protección hasta 17,5 dB. Si se adopta el sistema propuesto, las diferencias de frecuencia dependerán de la precisión del oscilador local y del ajuste de los filtros de paso de banda en frecuencia intermedia. A fin de obtener la mayor mejora posible será necesario, quizá, establecer precisiones de frecuencia del orden de 100 Hz. Puede obtenerse la precisión de la frecuencia intermedia mediante filtros mecánicos o cerámicos, con preferencia a los filtros clásicos. El ajuste de la

sintonización inicial y la deriva del oscilador local podrían llevar a dispositivos especiales, por ejemplo, el control automático de frecuencia. La adopción de este sistema no produciría gran mejora inmediata con los receptores existentes, pero permitiría un perfeccionamiento importante en el porvenir sin ningún inconveniente en las actuales condiciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

C.C.I.R. [1963-1966], Doc. X/161, Francia.

C.C.I.R. [1970-1974], Doc. 10/273, Francia.

EDEN, H. [diciembre de 1967], Réflexions sur une réorganisation de la radiodiffusion en ondes kilométriques et hectométriques. Revue de l'U.E.R. 106-A, 242-251.

SCART, [mayo de 1966], Contribution à l'étude de la fréquence intermédiaire pour les récepteurs de radiodiffusion destinés à recevoir les émissions en ondes kilométriques et hectométriques. Fascículo de documentación SCART, VII, editado por la SDSA, 16 rue de Presles, 75, París 15.

ANEXO III

REDUCCIÓN DE LA PORTADORA Y NIVEL DE INTERMODULACIÓN ADMISIBLE
PARA TRANSMISORES DE RADIODIFUSIÓN DE BANDA LATERAL ÚNICA

En caso de que se introdujera la técnica de banda lateral única en la radiodifusión con modulación de amplitud, convendría utilizar las definiciones que figuran en la Recomendación 326-2.

Según esta Recomendación, la componente de la portadora se define con relación a la potencia de cresta P_p de la emisión.

La potencia de cresta P_p de un transmisor radioeléctrico está determinada por el nivel aceptable de intermodulación D_n .

En lo que concierne a los transmisores de radiodifusión de banda lateral única, no se ha establecido todavía el nivel aceptable de intermodulación D_n que determina la distorsión no lineal y la radiación fuera de banda (interferencia de canal adyacente).

Como es necesario que la distorsión no lineal y la interferencia de canal adyacente sean de magnitud reducida, el nivel aceptable de intermodulación D_n no será probablemente inferior a 38 dB.

La potencia de la banda lateral P_s de un transmisor depende de la potencia de cresta P_p y de la reducción elegida de la portadora, "a".

En el caso de un transmisor de radiodifusión de banda lateral única, el valor más adecuado de "a" dependerá principalmente de las exigencias de reconstitución de la portadora en un receptor de banda lateral única de costo reducido. Para producir la portadora de referencia para un demodulador de producto de un receptor de banda lateral única a un costo aceptable, la reducción de la portadora en el transmisor de radiodifusión de banda lateral única debe limitarse a un valor comprendido entre 6 y 12 dB.

La Fig. 1 muestra la relación de potencia de la banda lateral P_s y la reducción "a" de la portadora para una potencia de cresta dada del transmisor. La mención (1) indica los valores en caso de modulación por una señal sinusoidal y la mención (2) indica los valores en caso de modulación por ruido o por programa radiofónico. Los valores de las tensiones U y de las potencias P se expresan como porcentajes de los valores de cresta. En caso de modulación por programa radiofónico y con una reducción de portadora superior a 30 dB, la

potencia de la banda lateral $P_S (2)$ será aproximadamente el 10% de P_p . Un transmisor que funcione con una reducción de portadora de 6 dB sólo podrá radiar una potencia de banda lateral $P_S (2)$ de aproximadamente el 2,5% de su potencia nominal de cresta, cuando está modulado con una señal de programa radiofónico.

Para el cálculo de $P_S (2)$, se ha supuesto que la relación potencia media/potencia de cresta es de 0,1 (véase la Recomendación 326-2, Cuadro I, clase de emisión A3J).



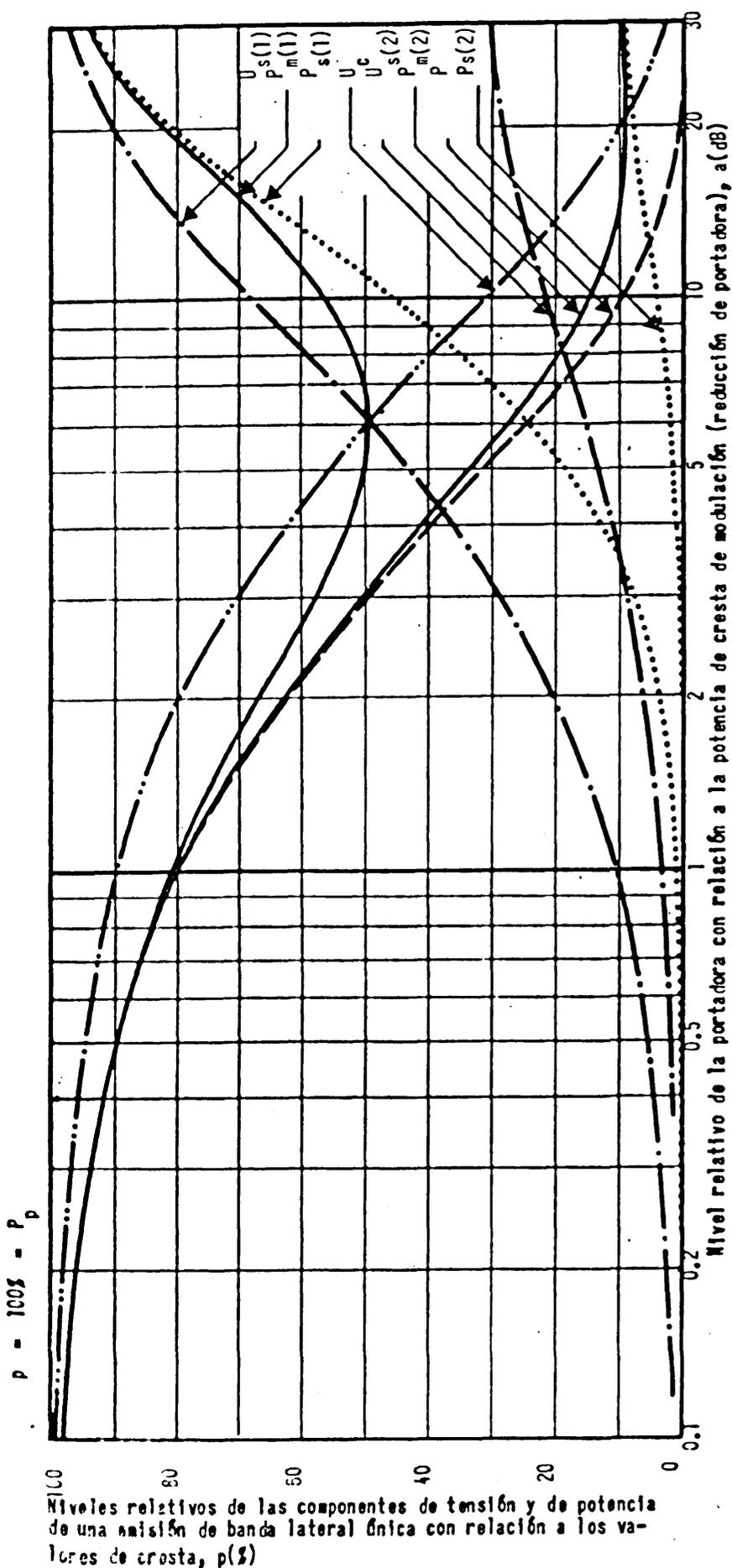


FIGURA 1

- P_p : potencia de cresta del transmisor (definida por el nivel aceptable de intermodulación D_n).
- U_c : tensión de portadora (valor eficaz).
- $U_s(1)$: tensión de banda lateral en el caso de modulación por una señal sinusoidal (valor eficaz).
- $U_s(2)$: tensión de banda lateral en el caso de modulación por programa radiofónico o por ruido (valor eficaz).
- P_c : potencia de portadora.
- $P_s(1)$: potencia de banda lateral en el caso de modulación por una señal sinusoidal.
- $P_s(2)$: potencia de banda lateral en el caso de modulación por programa radiofónico o por ruido.
- $P_m(1)$: potencia media del transmisor en el caso de modulación por una señal sinusoidal.
- $P_m(2)$: potencia media del transmisor en el caso de modulación por programa radiofónico o por ruido.

INFORME 459-1*

RELACIONES DE PROTECCIÓN EN RADIOFRECUENCIA PARA LOS
TRANSMISORES DE RADIODIFUSIÓN SINCRONIZADOS

(Programa de estudios 25A-1/10)

(1970-1974)

Es bien sabido que las relaciones de protección en frecuencias radioeléctricas para transmisores que trabajen en el mismo canal pueden mejorarse considerablemente mediante técnicas de sincronización, aumentándose con ello las zonas de servicio efectivas de los mismos (véase también el Informe 616). Los valores de estas relaciones de protección dependen de diferentes factores, incluido el método de sincronización. Para la planificación conviene disponer de valores de relaciones de protección adoptados internacionalmente. La Conferencia Africana de Radiodifusión por ondas kilométricas y hectométricas [U.I.T., 1966] adoptó el valor de 8 dB para la Zona Africana de Radiodifusión.

En el texto que sigue, se dan datos sobre relaciones de protección y cuestiones afines, en lo que respecta a otras regiones.

1. Estudios realizados en la U.R.S.S. [C.C.I.R., 1966-1969]

Estos estudios se han realizado para determinar la relación de protección RF en la recepción de las emisiones de redes sincronizadas que comprendan dos o tres transmisores. Se han considerado métodos de sincronización, tanto de frecuencia como de fase.

1.1 Expresión de la relación de protección en radiofrecuencia

Para expresar en este caso la relación de protección en radiofrecuencia se considera señal deseada la señal del transmisor que crea el campo más intenso, y señal interferente las señales de los otros transmisores de la red.

* Adoptado por unanimidad.

1.2 Determinación del valor de la relación de protección

Para determinar la relación de protección se ha utilizado un método estadístico basado en las impresiones subjetivas de la calidad de recepción de un transmisor de una red sincronizada, por comparación con la recepción de un transmisor que no formaba parte de una red sincronizada. En las pruebas intervinieron 26 expertos del personal técnico y científico de radiodifusión.

La relación de protección se determinó, en ausencia de desvanecimientos, en laboratorio, y a continuación se comprobó en explotación real.

Las pruebas en presencia de desvanecimiento se realizaron únicamente en redes sincronizadas en explotación real.

En todas las pruebas se empleó una profundidad máxima de modulación de 90%.

1.3 Resultados

La Fig. 1 muestra los valores de la relación de protección en función del desfase entre las portadoras de dos estaciones durante el día y en ausencia de desvanecimientos. El parámetro utilizado en estas curvas es el porcentaje de expertos que dictaminaron que la calidad de la señal resultante era, por lo menos, satisfactoria. Puede observarse en esta figura que, para satisfacer al 90% de los oyentes, el valor de la relación de protección en una red de dos transmisores sincronizados tiene que ser de 4 dB (en ausencia de desvanecimientos).

La Fig. 2 muestra la variación de la relación de protección en función de la separación de frecuencia de dos transmisores para varios porcentajes de expertos que consideraron satisfactoria la calidad de recepción. Esta figura indica que, si las señales de los dos transmisores sincronizados no sufren desvanecimiento, es necesaria una relación de protección de 4 dB, lo que implica una precisión de sincronización de 0,015 a 0,02 Hz, para satisfacer al 90% de los oyentes. Con una separación de frecuencia de 0,1 Hz, la relación de protección debe alcanzar 6 dB.

La Fig. 3 contiene curvas análogas para tres transmisores sincronizados en fase. Para satisfacer al 90% de los oyentes, la relación de protección no debe ser inferior a 3,1 dB (la norma es de 4 dB).

Se ha llegado a la conclusión de que para una calidad de recepción aceptable en presencia de desvanecimientos había que aumentar hasta 7 u 8 dB la relación de protección, en el caso de dos transmisores, y hasta 6 dB en el caso de tres transmisores.

2. Estudios efectuados por la U.E.R. [U.E.R., 1957]

Las técnicas de sincronización ideadas (y en la mayoría de los casos todavía en uso) en diferentes países, principalmente Austria, Francia, República Federal de Alemania, Italia, Países Bajos, Noruega, Suecia, Reino Unido, Australia y Estados Unidos de América, se describen en la referencia [U.E.R., 1957], que contiene una importante bibliografía, así como una exposición de las bases teóricas de dichas técnicas.

3. Estudios de la O.I.R.T. [C.C.I.R., 1970-1974. Augustin y Schulze, 1973]

La O.I.R.T. ha comprobado que, en la práctica, es posible simular, con un modelo, los principales efectos de los transmisores que comparten un mismo canal (igual programa), sincronizados o no. La Rundfunk-und-Fernsentechnisches Zentralamt de la Deutsche Post, Berlín [C.C.I.R., 1970-1974], ha construido un modelo de ese tipo, cuyo esquema de principio se indica en la Fig. 4, interesante desde el punto de vista económico y de explotación para el estudio de los problemas de recepción en la zona en que las ondas directas de los transmisores sincronizados interfieren, es decir sin tener en cuenta los efectos del desvanecimiento ionosférico.

Con el mencionado modelo, es posible estudiar en laboratorio sistemas que comparten un mismo canal, sincronizados o no. En particular, se ha revelado oportuno adoptar las siguientes medidas [Augustin y Schulze, 1973]: Mantener una, si las frecuencias portadoras difieren de sólo 0,1 Hz, aproximadamente, y compensar los tiempos de propagación de las señales de sonido entre el estudio y los transmisores; pueden conseguirse así las siguientes ventajas:

- eliminación casi total de la zona de interferencia;
- disminución de los efectos de desvanecimiento selectivo, quedando sólo los efectos de desvanecimiento en amplitud, totalmente compensados por el control automático de ganancia del receptor, sin distorsiones inaceptables.

En conclusión, puede afirmarse que es posible obtener una relación de protección de 0 dB para la recepción diurna.

Estos resultados teóricos han sido confirmados por pruebas con dos transmisores de 20 kW en ondas hectométricas entre los que mediaban unos 80 km de distancia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUGUSTIN, E. y SCHULZE, R. [1973]: Probleme des Gleichwellenrundfunks: Ein optimales Gleichwellensystem (Problemas de emisiones de radiodifusión sincronizadas: Sistema óptimo de transmisores sincronizados).
Techn. Mitt. des RFZ, 4, 95-97.
- C.C.I.R. [1966-1969] Doc. X/213, U.R.S.S.
- C.C.I.R. [1970-1974] Doc. 10/65, O.I.R.T.
- U.E.R. [abril, 1957] Use of synchronized groups of transmitters in broadcasting. Doc. Tech. N.º 3070 (revisado en 1974).
- U.I.T. [1966] Actas finales de la Conferencia Africana de Radiodifusión por ondas kilométricas y hectométricas, Ginebra.

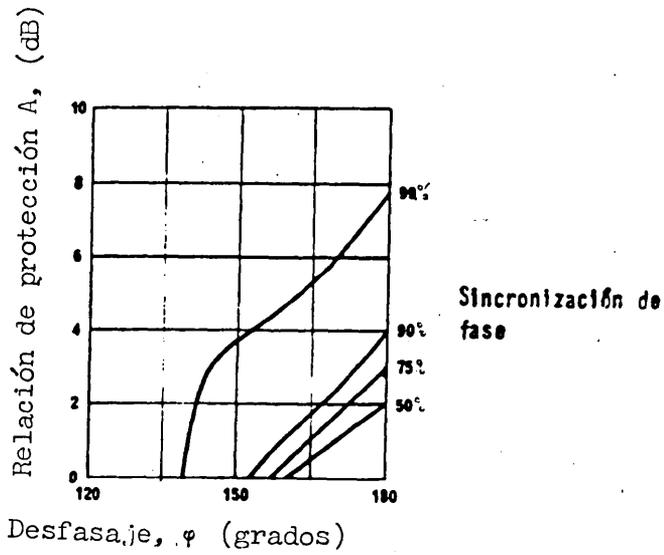


FIGURA 1

Calidad de recepción de las emisiones habladas y musicales en función de la diferencia de fase de las frecuencias portadoras de dos transmisores. (Sin desvanecimientos)

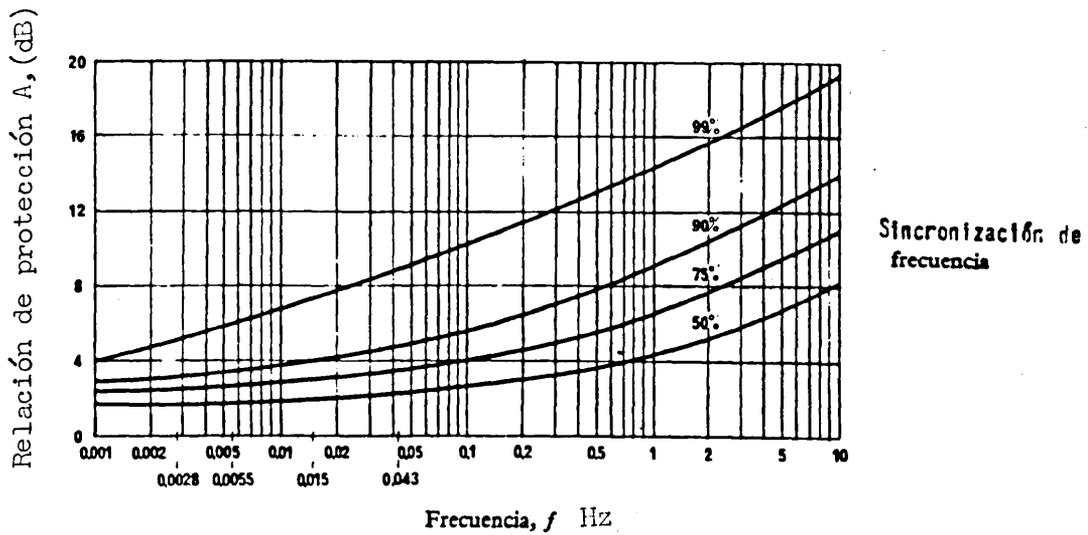


FIGURA 2

Calidad de recepción de las emisiones habladas y musicales en función del grado de sincronización de las portadoras de dos transmisores. (Sin desvanecimientos)

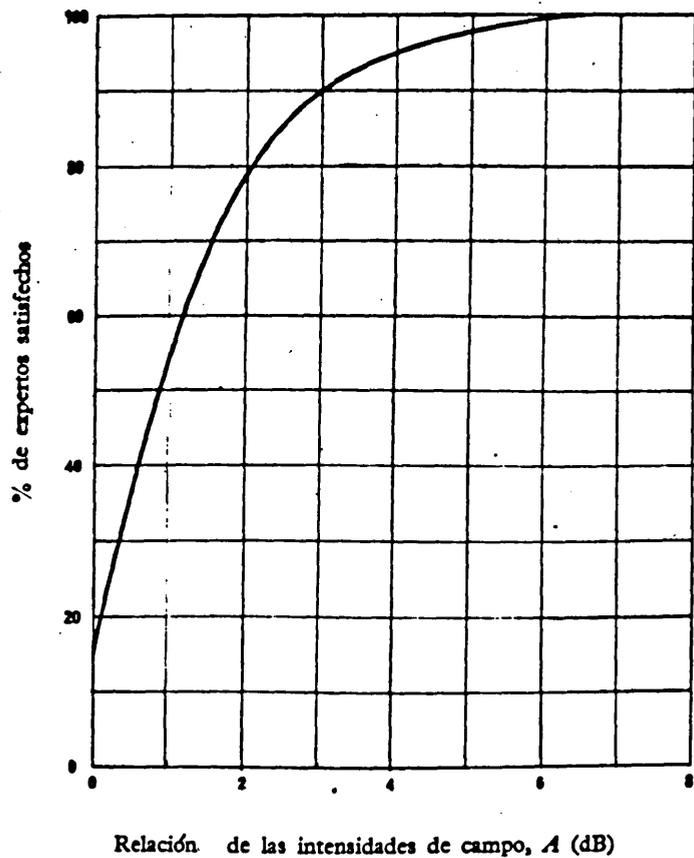


FIGURA 3

Calidad de recepción de las emisiones habladas y musicales en función de las relaciones de intensidades de campo de tres transmisores sincronizados en fase.

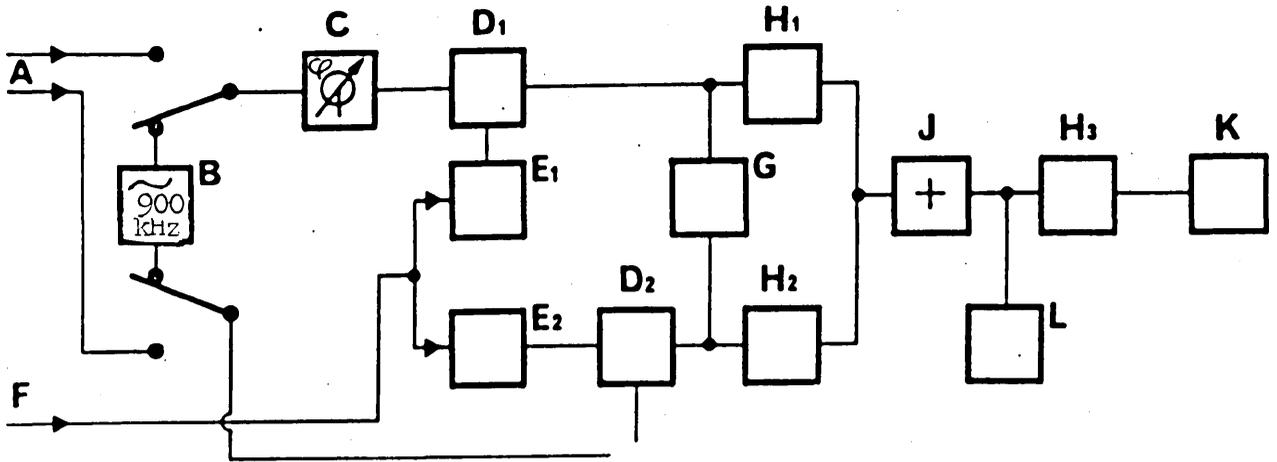


FIGURA 4

Esquema de principio del modelo de canal común

A: Oscilador externo

B: Frecuencia patrón (900 kHz)

C: Red desfasadora

D₁, D₂: Transmisor

E₁, E₂: Red de retardo en audiodiferencia

F: Modulación

G: Osciloscopio

H₁, H₂, H₃: Ajuste de nivel

J: Red adionadora

K: Receptor

L: Indicador de nivel

INFORME 460-1*

TRANSMODULACIÓN IONOSFÉRICA

(Programa de estudios 25E-1/10)

(1970-1974)

Los efectos de la transmodulación ionosférica en las bandas kilométricas y hectométricas pueden adquirir gravedad debido al continuo aumento de las potencias de emisión.

1. Sobre esta cuestión se han efectuado experiencias, en el marco de la U.E.R., en varios países, especialmente en el Reino Unido y en la República Federal de Alemania [Haberkant y Vogt, 1966; Haberkant y otros, 1971], utilizando emisiones clásicas de modulación de amplitud y doble banda lateral. Todavía no es posible dar valores precisos y definitivos sobre la transmodulación comprobada, pero pueden extraerse ya las siguientes conclusiones:
 - 1.1 El porcentaje de transmodulación aumenta de modo sensiblemente lineal con la potencia de transmisor interferente y también con su profundidad de modulación.

Nota.- El porcentaje de transmodulación aumenta de manera casi lineal con la potencia del transmisor interferente y aumenta también con su profundidad de modulación.
 - 1.2 Esta transmodulación depende sobre todo de la potencia radiada por el transmisor interferente en la dirección del punto de reflexión en la ionosfera de la onda deseada.

Los porcentajes de transmodulación inferiores al 10% son directamente proporcionales a la potencia [Knight, 1973]; por tanto, un aumento de 3 dB en la potencia del transmisor interferente incrementa los niveles de transmodulación en 6 dB. El porcentaje de transmodulación es asimismo directamente proporcional a la profundidad de modulación del transmisor interferente [Knight, 1973].
 - 1.3 El porcentaje de transmodulación es tanto menor cuanto mayor es la frecuencia de modulación del transmisor interferente. Pruebas de laboratorio [Whyte y Reed, 1973] han demostrado que el efecto subjetivo de la transmodulación puede compararse al de la interferencia en el mismo canal. Para

producir un grado subjetivo determinado de pérdida de calidad, la interferencia resultante de la transmodulación ionosférica requiere una relación señal/interferencia 6 dB menor que la interferencia en el mismo canal, siempre y cuando la transmodulación se refiera a una frecuencia moduladora de 300 Hz.

1.4 Los estudios de transmodulación ionosférica efectuados por la Comisión de estudio 6 del C.C.I.R. se resumen en el Informe 574.

2. La Fig. 1 muestra los porcentajes de transmodulación medidos en numerosos experimentos [Knight, 1973]. Cada medición se ha normalizado al valor que se habría observado si la señal interferente se hubiese radiado con una antena vertical corta y una potencia de portadora de 100 kW modulada a 80% por una señal de 300 Hz.

La Fig. 1 comprende una curva semiempírica que da el porcentaje máximo de transmodulación, promediado en un corto periodo, que podría observarse; ello se produce si la señal deseada atraviesa la región de la ionosfera más intensamente iluminada por la radiación interferente. Dicha figura muestra que la transmodulación alcanza su segundo máximo cuando la frecuencia interferente se acerca a la frecuencia giromagnética. En el mapa de la Fig. 5 se indican los valores de la frecuencia giromagnética en las diversas partes del mundo [Laitinen y Hayden, 1950].

3. Los efectos de transmodulación deben tenerse en cuenta no sólo para la recepción por onda ionosférica, sino también para la recepción por onda de superficie, en el límite de la zona de servicio y por la noche, cuando la onda ionosférica no es ya totalmente despreciable. El efecto de transmodulación se reduce, sin embargo, aproximadamente en la relación de las amplitudes de las ondas deseadas, de superficie e ionosférica, en el punto de recepción.

4. Conclusiones preliminares

Basándose en las mediciones indicadas en [Haberkant y Vogt, 1966; Haberkant y otros, 1971], pueden darse ejemplos de los niveles de flujo de potencia, o de la potencia del transmisor en función del ángulo de elevación, que pueden causar interferencia a las transmisiones deseadas.

Para ello, se ha fijado en primer lugar un valor admisible del porcentaje de transmodulación. Según el anexo a la Recomendación 448-1, el § 3 del Informe 264-3, (Variaciones estadísticas de la intensidad de campo o de la pérdida de propagación), y el § 2.2.2.1 del Informe 298-3 (Desvanecimientos de corta duración), es aceptable una relación de protección en radiofrecuencia de unos 30 dB para el 10% del tiempo en el caso de una señal interferente fluctuante. Haciendo caso omiso del efecto mencionado en el § 1.3, se tendrá el mismo efecto perturbador para un porcentaje de transmodulación de 3% durante el 10% del tiempo. Se ha demostrado [Haberkant y otros, 1971] que este porcentaje de transmodulación de resultar, en la

parte superior de la banda 6 (ondas hectométricas) de radiodifusión, de una densidad de flujo máxima en la región E de $2 \mu\text{W}/\text{m}^2$ (-57 dB (W/m²)) aproximadamente, es decir de un campo máximo de $27 \text{ mV}/\text{m}$ (89 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$)).

Suponiendo una altura de 100 km para la capa E, puede calcularse la potencia radiada por diversos tipos de antenas que producirían esta densidad de flujo en la región E. Las antenas transmisoras verticales normalmente utilizadas tienen un diagrama de radiación vertical que está en función bien definida de su altura (expresada en fracciones de la longitud de onda λ). En particular, la radiación de tales antenas es nula con un ángulo de elevación de 90°. El Cuadro I, [Haberkant y otros, 1971] indica, para diversas antenas verticales de diferente altura, las potencias de excitación correspondientes a las condiciones mencionadas.

CUADRO I

Altura de la antena vertical	$< 0,25\lambda$	$0,25\lambda$	$0,5\lambda$	$0,55\lambda$	$0,64\lambda$	$0,64\lambda^{(1)}$
Potencia portadora del transmisor (kW)	320	340	560	670	370	840

(1) Con compensación del primer lóbulo lateral.

También se puede calcular la relación entre la potencia radiada y el ángulo de elevación necesario para producir el mismo flujo de potencia desde 0° (radiación horizontal) hasta 90° (radiación vertical). Los resultados se indican en el Cuadro II.

CUADRO II

Ángulo de elevación	0°	10°	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
p.r.a.v. * (dB/1 kW) o f.c.m.* (dB/300 V)	39,5	32	27,5	24,3	22,5	22	21,5	20,2	19,3	18,7	18,5
p.r.a.v. (kW)	9000	1600	570	230	190	160	140	105	85	75	70

Los cuadros precedentes sólo contienen valores aproximados, pues la teoría muestra que en la transmodulación ionosférica pueden influir varios factores, como las frecuencias de los transmisores deseados e interferentes (y en particular la posición de éstas con relación a la girofrecuencia) y la polarización de las ondas emitidas.

* p.r.a.v.: potencia radiada aparente referida a una antena vertical corta;
f.c.m.: fuerza cimomotriz. Véase también el Informe 618.

Las potencias indicadas en los Cuadros I y II son ejemplos deducidos de un pequeño número de mediciones realizadas en una frecuencia próxima al límite superior de la banda 6 (ondas hectométricas) sin tener en cuenta la variación de la transmodulación con la frecuencia portadora interferente. No comprenden tampoco el efecto de la disminución de la transmodulación para las audiofrecuencias elevadas, que permite aumentar en 3 dB las potencias interferentes.

Merece señalar que la transmodulación ionosférica ha perturbado también a servicios distintos del de radiodifusión

Se han comparado [Knight, 1973] los resultados de muchas mediciones de transmodulación ionosférica, y la Fig. 1 muestra que una potencia de 100 kW radiada por una antena corta en frecuencias de la gama inferior de la banda 6 (ondas hectométricas) produce una transmodulación que puede exceder de 2% durante el 50% del tiempo. Puede demostrarse [Haberkant, y otros 1971] que esto corresponde a una transmodulación de 3% durante el 10% del tiempo. Por tanto, la potencia de 100 kW puede compararse directamente con la de 320 kW del Cuadro I. La mayor potencia indicada en este cuadro se debe a que las mediciones de que se deduce dan una transmodulación inferior a los valores estimados en el caso más desfavorable (véase la curva de la Fig. 1).

La Fig. 1 muestra asimismo que la transmodulación causada por transmisores interferentes en la banda 5 (ondas kilométricas) o en frecuencias próximas a la giromagnética, pueden ser 10 dB superiores a los niveles correspondientes a frecuencias de la parte inferior de la banda 6 (ondas hectométricas). Una reducción de 5 dB de la potencia del transmisor interferente disminuye el nivel de transmodulación en 10 dB. Habida cuenta del efecto de la frecuencia de modulación, se llega a la conclusión de que, según la frecuencia interferente las bandas 5 y 6 (ondas kilométricas o hectométricas), las potencias comprendidas entre los valores de los Cuadros I y II y valores inferiores en 7 dB, pueden en el caso más desfavorable, interferir en un servicio por onda ionosférica en forma comparable a la interferencia en el mismo canal con una relación de protección de 30 dB.

Si en vez de proteger un servicio por onda ionosférica contra la transmodulación ionosférica se protege un servicio por onda de superficie, pueden radiarse potencias interferentes algo mayores, porque éstas influyen solamente en la componente ionosférica de la señal recibida. Si el límite de la zona de servicio por onda de superficie se define por la línea en la que la intensidad de campo de dicha onda excede de la intensidad de campo mediana de la onda ionosférica en 14 dB, la transmodulación mediana de la señal resultante será inferior en 10 dB a la transmodulación mediana de la onda ionosférica. Así pues, las potencias interferentes pueden superar en 7 dB a las potencias correspondientes cuando se trata de proteger la onda ionosférica.

5. Utilización práctica de las conclusiones

La U.E.R. ha estudiado las consecuencias, para la planificación en las bandas 5 (ondas kilométricas) y 6 (ondas hectométricas) de las conclusiones preliminares resumidas en el § 4 del presente Informe. El problema más importante es el de la radiación máxima en función de la elevación y del tipo de antena a fin de mantener la interferencia por transmodulación ionosférica inferior a cierto valor. Las conclusiones que pueden extraerse de dichos estudios se indican a continuación.

La perturbación causada por la transmodulación no debe exceder de la debida a la interferencia en el mismo canal con una relación de protección de 30 dB. Sin embargo, la transmodulación, contrariamente a la interferencia en el mismo canal, disminuye al aumentar la frecuencia de modulación. Es necesario pues realizar pruebas subjetivas para determinar la relación entre los dos efectos. Ya se han hecho, y han demostrado que el porcentaje de transmodulación puede ser de 6,3% cuando el transmisor interferente está modulado a 80% por una señal de 300 Hz. Se recomienda considerar este valor como el límite máximo aceptable de transmodulación.

La Fig. 2 (curva A), que tiene en cuenta que la transmodulación depende de la frecuencia de la portadora interferente y de la altura de la capa reflectora, indica la potencia radiada aparente (dB(1kW)) respecto a una antena vertical corta o la fuerza electromotriz (dB(300 V)), en la dirección vertical, que produciría durante el 50% del tiempo la transmodulación arriba especificada. En abscisas se ha llevado la relación entre la frecuencia interferente, F_D , y la girofrecuencia (de aproximadamente 1,25 MHz en Europa). Esta curva se deduce de un gran número de mediciones efectuadas en Europa y Australia (véanse el § 4 y la Fig. 1), considerándose que los valores de transmodulación observados representan los menos favorables que pueden registrarse en el trayecto geográfico más desfavorable.

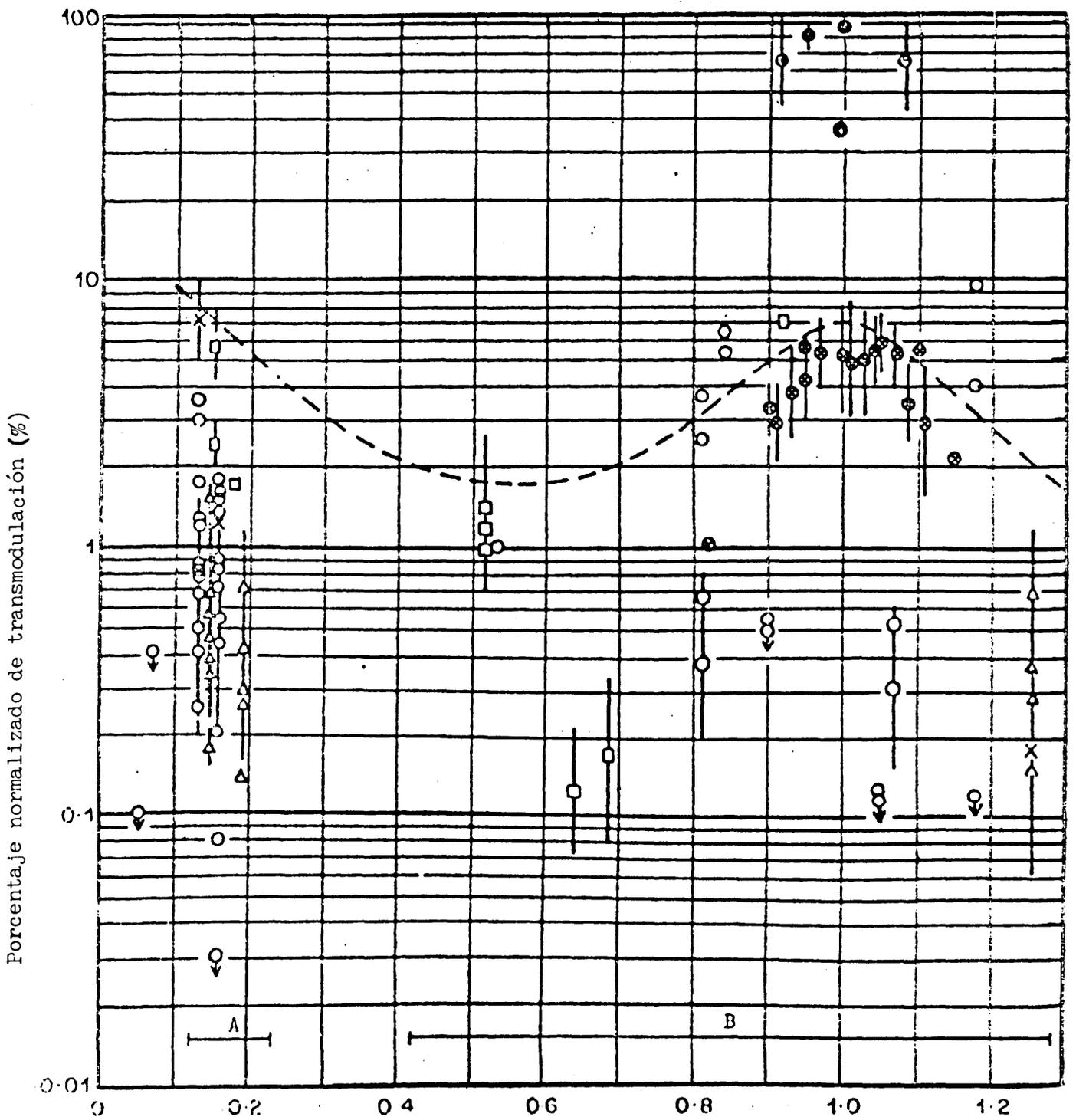
En la práctica, debe tenerse en cuenta el diagrama vertical de la antena así como el aumento de la distancia entre ésta y el punto de reflexión en las direcciones distintas de la vertical. La Fig. 3 indica el aumento de la radiación admisible en direcciones distintas de la vertical, debido solamente al incremento de la distancia. El aumento o la disminución de esta radiación podrá deberse al diagrama vertical de la antena. Para las aplicaciones prácticas, los efectos de la distancia al punto de reflexión y el diagrama vertical, se han combinado en un solo factor de corrección ΔP que debe aplicarse a los valores derivados de la Fig. 2. Este factor de corrección se ha calculado para antenas verticales de diferente longitud eléctrica $X = l/\lambda$ y para dipolos de media onda horizontales a diferentes alturas $X = h/\lambda$ sobre el suelo, en la hipótesis de que la capa ionosférica en que se produce la transmodulación esté a 85 km de altura. Los resultados de este cálculo aparecen en la Fig. 4.

En el caso de un servicio nocturno por onda de superficie que deba protegerse contra la transmodulación, puede suponerse que la intensidad de campo producida por la onda ionosférica del transmisor deseado es inferior en 10 dB a la producida por la onda de superficie en el límite de la zona de servicio. Como sólo la componente ionosférica está sujeta a la transmodulación, puede admitirse un aumento de 5 dB de la radiación si sólo debe asegurarse el servicio por onda de superficie, lo cual conduce a la curva B de la Fig. 2.

Como ejemplo, consideremos una antena vertical corta para la banda 5 (ondas kilométricas) ($F_D/F_H = 0,2$). La Fig. 2 indica que para proteger un servicio por onda de superficie la p.r.a.v. máxima en la dirección vertical debe ser de 20 dB con relación a 1 kW, o sea 100 kW. Sin embargo, esta antena corta

produce la intensidad de campo máxima en la ionosfera a un ángulo de elevación de 45° ; la Fig. 3 indica que puede admitirse un aumento de 3 dB para este ángulo, lo que da una p.r.a.v. de 200 kW. No obstante, es más cómodo especificar la p.r.a.v. en la dirección horizontal. Para una antena corta, la misma es de 3 dB más elevada que a 45° , o sea 400 kW.

Se halla en este caso, con ayuda de la curva A de la Fig. 4, el valor $\Delta P = +6$ dB para una antena corta vertical ($l/\lambda \ll 0,1$), de modo que la potencia total suministrada a la antena es: $P = +26$ (dB(1kW)) \approx 400 kW.



Relación normalizada frecuencia del transmisor interferente/frecuencia giromagnética (F_D/F_H)

FIGURA 1

Transmodulación ionosférica en latitudes medias

- : Mediciones anteriores a 1945 [van der Pol y van der Mark, 1935;
Bäumler y Pfitzer, 1935; Bailey,
1937; Grosskopf, 1938]
- O : Mediciones realizadas en [Huxley y otros, 1947; Ratcliffe y
Cambridge y Birmingham Shaw, 1948; Huxley y otros, 1948;
Huxley, 1950; Shaw, 1951;
Bell, 1951]
- : Mediciones realizadas en Italia [Cutolo y Ferrero, 1948 y 1949;
Cutolo y otros, 1950;
Cutolo, 1952]
- ∅ : Mediciones realizadas en [Bailey y otros, 1952;
Australia Hibberd, 1964]
- Δ : Mediciones posteriores a 1945 [Haberkant y Vogt, 1966;
realizadas en Europa occidental Haberkant y otros, 1971]
- X : Otras mediciones
- : Límite superior semiempírico
- A : Banda 5 (ondas kilométricas)
- B : Banda 6 (ondas hectométricas)

Nota.— Las líneas verticales representan la gama de valores medianos medidos durante una o varias noches. Las flechas descendentes indican la existencia de valores medidos inferiores al valor indicado.

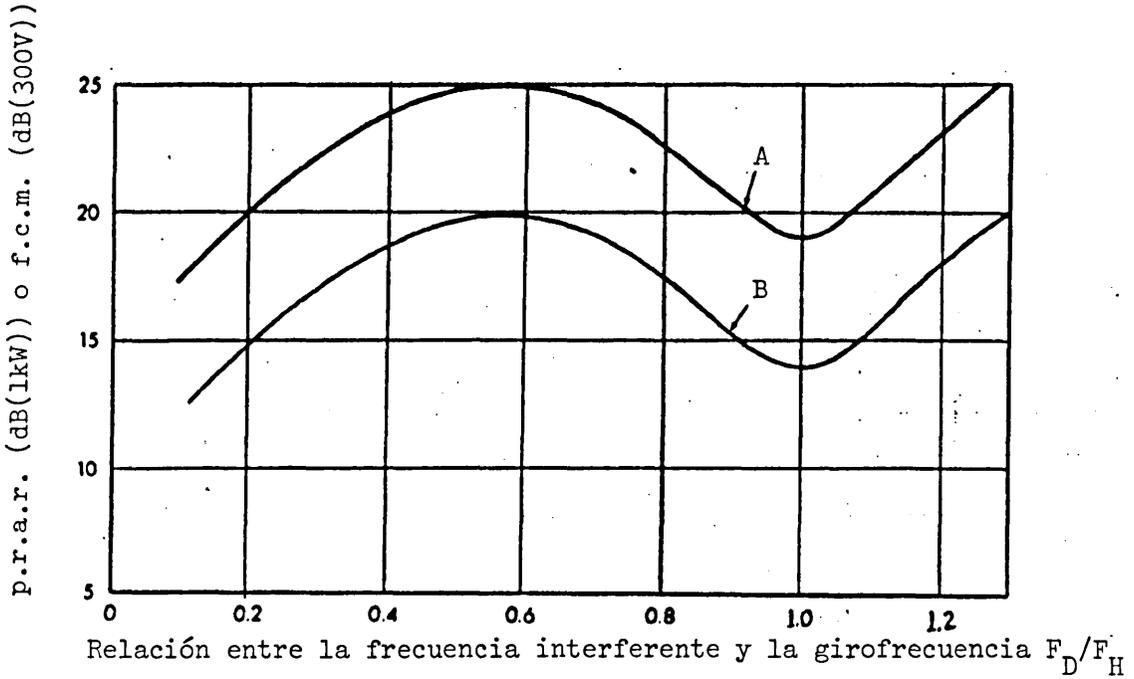


FIGURA 2

Radiación de incidencia vertical que produce una transmodulación casi-máxima de 6,3% a 300 Hz

Curva A: para la protección del servicio por onda ionosférica.
Curva B: para la protección del servicio por onda de superficie.

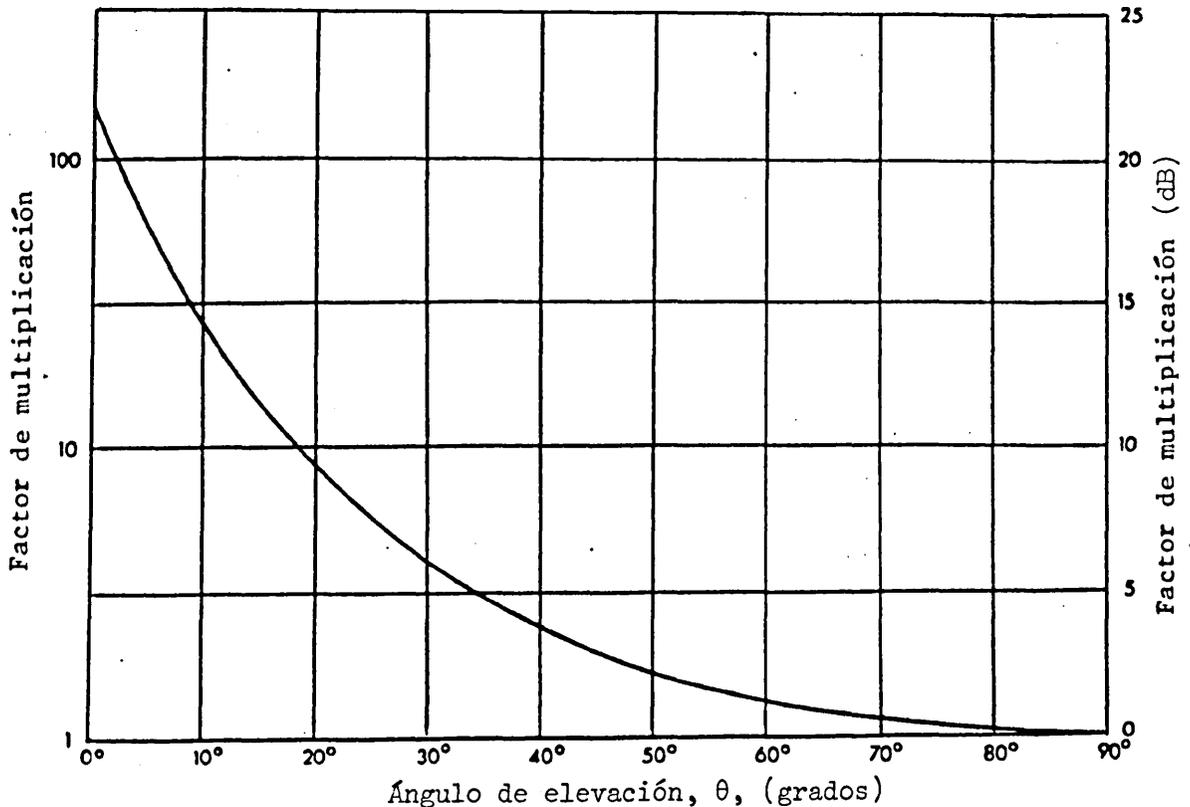


FIGURA 3

Variación de la radiación admisible en función del ángulo de elevación
(teniendo en cuenta la curvatura de la Tierra y suponiendo que la transmodulación se produce a una altitud de 85 km)

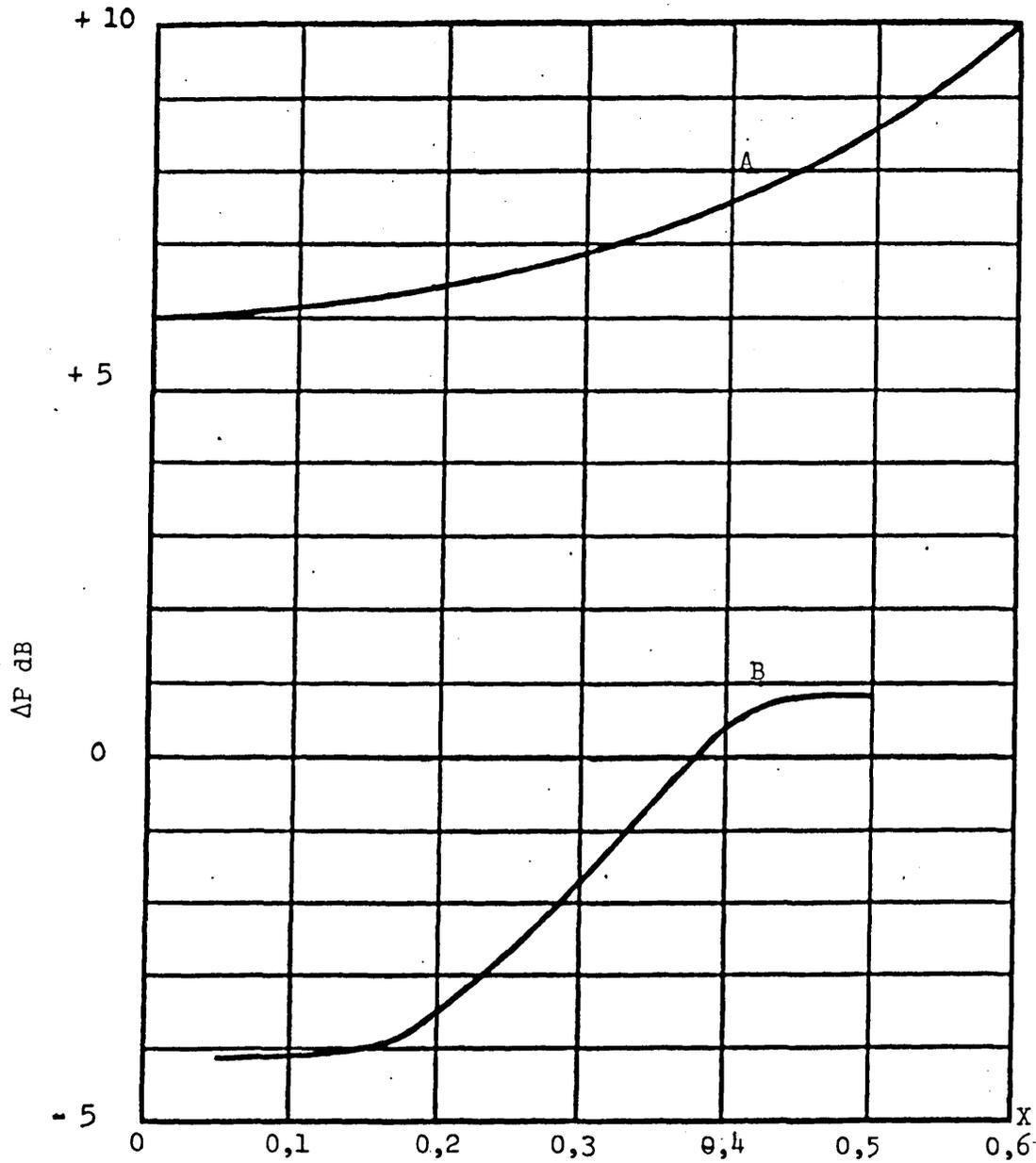


FIGURA 4

Factor de corrección ΔP para distintos tipos de antena

Curva A: Antena vertical

X: altura relativa de la antena (l/λ) (%)

Curva B: Dipolo horizontal ($l = 0,5\lambda$)

X: altura relativa sobre el suelo (h/λ) (%)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAILEY, V.A. [15 de mayo de 1937] Resonance in the interaction of radio waves. Nature, 838-839.
- BAILEY, V.A., y otros [mayo de 1952] Resonance in gyro-interaction of radio waves. Nature, Vol. 169, 911-913.
- BAUMLER, M., y PFITZER, W. [diciembre de 1935] Untersuchung der gegenseitigen Modulations-beeinflussung elektrischer Wellen mit deutschen Rundfunksendern (Investigación de la influencia de la intermodulación en las ondas radio-eléctricas con los transmisores de la radiodifusión alemana). Hochfrequenz-technik und Elektroakustik, Vol. 46, 181-186.
- BELL, D.A. [1951] Ionospheric interaction in disturbed conditions. Proc. Phys. Soc. (Sección B), Vol. 64, 1053-1062.
- CUTOLO, M. [mayo de 1952] Determinazione sperimentale delle curve di risonanza nel moto degli elettroni lenti dell'alta atmosfera (Determinación experimental de las curvas de resonancia del movimiento de los electrones lentos en la atmósfera superior). Nuovo Cimento, Vol. IX, 391-406.
- CUTOLO, M., y FERRERO, R. [octubre de 1948] Misura del grado di modulazione parassita nel fenomeno di girointerazione (Medición del grado de modulación parásita en el fenómeno de giro-interacción). Alta Frequenza, Vol. XVII, 212-216.
- CUTOLO, M., y FERRERO, R. [enero de 1949] Photographic record and diagrams of Luxembourg effect with resonance (gyro-interaction). Nature, Vol. 163, 58-59.
- CUTOLO, M., FERRERO, R. y MOTOZO, M. [1950] Determinazione sperimentale della curva di risonanza nel fenomeno di girointerazione (Determinación experimental de la curva de resonancia en el fenómeno de giro-interacción). Alta Frequenza, Vol. XIX, 3-8.
- GROSSKOPF, J. [enero de 1938] Die gegenseitige Modulationsbeeinflussung elektromagnetischer Wellen in der Ionosphäre (Influencia de la intermodulación de las ondas radioeléctricas en la ionosfera). Hochfrequenztechnik und Elektroakustik, Vol. 51, 18-30.

- HABERKANT, E. y VOGT, K. [agosto de 1966] Mesure de la transmodulation ionosphérique sur deux émetteurs de grande puissance en ondes longues. Revista de la U.E.R., 98-A, 154-161.
- HABERKANT, E. y VOGT, K. [1966] Messung der ionosphärischen Kreuzmodulation bei den Langwellen-Rundfunksendern Europa I und Luxemburg (Medición de la transmodulación ionosférica en las emisiones de ondas largas de Europa I y Luxemburgo). Rundfunktechnische Mitteilungen, 4, 206-212.
- HABERKANT, E., HEINZELMANN, G. y VOGT, K. [abril de 1971] La mesure de la transmodulation ionosphérique. Revue de l'U.E.R., 126-A, 50-55.
- HABERKANT, E., HEINZELMANN, G. y VOGT, K. [1971] Die Messung der ionosphärischen Kreuzmodulation (La medición de la transmodulación ionosférica). Rundfunktechnische Mitteilungen 2, 49-55.
- HIBBERD, F.H. [1964] An experimental study of gyro interaction in the ionosphere, at oblique incidence. National Bureau of Standards, Technical Note 211, Vol. 4, 45-64.
- HUXLEY, L.G.H. [febrero de 1950] Ionospheric cross-modulation at oblique incidence. Proc. Royal Society, Vol. 200, Serie A, 486-511.
- HUXLEY, L.G.H. [1952] A synopsis of ionospheric cross-modulation. Nuovo Cimento, Suplemento al Vol. IX, Serie IX, 59-89.
- HUXLEY, L.G.H., FOSTER, H.G., y NEWTON, C.C. [1.º de marzo de 1947] Gyro interaction of radio waves. Nature, 300-301.
- HUXLEY, L.G.H., FOSTER, H.G. y NEWTON, C.C. [agosto de 1948] Measurements of the interaction of radio waves in the ionosphere. Proc. Phys. Soc., Vol. 61, 134-146.
- KNIGHT, P. [mayo de 1973] LF and MF propagation: a study of ionospheric crossmodulation measurements. BBC Engineering, 94, 12-21.
- LAITINEN, O.P., y HAYDEN, G.W. [1953] Analysis and prediction of sky-wave field intensities in the HF-band, RPU 203, Technical Report N.º 9, Signal Corps Radio Propagation Agency, Fort Monmouth, New Jersey, U.S.A.
- RATCLIFFE, J.A., y SHAW, I.J. [julio de 1948] A study of the interaction of radio waves. Proc. Royal Society, Vol 193, Serie A, 311-343.
- SHAW, I.J. [enero de 1951] Some further investigations of ionospheric cross-modulation. Proc. Phys. Soc. (Sección B), Vol. 64, 1-20.

SHAW, I.J. [noviembre de 1951] Ionospheric cross-modulation. Wireless Engineer, Vol. 28, 335-342.

VAN DER POL, B., y VAN DER MARK, J. [1935] Interaction of radio waves. Tijdschrift Nederlandsch Radio Genootschap, Vol. VII, Parte I, 12-17; Parte II, 93-97.

WHYTHE, D.J. y REED, C.R.G. [1973/5] Ionospheric non-linearity: protection ratios required againsts cross-modulation interference (Luxembourg Effect), BBC Research Department Report.

BIBLIOGRAFÍA

BAILEY, V.A. [1956] On the interaction of radio waves. Nuovo Cimento, Suplemento al Vol. IV, Serie X, 1430-1449.

B.B.C. [6 de noviembre de 1968] Research Department Report RA-17. Ionospheric non-linearity. Doc. Com T.(A) 73/Com.T. (B) 97.

INFORME 616*

COBERTURA DE RADIODIFUSIÓN EN LA BANDA 6
(ONDAS HECTOMÉTRICAS): PROBLEMAS DE EXPLOTACIÓN

(Programa de estudios 25F-1/10)

1. Cobertura diurna

(1974)

Los siguientes resultados se basan en las curvas de propagación por ondas de superficie que figuran en la Recomendación 368-2.

Debido a la importante absorción de la onda ionosférica durante el día, sólo cabe utilizar la onda de superficie. El radio de servicio (véase el anexo I) depende de la frecuencia y de las características eléctricas del suelo en el interior de la zona de servicio; para potencias de transmisión elevadas, ese radio es del orden de los 100 km. Una red de transmisores optimizada para la cobertura diurna puede establecerse con distancias muy pequeñas entre transmisores que compartan el mismo canal, es decir, con una densidad de transmisores considerablemente superior a la actual. Por ejemplo, con transmisores que funcionen en un mismo canal y guarden entre sí una distancia media de 500 km, una red explotada de día cubriría la totalidad del territorio con diez programas aproximadamente y una buena calidad de recepción.

La cobertura diurna no plantea, pues, problemas desde el punto de vista técnico.

2. Cobertura nocturna

En el crepúsculo la absorción de la onda ionosférica es muy reducida y, a distancias de varios miles de kilómetros, aparecen campos elevados en un periodo de una o dos horas. Como resultado se producen interferencias que limitan la zona de servicio por onda de superficie. La onda ionosférica se considera sobre todo una fuente de interferencia y sólo en casos especiales puede preverse su empleo sistemático.

Durante la noche, la presencia de la onda ionosférica plantea complejos problemas técnicos, y obliga a preparar planes para zonas muy amplias sobre la base de acuerdos internacionales.

* Adoptado por unanimidad.

Para tener una idea clara de las posibilidades de transmitir programas radiofónicos en la banda 6 (ondas hectométricas) según varias hipótesis básicas, se han efectuado, en el marco de la U.E.R., gran número de asignaciones experimentales de frecuencias, habiéndose calculado los factores de cobertura obtenidos. Los estudios se hicieron para regiones geográficas concretas, en particular, para las zonas de radiodifusión europea y africana.

En estas pruebas se partió de transmisores distribuidos bastante uniformemente, de potencia idéntica radiada por antenas omnidireccionales, pero cuyos emplazamientos coincidían con los reales o previstos en Europa y África. Las zonas de cobertura se calcularon por un método estadístico, teniendo solamente en cuenta las interferencias debidas a los demás transmisores. Este método de cálculo permite comparar válidamente los resultados obtenidos en dos pruebas diferentes, pero los valores absolutos obtenidos deben emplearse con cautela.

Para efectuar los cálculos se utilizaron diferentes valores de la relación de protección en radiofrecuencia* que corresponden evidentemente a distintas calidades de servicio. Por supuesto, la extensión de las zonas de servicio así calculadas es tanto mayor cuanto menor sea la relación de protección. El aumento de la zona de servicio, cuando la relación de protección (es decir, la calidad de servicio) disminuye no significa que se lograrán mejores condiciones de escucha: las condiciones de escucha no dependen de la relación de protección sino sólo de la potencia y de la disposición de los transmisores interferentes.

Conviene observar que si se comparan los resultados de dos pruebas diferentes, esas diferencias pueden ser más o menos pronunciadas según la relación de protección, es decir, la calidad de servicio adoptada. Por tal motivo, no deben discutirse los resultados de los cálculos sin una indicación de la calidad de servicio correspondiente.

Por último, conviene recordar que en los cálculos se han utilizado datos estadísticos de propagación. En particular, se han elegido curvas de previsión del campo ionosférico que representan valores medios (es decir, durante el 50% del tiempo) para una frecuencia media de 1000 kHz.

Cabe suponer, pues, que los resultados obtenidos representan la situación media en el conjunto de la banda 6 (ondas hectométricas).

A continuación se resumen algunos de esos resultados.

* Según se la define en la Recomendación 447.

2.1 Cobertura nocturna por onda de superficie

La cobertura global por onda de superficie depende, en primer lugar, de la distancia entre transmisores que comparten el mismo canal, es decir, de la densidad de transmisores. Para una potencia de transmisión dada, la cobertura por onda de superficie crece con dicha distancia (véase el Informe 400-2). Así pues, para transmisores de 300 kW y relaciones de protección supuestas de 40, 33 ó 27 dB, el empleo de los 121 canales actualmente disponibles en la banda 6 (ondas hectométricas) permite cubrir los siguientes porcentajes de toda la superficie de Europa y África:

CUADRO I

Distancia entre transmisores que comparten el mismo canal (km)	Cobertura en onda directa					
	Relación de protección en radiofrecuencia					
	40 dB		33 dB		27 dB	
	Número de programas	Superficie cubierta (%)	Número de programas	Superficie cubierta (%)	Número de programas	Superficie cubierta (%)
2700	1	6	1	11	1	21
3500	1	8	1	15	1	25
4100	1	9	1	17	1	28

Debido a la inseguridad de las predicciones de intensidad de campo para distancias superiores a 3.500 km, todavía no es posible precisar hasta qué punto la elección de distancias superiores a los valores indicados podría aumentar aún la cobertura por onda de superficie. Los valores de cobertura mencionados en el cuadro podrían mejorarse eventualmente mediante el empleo de redes sincronizadas y de antenas directivas. Además, puede hacerse que la cobertura de las zonas pobladas sea superior a la de la superficie eligiendo adecuadamente la ubicación de los transmisores. Se dispone de poca información numérica sobre estas posibles mejoras.

El problema de la potencia de transmisión que procura la mayor cobertura posible por onda de superficie para determinada densidad de transmisores ha sido objeto de estudios detallados (véase el Informe 400-2) de los que puede deducirse una respuesta suficientemente precisa. Debe recordarse, además, que la cobertura nocturna por onda de superficie se ve también limitada por las interferencias entre la onda de superficie y la onda ionosférica del mismo transmisor. Sin embargo, no se ha tenido en cuenta este efecto para calcular los valores aproximados de alcance de servicio indicados en el Anexo II.

2.2 Cobertura por onda ionosférica

Partiendo de las mismas hipótesis que en el § 2.1 (transmisores de 300 kW y relaciones de protección respectivas de 40, 33 ó 27 dB), la onda ionosférica facilitaría la siguiente cobertura de las zonas de Europa y África, utilizando toda la banda 6 (ondas hectométricas):

CUADRO II

Distancia entre transmisores que comparten el mismo canal (km)	Relación de protección en radiofrecuencia					
	Relación de protección para frecuencias radioeléctricas (dB)					
	40 dB		33 dB		27 dB	
	Número de programas	Superficie cubierta (%)	Número de programas	Superficie cubierta (%)	Número de programas	Superficie cubierta (%)
2700	despreciable		1	30%	6,1	100%
3500	1	15%	7,4	100%	23,3	100%
4100	2,5	100%	14,9	100%	31,6	100%

Se comprueba que el servicio nocturno por onda ionosférica depende, mucho más que el servicio por onda de superficie, de la densidad de transmisores adoptada: para grandes densidades de transmisores (es decir, para distancias inferiores a 2.700 km los transmisores que comparten el mismo canal), la cobertura nocturna por onda ionosférica disminuye rápidamente, mientras que una distancia de 4.100 km permitiría recibir varios programas en cualquier lugar de la zona considerada. Naturalmente, la mayoría de esos programas procedería de un transmisor a gran distancia del punto de recepción. No debe perderse de vista, además, que no es posible obtener permanentemente una buena calidad por onda ionosférica, contrariamente a lo que ocurre con la onda de superficie. Debe tenerse también en cuenta que, en la práctica, la zona cubierta durante la noche será discontinua, ya que habrá una zona anular, alrededor de 100 a 200 km, con desvanecimientos selectivos producidos por la interferencia entre las ondas ionosférica y de superficie. Hasta ahora no se ha tenido en cuenta este fenómeno en los estudios. En el Anexo II se dan ejemplos de valores aproximados del alcance de servicio. Además, el empleo de la onda ionosférica permitiría una mejor utilización del espectro en lo que respecta a la cobertura de la zona ya que la relación entre las superficies de las zonas servidas y de las zonas de interferencia es más favorable. Conviene recordar, finalmente, que una cobertura nocturna satisfactoria por onda de superficie dará también lugar, normalmente, a una cobertura satisfactoria por onda ionosférica.

2.3 Combinación de servicios por onda de superficie y por onda ionosférica

De los §§ 2.1 y 2.2 puede deducirse la posibilidad de lograr buenos resultados con ambos tipos de servicio, a condición de que los transmisores de gran potencia que compartan el mismo canal están suficientemente alejados.

3. Combinación de los servicios nocturno y diurno

Como se ha indicado en los §§ 1 y 2, las redes de transmisores concebidas para una buena cobertura diurna difieren fundamentalmente de las dispuestas para una buena cobertura nocturna: las distancias entre transmisores que comparten el mismo canal serían, por ejemplo, de unos 500 km en el primer caso y de unos 4.000 km en el segundo. Como el número total de transmisores de las dos redes correspondientes estaría en una relación igual al cuadrado de la razón de distancias entre transmisores que comparten el mismo canal, la coexistencia de las dos redes significaría que, en este ejemplo, de 64 transmisores sólo podría funcionar uno después de la puesta del Sol. En este ejemplo, se comparan dos casos extremos de condiciones de cobertura óptimas, ninguno de los cuales coincide con la práctica actual. Toda red en que se mantuvieran en servicio de día y de noche todos los transmisores daría lugar a una cobertura reducida, ya sea de día, ya sea de noche; o, en el caso de una red constituida con arreglo a una solución transaccional entre ambos servicios, a una cobertura menos favorable, tanto de día como de noche.

Por otra parte, el paso de una red diurna a una red nocturna, ambas concebidas para una cobertura eficaz, plantearía problemas administrativos y de explotación. Como se ha demostrado, en efecto, la mayoría de los transmisores diurnos deberían dejar de funcionar desde el ocaso hasta el orto, para evitar interferencias inaceptables durante las horas nocturnas. La hora del cese de la emisión depende, en efecto, de la época del año y de la latitud, sobre todo para latitudes altas y medias. Además, debido a la aparición relativamente lenta de la onda ionosférica tras el ocaso, habrá siempre un periodo en que las redes de transmisores diurnos estarán interferidas (en caso de que funcionen todavía todos los transmisores), o durante el cual la onda ionosférica será todavía demasiado débil. Aunque parezca que los inconvenientes mencionados impiden la generalización de este modo de explotación, son tan importantes las ventajas que podría proporcionar que conviene proceder a un examen más profundo, especialmente para ciertos casos particulares.

4. Cobertura de las zonas pobladas

Aunque la superficie abarcada representa un aspecto importante de la cobertura, ésta presenta otra faceta, a saber, la cobertura de la población. En algunos países [Suzuki y otros, 1974], se han iniciado estudios sobre este problema, que deben ser proseguidos y ahondados.

5. Mejoramiento de la cobertura

5.1 Redes sincronizadas

Se denomina red sincronizada a un grupo de transmisores que funcionan en la misma frecuencia y transmiten el mismo programa. La red así constituida está esencialmente destinada al servicio por onda de superficie.

En la mayoría de países europeos, gracias al uso de redes sincronizadas en lugar de un transmisor único, de potencia equivalente a la suma de las potencias de los transmisores de la red, se consigue adaptar mejor las zonas servidas a la distribución de la población y, por consiguiente, aumentar el número de oyentes. En Anexo III, se dan algunos ejemplos de los resultados obtenidos en distintos países. La eficacia de las redes sincronizadas se revela especialmente en países con zonas de gran densidad de población relativamente alejadas.

Debe señalarse también que:

- La calidad de la recepción por onda de superficie sólo es aceptable en zonas donde la intensidad de campo de uno de los transmisores predomina netamente;
- La interferencia producida por una red sincronizada equivale a la de un transmisor único (con potencia igual a la potencia total de la red) teóricamente ubicado en el "centro de gravedad" de la red, por lo menos cuando la distancia media entre transmisores de la red es inferior a la décima parte, aproximadamente, de la distancia del transmisor más próximo que comparte el mismo canal;
- Las redes sincronizadas son poco utilizables para países de muy pequeña extensión;
- El empleo de antenas transmisoras directivas mejora la cobertura de los transmisores sincronizados;
- El uso de demoduladores sincrónicos da lugar a una disminución de las distorsiones no lineales producidas por las interferencias entre transmisores de una red sincronizada, lo que permitiría aumentar la cobertura obtenida con tales redes.

Por otra parte, los transmisores de una red sincronizada pueden difundir programas diferentes, aunque únicamente de día y a condición de que estén suficientemente alejados.

Evidentemente, los gastos de inversión y de explotación son superiores para una red sincronizada que para un transmisor único; sin embargo, debiera encararse el empleo de redes sincronizadas siempre que puedan aprovecharse las ventajas mencionadas.

5.2 Directividad de las antenas

5.2.1 Diagrama vertical de antenas transmisoras con polarización vertical

Puede concebirse una antena con un diagrama de radiación especial en el plano vertical, de modo que se concentre la potencia en uno o varios sectores verticales particulares, permitiendo con ello la realización del tipo de cobertura deseado.

Concentrando la energía en el plano horizontal, es posible aumentar la cobertura diurna por ondas de superficie, o utilizar una potencia de transmisión inferior, sin disminuir la cobertura. Si la cobertura por onda de superficie está limitada a causa de desvanecimientos y no por la interferencia de transmisores en el mismo canal, podrá mejorarse la cobertura por onda de superficie mediante una antena antidesvanecimientos. Sin embargo, sólo podrá obtenerse ese mejoramiento en frecuencias de la parte inferior de la banda 6 (ondas hectométricas) y en lugares donde la conductividad del suelo sea superior a la media. Por último, aunque estas antenas pueden contribuir a reducir la intermodulación ionosférica, ofrecen, en cambio, un servicio de inferior calidad por onda ionosférica, y el mismo nivel de interferencia, para alcances menores (distancias superiores a 2.000 km).

Concentrando la energía fuera del plano horizontal, se mejora la cobertura por onda ionosférica; pero la cobertura por onda de superficie disminuye y aumenta el riesgo de intermodulación ionosférica.

5.2.2 Diagrama horizontal de antenas transmisoras con polarización vertical

Pueden obtenerse condiciones particulares de cobertura concentrando la energía radiada en determinadas direcciones horizontales. Aunque no se obtenga un mejoramiento de la cobertura global, el empleo generalizado de antenas directivas en un plan de asignación de frecuencias puede favorecer la cobertura nacional de los países, debido esencialmente a que estas antenas permiten una mejor adaptación a determinadas zonas de servicio deseadas, así como en ciertos casos, la reducción de la interferencia. Además, en casos particulares, el empleo de antenas directivas en el plano horizontal puede permitir el uso de un canal en una zona determinada, cuando sería imposible utilizarlo con una antena omnidireccional. En efecto, la antena directiva permite reducir la interferencia en la zona de servicio de un transmisor que comparta el mismo canal y, por consiguiente, disminuir la distancia de compartición. Esta es una de las principales ventajas de las antenas directivas.

5.2.3 Aspectos económicos

De modo general, cualquier antena que ofrezca características de radiación especiales en el plano horizontal o vertical resultará más costosa que una simple antena no directiva. Las características especiales del diagrama vertical se traducen generalmente por estructuras más altas, y el costo aumenta rápidamente con la altura.

Las características especiales del diagrama horizontal requieren antenas de varios elementos y un terreno de mayor superficie para su instalación.

El costo de cualquier tipo de antena será inferior para la parte superior de la banda 6 (ondas hectométricas). Las condiciones climáticas locales pueden constituir un factor importante del precio de la antena.

5.3 Comparación entre las antenas de elementos radiantes verticales y las de elementos radiantes horizontales

Una antena transmisora vertical clásica asegurará un buen servicio por onda de superficie con alcance reducido, y un servicio nocturno por onda ionosférica con alcances superiores. A distancias intermedias, aparece una zona en que los desvanecimientos son más molestos, debido a que las ondas de superficie ionosférica producen en ella campos aproximadamente iguales.

El empleo de un elemento o grupo de elementos radiantes horizontales, factible en la banda 6 (ondas hectométricas), presenta ventajas seguras si el objetivo principal consiste en asegurar un servicio nocturno por onda ionosférica, pero no es adecuada para un servicio diurno por onda de superficie.

La ventaja esencial es que permite producir un campo ionosférico aproximadamente constante desde el transmisor hasta los bordes de la zona de servicio. Pueden concebirse antenas de este tipo para obtener un radio de servicio igual al máximo realizable (unos 1.000 km) o para un alcance más limitado (500 km, por ejemplo). Sin embargo, en las cercanías del transmisor (algunos kilómetros), puede producirse una disminución de la calidad a consecuencia de la interferencia entre la onda de superficie, débil pero inevitable, y la onda ionosférica. Para servir adecuadamente la zona en cuestión, puede recurrirse a un pequeño transmisor "de relleno" que trabaje en otra frecuencia y con polarización vertical.

Se han efectuado cálculos teniendo en cuenta las diferencias de directividad y de pérdida por acoplamiento de polarización en el caso de un dipolo horizontal simple en lugar de una antena vertical corta [Suzuki y otros, 1974]. Conviene subrayar la importancia de tener en cuenta la conductividad imperfecta del suelo que, no solo disminuye la radiación de las antenas verticales

para pequeños ángulos de elevación, sino que aumenta también la radiación de las antenas horizontales con esos ángulos en ciertas direcciones. En este último caso, se corre el riesgo de sobreestimar hasta en 20 dB la reducción de la interferencia en el mismo canal que cabe esperar con pequeños ángulos de propagación utilizando una antena transmisora horizontal en vez de una antena vertical, en la hipótesis de un suelo perfectamente conductor, cuando, en la práctica éste es de conductividad mediocre.

Los resultados de estudios teóricos [BBC, 1972] muestran que, para una potencia de transmisión dada, cuando las reflexiones se limitan a la región E, el empleo de un dipolo horizontal simple en lugar de una antena vertical corta puede reducir de 10 a 15 dB el nivel de interferencia en el mismo canal en el caso de terrenos de características medias. Estudios y mediciones efectuadas en latitudes templadas han demostrado, sin embargo, que en las frecuencias y periodos en que se producen reflexiones con grandes ángulos de incidencia en la región F, la ventaja es mucho menos importante debido a la intensa excitación de los modos de propagación por saltos múltiples.

El uso de una antena horizontal presenta el inconveniente de que es preciso reemplazarla por una antena vertical para asegurar el servicio diurno; pero, en general, puede obtenerse una zona de servicio comparable, sin tener que emplear varios transmisores. También en este caso se plantea un problema práctico de conmutación de antenas, ya examinado en el § 3. Otro inconveniente es el aumento del costo de las antenas de transmisión, sobre todo en las frecuencias inferiores de la banda 6 (ondas hectométricas).

Por lo general será necesario limitar la potencia radiada en función del ángulo en el plano vertical, a fin de evitar una grave intermodulación ionosférica. (Véase el Informe 460-1). Puede resultar más difícil respetar esta condición con antenas horizontales que con antenas verticales.

Recientemente se ha sugerido que una antena horizontal debiera componerse de uno o más pares de dipolos cruzados, debidamente alimentados para transmitir ondas polarizadas elípticamente en las direcciones deseadas, a fin de excitar la onda ordinaria con más intensidad que la extraordinaria. La principal ventaja frente a un sistema de radiación de ondas de polarización lineal es que, como la intermodulación ionosférica se debe principalmente a la onda extraordinaria, esta intermodulación sería teóricamente inferior para una potencia de transmisión dada. Otra ventaja sería la reducción de las pérdidas por acoplamiento de polarización.

En conclusión, puede decirse que la radiación vertical de antenas de polarización horizontal puede ser útil en ciertos casos especiales. Sin embargo, la información disponible no permite recomendar su introducción general en un plan de asignación de frecuencias, como medio para obtener una mayor densidad de asignaciones.

En Polonia se han realizado mediciones para comparar la eficacia de la polarización vertical y horizontal para un servicio por onda de superficie utilizando frecuencias de la parte superior de la banda 6 de radiodifusión (ondas hectométricas). Tales mediciones se han hecho a distancias de hasta 20 km del transmisor, en trayectos sobre regiones edificadas (por oposición a los trayectos despejados). Los resultados muestran que la atenuación de las ondas de polarización horizontal es considerablemente inferior a lo que sería de prever conforme a la teoría de la propagación de la onda de superficie sobre un terreno uniforme [Siczek y Stasiński].

5.4 Transmisores de poca potencia

Los transmisores de poca potencia están destinados a servir zonas de muy poca extensión, como por ejemplo ciudades, en las que la intensidad de campo producida por los transmisores principales es insuficiente; o eventualmente a la difusión de programas locales.

Para la eficacia del servicio, dichos transmisores deben formar parte del plan. En la práctica, sólo pueden funcionar con un campo protegido claramente superior al de las otras estaciones (particularmente de noche).

Aparte de los transmisores de poca potencia que forman parte de redes sincronizadas (véase el § 5.1), estos transmisores pueden emplear:

- ya sea canales asignados a transmisores de diferentes potencias,
- ya uno o varios canales especiales (anteriormente denominados "Frecuencias comunes internacionales" (FCI)).

En el primer caso deben precisarse claramente en el plan la ubicación de los transmisores y sus demás características; toda inserción ulterior sería peligrosa. En el segundo, bastaría con precisar las zonas geográficas donde pueden hallarse esos transmisores (habida cuenta de las interferencias causadas a los canales adyacentes), e indicar el número de transmisores por zona y la potencia máxima que no debe rebasarse.

Los estudios ya realizados indican que el número actual de frecuencias comunes internacionales (dos) es muy insuficiente, y que serían preferibles de cinco a diez.

Desde el punto de vista técnico, esos transmisores serían más eficaces si sus canales se dispusieran en la parte inferior de la banda 6 (ondas hectométricas); pero, en la práctica será, sin duda, necesario dispersarlos en el espectro. Por otra parte, la potencia máxima por transmisor y el número de transmisores están en función de la frecuencia [Lari y Moro, 1971].

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- B.B.C. [1972] Research Report N.º 1972/21. MF propagation: the reduction of interference by the use of horizontal-dipole transmitting aeri^oals
- LARI, G. y MORO, G. [octubre de 1971], Low-power MF broadcasting transmitters in the European Broadcasting Area, E.B.U. Review. Part A, Technical, 129, 205-213
- SICZEK, S., STASIERSKI, L., Porównanie skuteczności nadawania z polaryzacją, pionową i poziomą (Comparación de la eficacia de las antenas transmisoras horizontales y verticales). Prace Instytutu Łączności. Polonia. (En prensa)
- SUZUKI, Yoshio y otros [enero de 1974], Influence of propagation curves on the coverage factor. NHK Laboratories Note, Serial N.º 178.

BIBLIOGRAFÍA

- U.E.R. [mayo de 1974] Doc. tech. 3206: Paramètres techniques pour la radio-diffusion en ondes kilométriques et hectométriques
- C.C.I.R. [1971-1974] Doc. 10/187, Reino Unido
- C.C.I.R. [1971-1974] Doc. 10/252, U.E.R.
- C.C.I.R. [1971-1974] Doc. 10/271, Polonia (República Popular de).

Anexos: 3

ANEXO I

VALOR APROXIMADO DEL ALCANCE EN SERVICIO DIURNO

El alcance en servicio diurno se ha calculado, en ausencia de interferencia producida por otros transmisores, con ayuda de las curvas de propagación de la Recomendación 368-2. En lo que respecta a la limitación del alcance de servicio, se han supuesto, en principio, los siguientes valores de intensidad de campo mínima:

2,2 mV/m (67 dB (µV/m)) para el tercio inferior de la banda 6 (ondas hectométricas) (525 a 900 kHz aproximadamente),

0,8 mV/m (58 dB (µV/m)) para el tercio superior de la banda 6 (ondas hectométricas) (de unos 1 250 kHz a 1 605 kHz).

Para la conductividad del suelo, se han adoptado tres valores:

- buena conductividad ($\sigma = 10 \times 10^{-3}$ S/m)
- conductividad media ($\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m)
- conductividad mediocre ($\sigma = 1 \times 10^{-3}$ S/m)

Al examinar las cifras así obtenidas, no debe perderse de vista que la situación media de las ubicaciones de transmisores en numerosos países no corresponde, de ningún modo, a una conductividad de $\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m; además, el que esos emplazamientos estén a menudo en terreno accidentado o montañoso es normalmente causa de alcances inferiores a los indicados.

Se supone que la potencia radiada en el plano horizontal es de 500 kW.

CUADRO III

Frecuencia (kHz)	Alcance de servicio (km)		
	$\sigma = 1$	$\sigma = 3$	$\sigma = 10$
<u>Tercio inferior de la banda 6</u>			
525 kHz		180	310
900 kHz	80	130	
<u>Tercio superior de la banda 6</u>			
1 250 kHz		105	180
1 605 kHz	60	90	

ANEXO II

VALOR APROXIMADO DEL ALCANCE EN SERVICIO NOCTURNO

El alcance en servicio nocturno ha sido calculado habida cuenta de de las siguientes hipótesis:

- dos transmisores de igual frecuencia distantes 3.500 km y que radían con potencias iguales de valor tal que su interferencia mutua sea el único factor limitador de su alcance*; no se ha tenido en cuenta la interferencia entre la onda de superficie y la onda ionosférica del transmisor deseado;
- propagación por onda de superficie según la Recomendación 368-2;
- conductividad del suelo: $\sigma = 3 \times 10^{-3}$ S/m;
- propagación de la onda ionosférica según el Informe 264-3;
- relación de protección: 27, 33 ó 40 dB.

CUADRO IV

Relación de protección (dB)	Radio de servicio (km)	
	525 kHz	1 605 kHz
<u>Cobertura por onda de superficie</u>		
27	170	90
33	135	70
40	95	55
<u>Cobertura por onda ionosférica</u>		
27	635	850
33	420	660
40	< 300 (1)	450

(1) Las curvas del C.C.I.R. no son aplicables a distancias inferiores a 300 km.

* La tendencia indicada en el Cuadro IV se pone igualmente de manifiesto para otros casos de interferencia (más de dos transmisores, distancias diferentes, etc.).

ANEXO III

COBERTURA CON REDES SINCRONIZADAS

El Cuadro V muestra el resultado de estudios comparativos de la cobertura diurna y nocturna, obtenida con una red de transmisores sincronizados, y de la que se habría obtenido con un transmisor ficticio único, ubicado en un lugar adecuado y radiando una potencia equivalente a la suma de las potencias de los transmisores de la red sincronizada.

CUADRO V

Relación entre los valores de cobertura obtenidos con un grupo de transmisores sincronizados y los obtenidos con un transmisor único

Fuente	Frecuencia (kHz)	Número de transmisores	Potencia total (kW)	Relación de cobertura			
				Diurna		Nocturna	
				Superficie	Población	Superficie	Población
O.R.F.	1 025	4	300	1,45	1,68		1,83
B.B.C.	1 214	16	270		1,26		3,2 ⁽¹⁾ 3,0 ⁽²⁾
RAI	1 367	14	85	2,12	3,84	1,39 ⁽³⁾ 1,18 ⁽⁴⁾ 0,81 ⁽⁵⁾	6,24 ⁽³⁾ 7,39 ⁽⁴⁾ 17,74 ⁽⁵⁾

- (1) Teniendo en cuenta las interferencias producidas por transmisores distintos de los pertenecientes a la red sincronizada.
- (2) Interferencias mutuas producidas por transmisores de la red sincronizada solamente.
- (3) Relación de protección para transmisores que comparten el mismo canal no pertenecientes a la red sincronizada: 20 dB.
- (4) Relación de protección para transmisores que comparten el mismo canal no pertenecientes a la red sincronizada: 25 dB.
- (5) Relación de protección para transmisores que comparten el mismo canal no pertenecientes a la red sincronizada: 40 dB.

INFORME 617*

CARACTERÍSTICAS DE LOS RECEPTORES DE RADIODIFUSIÓN SONORA

Y DE LAS ANTENAS RECEPTORAS

Características principales a los efectos de la planificación de
frecuencias

(Programa de estudios 36A/10)

(1974)

1. Introducción

Junto con los métodos de medición y los valores límites, pueden definirse muchas características de los receptores de radiodifusión sonora de las antenas, pero para el C.C.I.R. sólo ofrecen interés las que revisten importancia para la planificación de frecuencias. Algunas de estas características se consideran en numerosas Recomendaciones e Informes (véanse las Recomendaciones 237-1, 239-1, 331-3, 332-3, 333, 334-2, 412-1, 413-3, 415, 416, 447, 448-1, 449-2; y los Informes 184-2, 185-2, 186-2, 188-1, 189, 190-1, 192-1, 193-1, 298-3, 300-3, 302, 328, 330, 399-2, 405-2, 458-1, 459-1, 464-1), gran parte de cuyo contenido tal vez haya quedado anticuado por las modificaciones introducidas en las técnicas de concepción de receptores. Además, algunas características del receptor se indican en forma de valores máximos, medios y mínimos, para una amplia variedad de diseños.

En este Informe se enumeran las características de los receptores de radiodifusión sonora y de las antenas, necesarias para los trabajos de planificación de frecuencias, con las debidas referencias en aquellos casos en que las definiciones, los métodos de medición y los valores límites corresponden a la esfera de competencia de otras organizaciones internacionales como la C.E.I. y el C.I.S.P.R.

2. Categorías de receptores

Una conferencia de planificación debe tomar en consideración la categoría de receptores que se utilizará para el sistema de servicio de radiodifusión previsto.

Se propone que los datos que figuren en el marco del presente Informe se refieran exclusivamente a los valores medios de cada una de las características de los receptores típicos de una buena técnica actual de los países considerados. Esta condición lleva por objeto evitar una influencia exagerada, en las futuras normas de planificación, de los valores extremos de las características de ciertos modelos de receptor.

* Adoptado por unanimidad.

Se podría definir un receptor de referencia teniendo en cuenta los valores medios.

3. Características técnicas

3.1 Antenas

Recepción en modulación de frecuencia

Las características de las antenas contenidas en la Recomendación 419, y en el Informe 122-2 se refieren a las antenas in situ. Basta indicar la directividad, la ganancia y la protección por polarización cruzada de las antenas probadas en condiciones ideales.

En la publicación 138 de la C.E.I. figuran definiciones y métodos de medición.

Recepción en modulación de amplitud

No se ha propuesto ninguna característica para los sistemas de antena.

Nota. - En la publicación 315-1A de la C.E.I. se describen métodos para inducir señales en antenas magnéticas con el fin de realizar mediciones en receptores de modulación de amplitud y de modulación de frecuencia.

3.2 Selectividad

3.2.1 Banda de paso y pendiente en los bordes

Definición y método de medición

Para la radiodifusión con modulación de amplitud: conforme a la Publicación de la C.E.I. 315-3, artículos 15, 17, 18 y 19, fijando para el parámetro "a" el valor de 6 dB. Se trata del método de una sola señal, cuyos resultados pueden convertirse con facilidad, gráfica o numéricamente en valores de la relación de protección en radiofrecuencia (véase el § 3.4) a partir del método de dos señales descrito en el Informe 399-2.

En artículo 16 de la Publicación 315-3 de la C.E.I. se menciona también el método de medición de dos señales.

Para la radiodifusión con modulación de frecuencia en la banda 8 (ondas métricas): conforme a la Publicación de la C.E.I. 315-4*, artículo ...

* La Publicación 315-4 de la C.E.I. está en preparación.

3.2.2 Atenuación en la frecuencia intermedia

Esta característica se tiene en cuenta para la radiodifusión con modulación de amplitud.

Definición: Conforme a la Publicación de la C.E.I. 315-3, artículo 24.

Método de medición

El método de una sola señal descrito en el artículo 25 de la misma publicación.

Presentación de los resultados

A partir de las curvas obtenidas según el artículo 27 de la misma publicación, se retiene únicamente el valor más desfavorable para cada una de las bandas de radiodifusión.

3.2.3 Atenuación en la frecuencia conjugada

Definición: Conforme a las Publicaciones de la C.E.I. 315-3, para la modulación de amplitud, y 315-4* para la modulación de frecuencia.

Métodos de medición

Conforme a las Publicaciones de la C.E.I. 315-3 (método de una sola señal), para la modulación de frecuencia.

Para la radiodifusión con modulación de frecuencia en la banda 8 (ondas métricas), se empleará un método de dos señales tal como se describe en la Publicación 315-4* de la C.E.I.

Presentación de los resultados

A partir de las curvas obtenidas según la Publicación 315-3 y de la Publicación 315-4* de la C.E.I., se empleará el valor más desfavorable para cada una de las bandas de radiodifusión.

3.2.4 Valor de la frecuencia intermedia

Los principales factores que determinan las interferencias en los receptores son: la insuficiente atenuación en la frecuencia intermedia y en la frecuencia conjugada; la generación de armónicas de la frecuencia intermedia y del oscilador.

Es, pues, necesario elegir correctamente el valor de la frecuencia intermedia para reducir estas posibilidades de interferencia, sin aumentar excesivamente el costo de los receptores.

* La Publicación 315-4 está en preparación.

Receptor de modulación de amplitud

No existe actualmente un valor único satisfactorio de frecuencia intermedia para el conjunto de la Zona Europea.

Sin embargo, los estudios han demostrado que al establecer un plan de frecuencias para una zona de gran extensión, pueden recomendarse dos valores de frecuencia intermedia a fin de reducir las interferencias sin comprometer el empleo de todos los canales disponibles.

Por último, toda disposición futura debe necesariamente tener en cuenta la compatibilidad con los receptores existentes.

El Doc. 10/273 (Francia) 1970-1974, contiene, en su Anexo II, indicaciones complementarias sobre la determinación de la frecuencia intermedia (véanse los Docs. 10/186 (Reino Unido) y 10/272, 10/273, 10/274, 10/275, 10/276, 10/277 (Francia), 1970-1974).

En el siguiente cuadro, que deberá completarse, se indican algunos de los valores de frecuencia intermedia actualmente utilizados.

País	Frecuencia del oscilador	Frecuencias intermedias (kHz)			Observaciones
		1	2	3	
Francia	Supradina	455	480	-	
Reino Unido	Supradina	460	-	-	
República Democrática de Alemania	Supradina	455	468	-	
Japón	Supradina	455			

Se señala que en el Informe 458-1 se propone elegir el valor de la frecuencia intermedia de modo que sea un múltiplo entero de la separación de frecuencia entre portadoras.

Receptor de modulación de frecuencia

Para estos receptores suele utilizarse para la frecuencia intermedia el valor de 10,7 MHz.

3.3 Sensibilidad

3.3.1 Definición

A los efectos de la planificación, el término "sensibilidad" designa la sensibilidad máxima utilizable. Se entiende por ello la sensibilidad limitada por el ruido tal como se define en la Publicación de la C.E.I. 315-3, para la modulación de amplitud, y en la Publicación 315-4*, para la modulación de frecuencia. Se trata de una relación señal de audiofrecuencia/ruido elegida que se define en el artículo 72 de la Publicación 315-3 de la C.E.I.

Esta sensibilidad deberá considerarse como un valor medio único para cada banda de radiodifusión sonora, a partir del cual puede calcularse la intensidad de campo mínima utilizable.

Otros factores de limitación pueden tener importancia, por ejemplo, los ruidos erráticos de carácter impulsivo, el ruido galáctico, los ruidos atmosféricos, los parásitos artificiales, etc. según la ubicación de la antena receptora y su tipo.

3.3.2 Condiciones de medición

Conforme a las Publicaciones de la C.E.I. 315-3, artículos 76 y 77, para la modulación de amplitud y 315-4* para la modulación de frecuencia.

En la actualidad, no hay ninguna relación señal/ruido normalizada, pero puede hacerse una elección para el tipo de receptores considerado.

Se sugieren los siguientes valores:

- Relación señal de audiofrecuencia /ruido: 26 dB para la modulación de amplitud
- 30 dB para la modulación de frecuencia
- Potencia de salida : 50 mW

3.4 Relación de protección en radiofrecuencia

La relación de protección**, considerada como un parámetro para la planificación de frecuencias, puede definirse como la relación señal deseada/señal interferente de radiofrecuencia a la entrada del receptor, que produce una degradación específica de la calidad del sonido. Depende, entre otras cosas, de la naturaleza de la señal deseada (características de modulación, excursión de frecuencia, etc.), del tipo de señal interferente (modulación de amplitud, modulación de frecuencia, ondas entretenidas, etc.) y de la separación entre las frecuencias consideradas. Los valores de estas relaciones deben presentarse en forma de gráficos que muestren la relación de protección en el caso de una interferencia cuyo efecto

* La Publicación 315-4 de la C.E.I. está en preparación

** Véase la Recomendación 447, para la modulación de amplitud y la Recomendación 412-1 para la modulación de frecuencia

perturbador recibe la nota 4*, es decir, perceptible, pero no molesta, en función de la diferencia de frecuencia entre las señales deseada e interferente, para cada tipo de señal interferente. Si la relación de protección varía en función del nivel de la señal deseada (debido a la falta de linealidad en los pasos de entrada del receptor), ello debe indicarse. Para la planificación, los valores de relación de protección para una degradación de nota 4 pueden modificarse si se desea tener en cuenta el porcentaje de tiempo durante el cual puede tolerarse tal degradación. Para ello, convendría efectuar observaciones adicionales en los casos de una pérdida de calidad para distintos niveles de degradación.

Los términos "campo utilizable" y "zona de servicio", se definen en la Recomendación 499.

Receptores de modulación de frecuencia

Los gráficos de la relación de protección en radiofrecuencia deben abarcar las diferencias de frecuencia de cero a 400 kHz, por encima y por debajo de las frecuencias de la señal deseada.

Debe observarse que la relación de protección sólo se relaciona directamente con el grado de la pérdida de calidad en condiciones lineales. Por ejemplo, mientras que un aumento de nivel de 6 dB en una señal interferente en un canal compartido, puede ser evaluada como una degradación cuya nota es numéricamente una unidad menor, un incremento similar del nivel de la señal interferente de un canal adyacente puede ser evaluado como una degradación cuya nota sea más de una unidad menor. Para convertir una relación de protección basada en la degradación de nota 4* en otra para una nota más baja es necesario definir esta relación, lo cual puede hacerse observando otros niveles de degradación.

Receptores de modulación de amplitud

La relación de protección en radiofrecuencia de los receptores de modulación de amplitud que emplean una antena exterior se define en función de la relación entre la señal deseada y la señal interferente en los terminales de entrada del receptor. Sin embargo, en el caso de los receptores que emplean antenas magnéticas incorporadas, la relación de protección se expresa mejor como la relación entre la intensidad de campo deseada e interferente necesaria para producir un grado específico de pérdida de calidad del sonido. Entre otras cosas, la relación de protección dependerá de la profundidad de modulación, del programa transmitido a través de ambas señales, de la limitación eventual de la anchura de banda de audiofrecuencia, de compresión en el transmisor y de la diferencia de frecuencia entre las señales deseada e interferente. Los valores de la relación de protección correspondientes a la pérdida de calidad de nota 4* deben presentarse en forma gráfica, relacionándolos con las diferencias de frecuencia comprendidas entre cero y tres o cuatro veces la anchura de banda.

En algunos casos, se dispone de métodos objetivos cuya relación con las observaciones subjetivas es buena (véase el Informe 298-3 y el Informe 399-2).

* Véase el Informe 623

3.5 Frecuencia del oscilador

La posición de la frecuencia del oscilador con relación a la de la señal deseada debe indicarse como infradina o supradina. Es preciso indicar también la tolerancia de sintonización, es decir los límites dentro de los cuales el receptor puede estar desintonizado sin dejar de proporcionar un sonido de calidad aceptable.

3.6 Interferencias debidas al receptor

La radiación del oscilador en su frecuencia fundamental y sus armónicas, así como la radiación en la frecuencia intermedia y sus armónicas, debe reducirse de conformidad con la Recomendación 24 del C.I.S.P.R. (Véase la Publicación N.º 7, CEI/CISPR, Ginebra).

INFORME 618*

DEFINICIONES DE LA RADIACIÓN EN LAS BANDAS 5 (ONDAS KILOMÉTRICAS)
Y 6 (ONDAS HECTOMÉTRICAS)

(1974)

Los planes de asignación de frecuencias en las bandas 5 (ondas kilométricas) y 6 (ondas hectométricas) para la Zona europea de radiodifusión (Copenhague, 1948) y para la Zona africana de radiodifusión (Ginebra, 1966) se basan en la potencia de portadora suministrada a la antena por el transmisor. Con este valor no pueden determinarse las interferencias, a menos que también se conozcan las características de radiación y el rendimiento de las antenas y líneas de alimentación.

Dos nociones pueden utilizarse para caracterizar esa radiación:

- la fuerza cimomotriz (f.c.m.)
- la potencia radiada aparente referida a una antena vertical corta (p.r.a.v.).

1. Fuerza cimomotriz

1.1 Definición

Fuerza cimomotriz (en una dirección dada)

La fuerza cimomotriz es el producto de la intensidad del campo eléctrico en un punto dado del espacio creado por una estación transmisora, por la distancia de ese punto a la antena. Esta distancia debe ser suficiente para que las componentes reactivas de la intensidad de campo sean despreciables, y se supone que la propagación no es afectada por la conductividad finita del suelo.

La f.c.m. es un vector; de ser preciso, pueden considerarse sus componentes según dos ejes perpendiculares a la dirección de propagación.

La f.c.m. se expresa en voltios, por el mismo número que la intensidad de campo en mV/m a 1 km.

* Adoptado por unanimidad.

1.2 Determinación de la f.c.m.

1.2.1 Antena vertical: Para las antenas verticales existentes, puede obtenerse la f.c.m. en una dirección horizontal por medio de varias mediciones de intensidad de campo efectuadas a una distancia comprendida entre 2λ y 15λ , siendo λ la mayor de las dos cantidades siguientes: longitud de onda o máxima dimensión de la antena, a fin de evitar la zona de intensidad de campo estacionaria. Se indica en un gráfico el producto $E \times d$, siendo E la intensidad de campo a la distancia d . Se extrapola entonces la curva media obtenida hasta $d = 0$, y el producto $E_0 \times d_0$ indica la f.c.m.

Cuando se trata de un solo mástil, es mejor utilizar la media de los valores obtenidos con distintos radios. Para una antena con varios mástiles, deben efectuarse mediciones separadas para diversos radios a fin de obtener la f.c.m. en función de la dirección.

Para las direcciones por encima del horizonte, se puede calcular teóricamente la corrección a partir del diagrama sobre un suelo plano perfectamente conductor. Pueden también efectuarse las mediciones de intensidad de campo desde un helicóptero.

Para los sistemas de antenas en proyecto, o cuando por otras causas no sea posible efectuar mediciones válidas, puede estimarse la f.c.m. calculando los diagramas de radiación sobre un suelo perfectamente conductor y determinando el rendimiento probable de la antena.

1.2.2 Antena de dipolos horizontales: En este caso, el método más práctico consiste en el cálculo de los diagramas sobre un suelo perfectamente conductor, suponiendo que la potencia radiada es la potencia del transmisor menos las pérdidas en la línea de alimentación. Se obtiene la f.c.m. estableciendo la suma cuadrática de las dos componentes ortogonales de la intensidad de campo, perpendiculares a la dirección de propagación.

1.3 Expresión de la potencia de alimentación de la antena en función de la f.c.m.

En el caso de una antena constituida por un solo mástil, y sin pérdidas, se tiene:

$$P = (F_c / 300)^2 \cdot (1 / g_e)$$

siendo:

P = Potencia de alimentación, en kW,

F_c = Fuerza cimomotriz en la dirección horizontal, en voltios,

g_e = Ganancia en potencia de la antena con relación a una antena vertical corta

De una forma general, la potencia total radiada en el espacio (es decir, la potencia que debe suministrarse a la antena si se desprecian las pérdidas), está relacionada con la f.c.m. por la expresión:

$$W = \frac{1}{120\pi} \iint_{\text{esfera}} F_c^2 (\phi, \theta) \cos\theta d\theta d\phi$$

siendo $F_c (\phi, \theta)$ la f.c.m. en cada dirección en función del acimut ϕ y del ángulo de elevación θ . (W se da en vatios y F_c en voltios)

2. Potencia radiada aparente referida a una antena vertical corta (p.r.a.v.)

2.1 Definición

La potencia radiada aparente referida a una antena vertical corta es el producto de la potencia de alimentación de una antena por su ganancia en una dirección dada, con relación a una antena vertical corta en la dirección horizontal.

En el número 102 del Reglamento de Radiocomunicaciones se define la ganancia con relación a una antena vertical corta como sigue:

"Ganancia (G_V) de una antena en una dirección dada, cuando la antena de referencia es una antena vertical ideal mucho menor que un cuarto de longitud de onda situada en la superficie de una tierra plana y perfectamente conductora."

La antena de referencia, alimentada con 1 kW, produce un campo de 300 mV/m a 1 km, y corresponde a la utilizada para establecer las curvas de propagación de la onda de superficie en la Recomendación 368-2 y las de la onda ionosférica del Informe 264-3.

2.2 Determinación de la potencia radiada aparente referida a una antena vertical corta:

Para una antena vertical, esta potencia aparente se mide o determina en la forma descrita en el § 1.2 para la f.c.m.

3. Relación entre la f.c.m. y p.r.a.v.

El valor de la potencia radiada aparente está relacionado con la fuerza electromotriz (en voltios) por la fórmula:

$$\text{p.r.a.v.} = (\text{f.c.m.}/300)^2 \text{ kW}$$

El cuadro que figura a continuación indica algunos ejemplos prácticos de correspondencia entre la f.c.m. y la p.r.a.v. en ausencia de pérdidas.

Potencia del transmisor (kW)	Antena	Ganancia con relación a una antena vertical corta (dB)	f.c.m. (V)	f.c.m. (dB(300V))	p.r.a.v. (kW)
0,01	)	0 dB	30	-20	0,01
0,1	(	0 dB	95	-10	0,1
1	) vertical corta	0 dB	300	0	1
10	(	0 dB	950	+10	10
100	) antena	2 dB	3 800	+22	160
300	(vertical $\lambda/2$	2 dB	6 600	+27	475
1 000	)	2 dB	12 000	+32	1 600

4. Utilización de las curvas de propagación

Las curvas de propagación por onda de superficie (Recomendación 368-2) y por onda ionosférica (Informe 264-3) están trazadas para un campo de 300 mV/m a 1 km es decir, para una f.c.m. de 300 V. Sin embargo, las curvas para la onda ionosférica han sido trazadas aplicando una corrección que tiene en cuenta el diagrama vertical de la antena transmisora sobre un suelo de buena conductividad, pero no se ha aplicado ninguna corrección para tener en cuenta el efecto de la conductividad finita del suelo. Estas curvas, por consiguiente, incluyen el efecto de una conductividad media, lo que, si se lo compara con el caso de un suelo perfectamente conductor, supone una reducción sustancial de la onda ionosférica para ángulos de elevación pequeños. Este efecto se examina en el Informe 401-2, Se puede demostrar que para todos los tipos de antena vertical utilizables en la banda 5 (ondas kilométricas) y en la banda 6 (ondas hectométricas), el efecto del suelo es casi independiente del tipo de antena pudiendo determinarse la corrección para el diagrama vertical y para la ganancia con precisión suficiente corrigiendo el diagrama calculado para un suelo plano y perfectamente conductor.

Se acostumbra referir las curvas de propagación a una potencia radiada de 1 kW por una antena vertical corta, lo que corresponde a una fuerza cimomotriz en la dirección horizontal de 0 dB con relación a 300 V.

