

RECOMENDACIÓN UIT-R F.162-3*

**UTILIZACIÓN DE ANTENAS TRANSMISORAS DIRECTIVAS EN EL SERVICIO FIJO
QUE FUNCIONAN EN LAS BANDAS DE FRECUENCIAS
POR DEBAJO DE UNOS 30 MHz**

(Cuestión 150/9)

(1953-1956-1966-1970-1992)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que en las bandas de frecuencias del servicio fijo comprendidas entre 4 y 28 MHz existe una gran congestión;
- b) que la ocupación del espectro no sólo está representada por el tiempo y la anchura de banda, sino también por la distribución en el espacio de la potencia radiada;
- c) que la radiación fuera de las direcciones necesarias para el servicio puede reducirse eficazmente con el empleo de antenas directivas;
- d) que los artículos S3 y S15 del Reglamento de Radiocomunicaciones parecen justificar la necesidad de utilizar antenas directivas en estas bandas de frecuencias;
- e) que el Grupo de Expertos, en la Recomendación N.º 13 de su Informe Final, Ginebra, 1963, preconiza el empleo de antenas directivas para la transmisión y la recepción en el servicio fijo;
- f) que tanto la petición formulada por el Grupo de Expertos en la Recomendación N.º 38 de su Informe Final en la Cuestión 150/9, tienden a la especificación de normas razonables de directividad para las antenas utilizadas en los diferentes servicios de radiocomunicación en las bandas de frecuencias comprendidas entre 4 y 28 MHz, teniendo debidamente en cuenta los factores económicos inherentes;
- g) que la adopción de normas mínimas para las antenas directivas contribuiría a resolver los problemas de la compartición de frecuencias;
- h) que con las técnicas modernas puede conseguirse, a costo razonable, una calidad de funcionamiento de antena mejor que esas normas mínimas,

recomienda

1. que se adopten las siguientes definiciones para especificar las características de funcionamiento de las antenas directivas:

1.1 Directividad, G_0 **

En una dirección dada, es el producto de 4π multiplicado por la relación entre la intensidad de radiación (potencia por unidad de ángulo sólido (esterradián)) en esa dirección y la potencia total radiada por la antena.

1.2 Sector de servicio, S

Sector horizontal que contiene el haz principal de radiación de la antena y la dirección requerida para el servicio. Es casi el doble de la abertura angular del haz principal medido en puntos de media potencia (-3 dB).

* La Comisión de Estudio 9 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2000 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

** La ganancia de una antena está definida en el número S1.160 del Reglamento de Radiocomunicaciones.

1.3 Sector de interferencia, I

Sector horizontal fuera del haz principal:

$$I^\circ = 360^\circ - S^\circ$$

1.4 Antena normal mínima

Antena que reúne las características mínimas especificadas (directividad y sector de servicio) en su frecuencia o frecuencias de trabajo.

1.5 Antena normal económica

Antena que reúne, en su frecuencia o frecuencias de trabajo, las características especificadas de directividad y de sector de servicio justificables en el aspecto económico (es decir, que permitan realizar economías en la obtención de una potencia de salida dada en el transmisor).

1.6 Factor de directividad de la antena, M^*

Relación entre la densidad de flujo de potencia en la dirección deseada y el valor medio de la densidad de flujo de potencia en crestas en el diagrama de directividad de la antena, en el sector de interferencia. Es equivalente al promedio de la mejora de la relación señal/interferencia conseguida con el empleo de la antena real en lugar de una antena isótropa en el espacio libre;

2. que la antena normal mínima tenga un factor de directividad dado por:

$$M = 0,1 f^2$$

siendo f la frecuencia de trabajo en MHz;

3. que la antena normal económica tenga un factor de directividad expresado por:

$$M = 0,25 f^2$$

4. que para una potencia radiada de 5 kW o más, el coeficiente de directividad M de la antena utilizada deberá ser igual o superior al de la antena normal mínima;
5. que para una potencia radiada de 10 kW o más, se utilicen, en lo posible, antenas de rendimiento no inferior al de la antena normal económica;
6. que para potencias de transmisión inferiores a 5 kW, la densidad del flujo de potencia en el sector de interferencia no exceda el valor obtenido con una antena normal mínima que radie una potencia total de 5 kW;
7. que para reducir los efectos de interferencia, el coeficiente de directividad M de la antena de recepción deberá ser igual o mayor que el de una antena normal mínima y que, en lo posible, estas características sean equivalentes a las de la antena normal económica.

Si para determinar el factor de directividad M de la antena se utilizan valores de ganancia calculados según fórmulas establecidas en la hipótesis de que la intensidad de la corriente es constante, conviene aplicar una corrección para tener en cuenta la disminución de intensidad de la corriente a lo largo de la antena real. Los métodos que hay que utilizar para esta corrección se indican en el anexo 1.

No se fija una polarización ni un tipo de antena preferentes. La polarización horizontal ofrece mejores características de reflexión en el suelo y alguna reducción, en la recepción, de la interferencia ocasionada por el ruido artificial. En los casos de reflexión en el agua del mar o en un terreno de muy alta conductividad, la polarización vertical puede mejorar el rendimiento en los pequeños ángulos necesarios en los trayectos largos. Esta importante consideración se ha tenido en cuenta en el cálculo de M , donde se introduce un factor de ponderación $10/\Delta$, siendo Δ el ángulo vertical de radiación óptima. No es necesario que las antenas de transmisión y de recepción tengan las mismas características de polarización, ya que la polarización adquiere un carácter aleatorio en el proceso de propagación ionosférica.

* El anexo 1 explica la determinación del valor del factor de directividad para una antena dada.

Los valores del factor M elegidos se basan principalmente en los datos medidos del rendimiento de antenas rómbicas y de sistemas de antenas típicos. Las características de radiación en la zona de interferencia de las antenas rómbicas simples son, por lo general, algo inferiores a las de otros tipos de antenas (por ejemplo, sistemas de antenas de media onda), hecho que también se ha tenido en cuenta en el cálculo de M . A condición de que se elijan correctamente los parámetros, el rendimiento de los distintos tipos de antenas que posean el mismo factor M será comparable;

- 8. que se consulte el anexo 1 para los valores de directividad y de sector de servicio;
- 9. que se consulte el anexo 2 para una explicación pormenorizada de las antenas directivas;
- 10. que se consulte el anexo 3 para una descripción de las redes de antenas directivas con reflector aperiódico.

ANEXO 1

Valores de directividad y de sector de servicio

En el cuadro 1 siguiente figuran los valores de directividad y de sector de servicio correspondientes a los valores M especificados para la antena normal mínima y para la antena normal económica, respectivamente:

CUADRO 1

Frecuencia de trabajo f (MHz)	Antena normal mínima			Antena normal económica		
	M	G_0 (dB)	S°	M	G_0 (dB)	S°
5	2,5	13,8	54	6,25	17,5	35
10	10	16,6	39	25	20,4	25
15	22,5	18,3	32	57	22,1	21
20	40	19,4	28	100	23,3	18

La ganancia de antena con relación a un dipolo de media onda sobre el suelo puede obtenerse substrayendo 8 dB del valor de G_0 . Adviértase que el valor de S representa el límite mínimo de directividad especificada y se ha obtenido suponiendo que por lo menos el 40% de la potencia total se radia en el haz principal (este porcentaje se obtiene con muchas antenas rómbicas). Cuando se conoce (como ocurre a menudo) la ganancia (en potencia) de la antena (véase el número S1.160 del Reglamento de Radiocomunicaciones), conviene hacer la corrección adecuada, al calcular la directividad, para tener en cuenta el rendimiento de la antena.

Empleo de antenas directivas en las bandas de frecuencias comprendidas entre 4 y 28 MHz

1. Introducción

En el presente anexo se plantea el problema de especificar, para los distintos servicios y para diferentes distancias, normas razonables de directividad de las antenas en las bandas de frecuencias comprendidas entre 4 y 28 MHz, teniendo debidamente en cuenta las consideraciones de carácter económico. La proposición que en este anexo se hace se aplica principalmente a los enlaces entre puntos fijos de más de 4 000 km de longitud, pero podría aplicarse, con las modificaciones adecuadas, a circuitos de menor longitud. La técnica propuesta requiere conocer la ganancia de la antena de que se trate y el ángulo de abertura en elevación y en acimut, de su haz principal de radiación. De estos datos puede derivarse un factor de directividad que, combinado con ciertos otros factores, por ejemplo, potencia del transmisor y precio de costo, puede servir para evaluar la idoneidad de una antena en una aplicación determinada.

2. Proposición

Las antenas con una determinada directividad que radien toda la potencia en un solo haz pueden considerarse como las de mejor rendimiento de su clase. Los sistemas de telecomunicación que utilicen tales antenas en la transmisión y en la recepción podrían explotarse en una frecuencia común con arreglo a una distribución especial dada, sin temor a interferencias mutuas, siempre que cada una de las antenas receptoras «vea» únicamente la antena transmisora deseada. Con esta disposición ideal, el número de sistemas que pueden funcionar en una misma frecuencia podría aumentarse en función de la ganancia de las antenas, dada la menor abertura angular de éstas.

Partiendo de ciertas hipótesis que simplifican el problema y que están perfectamente justificadas, puede demostrarse que existe con mucha aproximación la siguiente relación fija entre la directividad (con relación a un radiador isótropo) y la abertura de este haz único (con relación a cero):

$$G = \frac{P_0}{P} = \frac{32 \pi^2}{(\pi^2 - 4) \theta_0 \varphi_0} = \frac{K}{\theta_0 \varphi_0} \quad (1)$$

(θ_0 y φ_0 representan, respectivamente, la abertura angular horizontal y vertical, expresada en radianes, y P y P_0 la potencia total radiada, respectivamente, por la antena ideal y por el radiador isótropo, necesaria para producir la misma intensidad de campo en la dirección deseada).

Las antenas utilizadas en la práctica no responden del todo a este ideal, ya que radian (o reciben) parte de su potencia en direcciones distintas de la del haz principal.

Siendo G' la directividad de una antena de este tipo y θ_0' , φ_0' las aberturas angulares de su haz principal, de la ecuación (1) se desprende que la potencia radiada total en ese haz será:

$$P' = \frac{P_0 \theta_0' \varphi_0'}{K} \quad (2)$$

Si este valor representa una fracción, q , de la potencia radiada total,

$$G' = \frac{P_0 q}{P'} = \frac{Kq}{\theta_0' \varphi_0'} \quad (3)$$

$$\text{sea } q = \frac{G' \theta_0' \varphi_0'}{K} \quad (4)$$

Por consiguiente, a base de las características medidas o calculadas de una antena se puede determinar la eficacia de su radiación, es decir, la fracción de la potencia radiada total dirigida al haz principal.

La potencia radiada fuera del haz principal de una antena transmisora capaz de producir señales interferentes viene dada por:

$$\frac{P_0(1-q)}{G'}$$

Si esta potencia se distribuye de manera uniforme en el hemisferio residual que queda fuera del arco lunar θ_0' , el flujo medio de potencia será:

$$\frac{P_0(1-q)}{(2\pi - \theta_0') G'}$$

Puesto que el flujo máximo en el haz principal es $P_0/4\pi$, puede decirse que:

$$\frac{\text{Flujo máximo de potencia de la señal deseada}}{\text{Flujo medio de potencia de la señal interferente}} = \frac{G' (2\pi - \theta_0')}{(1-q) 4\pi} \quad (5)$$

Como nadie ignora, la distribución espacial del flujo fuera del lóbulo principal varía considerablemente, por lo que pueden hallarse valores muy superiores al valor medio. Convendría expresar esta circunstancia como una distribución de probabilidad de modo tal que la reducción de la relación señal/ruido que motiva se exprese en función del factor de directividad de la antena. Para ello hay que conocer la distribución del flujo en los lóbulos secundarios de gran número de antenas reales; sin embargo, como la información de que se dispone al respecto es insuficiente, la cuestión debe abordarse de otro modo. El método utilizado consiste en hallar un factor de directividad de la antena basado en la hipótesis de que toda la potencia radiada en direcciones distintas de la del haz principal representa un número de lóbulos secundarios de igual amplitud y en efectuar un ajuste cuando las amplitudes de los distintos lóbulos secundarios puedan influir de modo significativo en un problema determinado, por ejemplo, en el estudio de la compartición de frecuencias.

Si se utiliza para los lóbulos secundarios la misma distribución de potencia (coseno cuadrado) que la supuesta para el haz principal:

$$\left(\frac{F_{m\acute{a}x}}{F_{medio}}\right)^2 = \frac{2\pi^2}{\pi^2 - 4} = 3,36 \text{ (5,3 dB)}$$

que puede escribirse:

$$\frac{\text{Flujo máximo de potencia de la señal deseada}}{\text{Flujo máximo de potencia de la señal interferente}} = \frac{G' (2\pi - \theta_0')}{(1-q) 4\pi \times 3,36} \quad (6)$$

Para tener en cuenta la llamada «adaptación de propagación» de la antena hay que introducir otra modificación en esta fórmula; los estudios realizados han puesto de manifiesto que, a distancias largas (> 4 000 km), la calidad del circuito aumenta a medida que se reduce el ángulo vertical del haz principal de la antena.

Para tener en cuenta este efecto se aplica un factor de ponderación (adecuado para ángulos verticales iniciales comprendidos entre 5° y 25°); la ecuación relativa al factor de directividad de la antena se convierte en:

$$M = \frac{G' (2\pi - \theta_0')}{(1 - q) 4\pi \times 3,36} \cdot \frac{10}{\Delta_m}$$

y, si θ_0' , φ_0' se expresan en grados:

$$M = \frac{G' (360 - \theta_0')}{241,9 \Delta_m (1 - q)} \quad (7)$$

donde:

$$q = \frac{G' \theta_0' \varphi_0'}{176\,600}$$

- G' : directividad de la antena con relación a un radiador isótropo (se expresa generalmente como una relación, salvo indicación en contrario)
- θ_0' : abertura angular del haz principal en el plano horizontal (grados) (con relación a los primeros puntos mínimos)
- φ_0' : anchura angular del haz principal en el plano vertical (grados) (con relación a los primeros puntos mínimos)
- Δ_m : ángulo vertical máximo del haz principal (grados).

Para las distancias inferiores a 4 000 km, se puede reemplazar el valor de este factor por la altura de la antena elegida de modo que se adapte a las condiciones de propagación del trayecto.

3. Determinación de la directividad

Cuando se conocen las características medidas de las antenas, en particular la ganancia (de potencia) y las aberturas angulares de los haces, es fácil calcular el coeficiente de directividad M , sabiendo el rendimiento de potencia que da la antena. No obstante, a menudo es necesario hacer una estimación a partir de las especificaciones de un proyecto y se requiere especial atención en el caso de las antenas rómbicas, aunque se puede prever con suficiente precisión las dimensiones del lóbulo principal y el ángulo vertical máximo de elevación mediante un cálculo en el que se supone una corriente constante en los hilos de la antena, la ganancia así calculada es, por lo general, mayor que el valor real, de modo que hay que ajustarla antes de poderla utilizar en la fórmula que da M . Este ajuste se puede considerar bajo dos aspectos.

3.1 Ajuste para tener en cuenta la potencia disipada en la carga terminal de la antena, C_t

En realidad, se trata de una conversión de la ganancia (de potencia) medida a la directividad. Este ajuste se especifica, para cierto número de configuraciones, en las figs. 1a) y 3a).

3.2 Ajuste para tener en cuenta la disminución de corriente a lo largo de la antena, C_d

Este ajuste es necesario para convertir la ganancia (de potencia) obtenida mediante la fórmulas de corriente constante en un valor más conforme con los medidos en antenas reales y se especifica, para las mismas configuraciones, en las figs. 1b) y 3b). Para mayor comodidad, se han agrupado esas curvas en las figs. 2 y 4, que permiten convertir directamente la ganancia (de potencia) calculada en valores de directividad. Las partes de curva de trazo continuo representan la ganancia normal prevista durante la construcción.

Todas las curvas se han deducido de resultados de mediciones obtenidos para el rendimiento de potencia de antenas rómbicas; en esas mediciones se ha supuesto una reducción lineal de la corriente a lo largo de las antenas. Se trataba de antenas de 3 hilos con una impedancia característica de 600 Ω . Existe una relación muy estrecha entre el rendimiento de radiación y la impedancia característica, y conviene tomar el valor más bajo aceptable. No obstante, se tropieza con dificultades de construcción si se quiere obtener un valor muy inferior a 600 Ω en las bandas de ondas decamétricas.

FIGURA 1

Ajustes de ganancia para una antena rómbica de 122 m/40 m

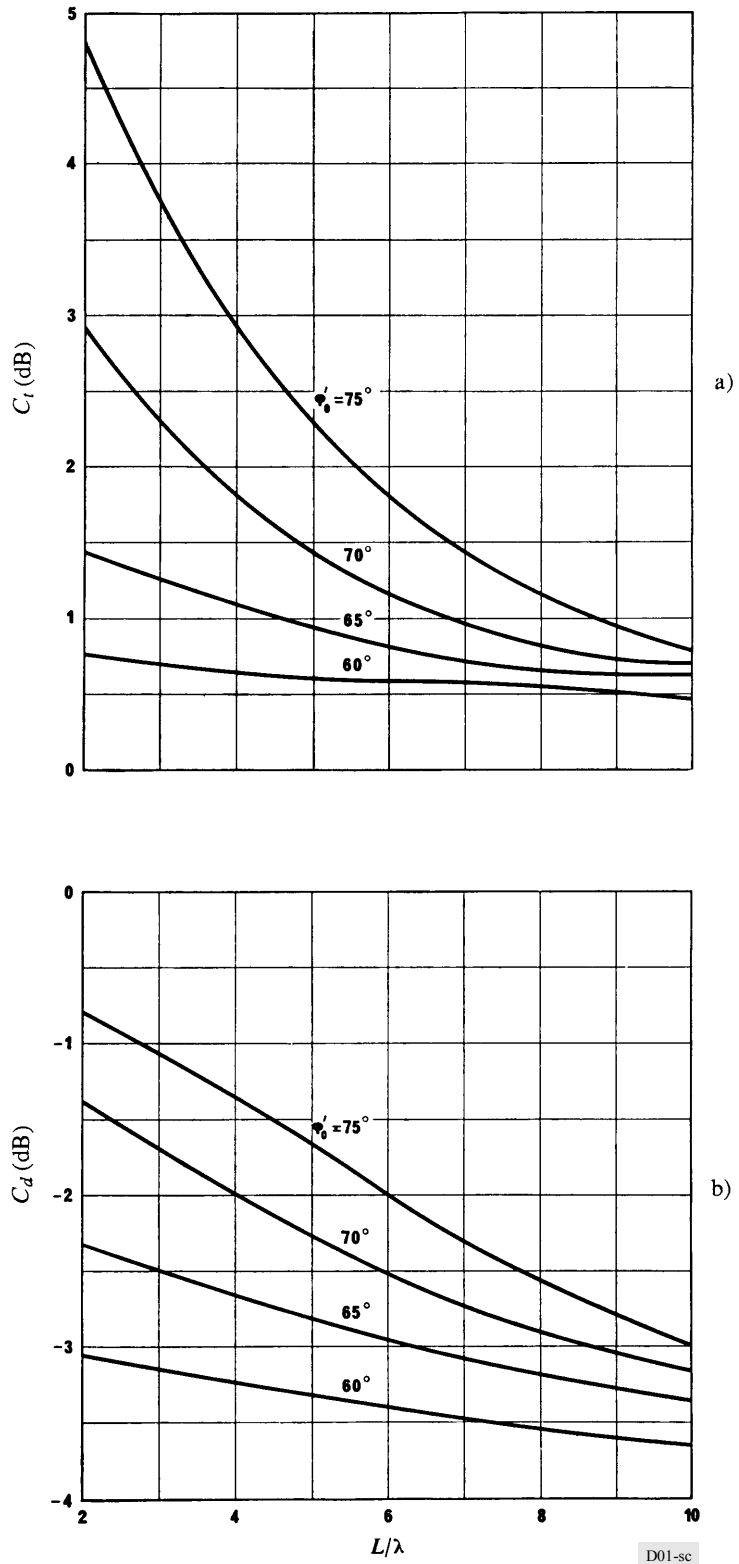
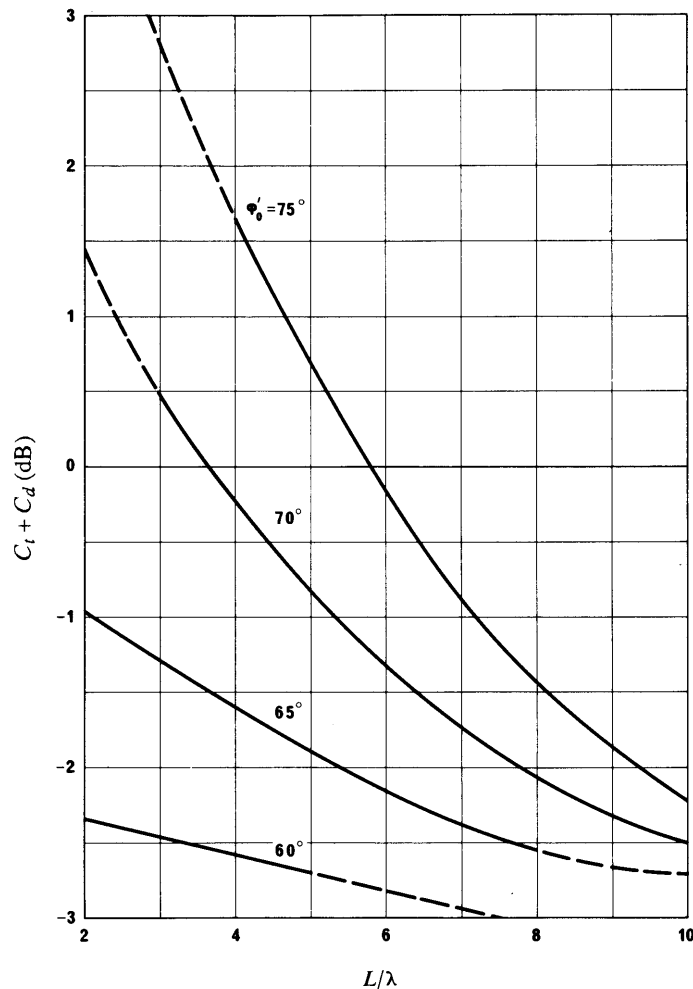


FIGURA 2

Ajuste combinado para una antena rómbica de 122 m/40 m



D02-sc

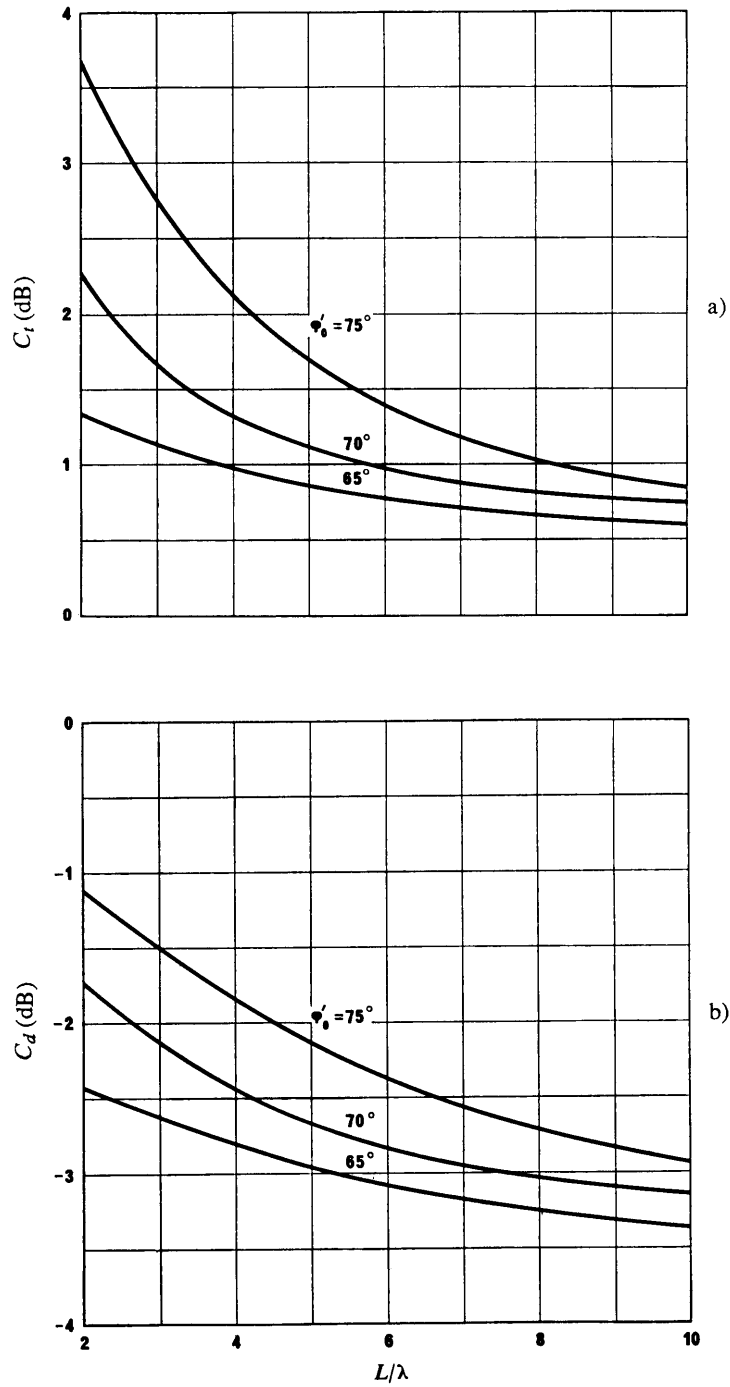
4. Aplicación

La fig. 5 da los valores de M para cierto número de antenas de varios tipos y proporciona una indicación sobre la variación, en función de la frecuencia, de las características de una antena simple y de un sistema de antenas, características evaluadas a base de los valores de la ganancia de potencia medidos y de los valores de la directividad calculados aplicando los métodos descritos en el § 3. En el diagrama se han trazado curvas que se considera representan normas razonables de rendimiento para estas dos clases de antenas. La curva inferior (denominada antena mínima normalizada), se adapta mejor a los datos experimentales y se puede expresar en la forma: $M = 0,1f^2$. Esta se considera como representativa del nivel de funcionamiento que cabe esperar de antenas rómbicas debidamente proyectadas, explotadas en una banda de frecuencias en la que la relación entre la frecuencia más alta y la más baja no exceda de 2.

La curva superior de la fig. 5 (antena normal económica), que se puede representar de modo similar, $M = 0,25f^2$, representa una calidad de funcionamiento que normalmente sólo puede alcanzarse con sistemas de antenas. Esta forma, más elevada, implica forzosamente la realización de inversiones proporcionalmente más elevadas en las instalaciones de antenas, pero, desde el punto de vista económico, puede estar justificado un cierto aumento de los gastos con relación a los actuales.

FIGURA 3

Ajustes de ganancia para una antena rómbica de 122 m/23 m

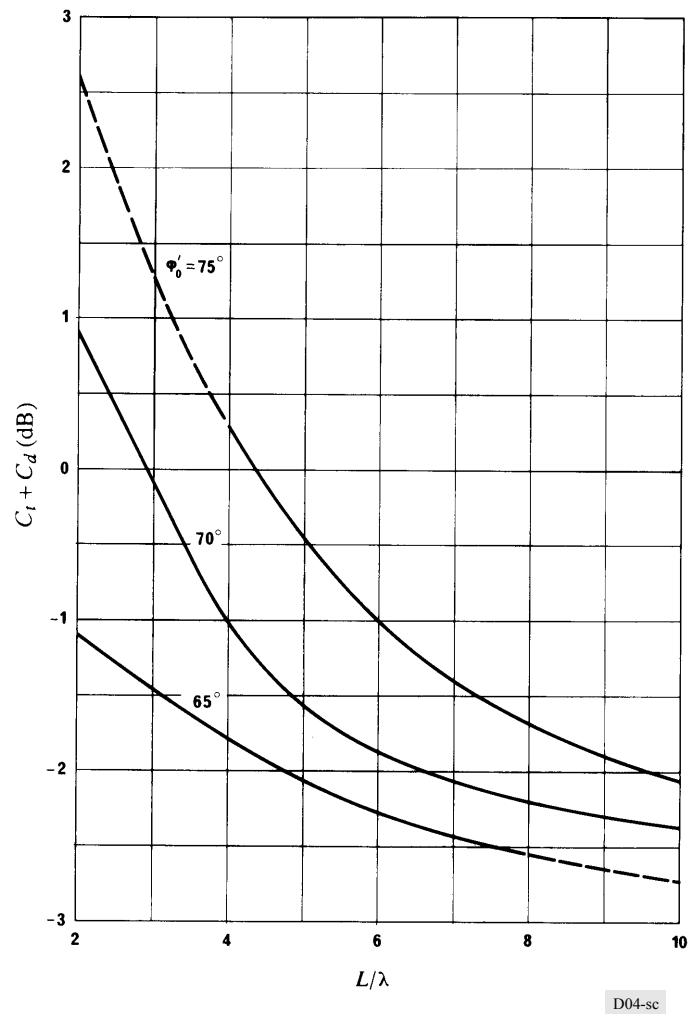


D03-sc

En la planificación de frecuencias y en otros estudios conexos puede ser importante conocer en qué casos las amplitudes de los lóbulos secundarios son superiores al valor de equiamplitud de cresta. En la gama de los valores considerados de M , los resultados de las mediciones hechas con antenas reales indican que sólo en un 10% de los casos los lóbulos secundarios son 6 dB superiores al valor de equiamplitud de cresta. En consecuencia, en el caso de una antena con un valor de M igual a 40, la relación entre los niveles de intensidad del lóbulo principal y del lóbulo secundario más importante sería de 10 dB. Estos lóbulos secundarios se hallarán, generalmente, junto al lóbulo principal.

FIGURA 4

Ajuste combinado para una antena rómbica de 122 m/23 m



5. Influencia de la nieve, del hielo y de las mareas en los diagramas de radiación de las antenas

En este punto figuran los resultados de estudios teóricos efectuados para evaluar la influencia de diferentes espesores de nieve y de hielo en los diagramas de radiación de una antena dipolo horizontal de media onda y de una antena vertical de cuarto de onda. También se ha calculado la influencia de las mareas en los diagramas de radiación de estas mismas antenas sobre el mar.

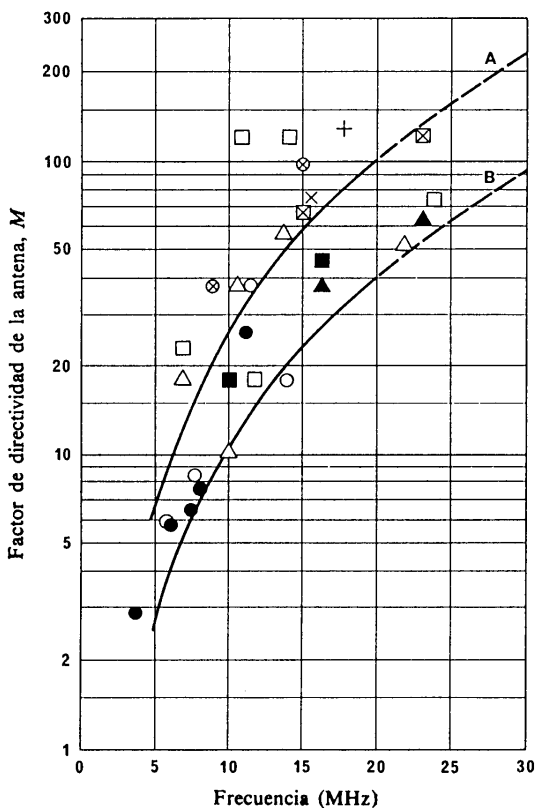
En esos estudios, se ha partido del supuesto de que, tanto el terreno como las capas de nieve y de hielo, son llanos, homogéneos y de espesor uniforme.

Para un dipolo horizontal, es despreciable el efecto de una capa de nieve o de hielo de 1 m de espesor. En cambio, la influencia de un cambio de nivel de 3 m debido a las mareas, puede desplazar unos 5° el ángulo de radiación máxima en el plano vertical.

Una antena vertical de cuarto de onda es más sensible a la nieve o el hielo, especialmente en direcciones próximas de la horizontal, en las que se produce una atenuación importante de la señal. En el cuadro 2 se indican las variaciones correspondientes de la potencia transmitida o recibida para tres ángulos, a una frecuencia de 10 MHz.

FIGURA 5

Factor de directividad de la antena, valores de *M* basados en las ganancias calculadas



Curva A: Antena normal económica

- * Antena rómbica 125 m/65°/45 m
- * Antena rómbica 122 m/72,5°/23 m
- ⊗ Antena rómbica 158 m/71°/55 m
- ⊠ Antena rómbica 158 m/75°/37 m

Antenas complementarias

Antenas complementarias

Curva B: Antena normal mínima

- Antena rómbica 98 m/63°/45 m
- Antena rómbica 95 m/67°/32 m
- ▲ Antena rómbica 90 m/69°/29 m
- △* Antena rómbica 96 m/70°/23 m

Antenas complementarias

- ×* Sistema de dipolos HR 4/4/1,0
- +* Sistema de dipolos HR 8/4/0,5

* Valores de ganancia de potencia medidos con un equipo instalado a bordo de una aeronave.

D05-sc

CUADRO 2

Variación relativa (dB) de la potencia transmitida o recibida, como consecuencia de la nieve, el hielo o las mareas para tres valores del ángulo cenital (Frecuencia: 10 MHz)

	Ángulo cenital		
	45°	75°	85°
Antena vertical de cuarto de onda sobre un suelo llano, cubierto por 1 m de nieve (constante dieléctrica de 1,2 y conductividad de 10 ⁻³ S/m)	-0,5	-0,6	-1,3
Antena vertical de cuarto de onda sobre el mar cubierto por una capa de 1 m de hielo (constante dieléctrica de 6,0 y conductividad de 10 ⁻³ S/m)	-1,7	-3,4	-8,7
Antena vertical de cuarto de onda sobre el mar, cuyo nivel ha descendido 3 m debido a la marea	-2,9	-0,4	-0,1

Redes de antenas directivas con reflector aperiódico

1. Introducción

Es difícil de conseguir la compartición de frecuencias entre los servicios fijo y de radiodifusión en frecuencias inferiores a 30 MHz, debido a las diferencias en los métodos de explotación y en las intensidades de campo utilizables de los dos servicios. El empleo de antenas directivas para limitar la radiación en las direcciones innecesarias para un determinado servicio, ayudaría, en ciertos casos, a aliviar este problema.

2. Antenas directivas

Las antenas directivas utilizadas por el servicio de radiodifusión para las comunicaciones a larga distancia son en general de dos tipos principales: antenas róbicas y antenas dipolos. En el servicio fijo es más corriente la utilización de antenas log-periódicas.

Suelen preferirse los sistemas de dipolos de banda única y banda doble con reflectores sintonizados, pues tienen alta directividad, con una relación anterior/posterior de 10 a 15 dB. Aunque esas antenas tienen la ventaja de permitir la fácil inversión de la dirección del lóbulo principal, producen también una serie de lóbulos subsidiarios de intensidad bastante importante, que pueden producir interferencia innecesaria a otros usuarios.

En fecha más reciente se han construido sistemas de antenas dipolos con una pantalla aperiódica como sistema reflectante. Esos sistemas tienen directividad análoga a la que presentan los sistemas de reflectores sintonizados y ofrecen también la ventaja del funcionamiento en una amplia anchura de banda, del nivel de los lóbulos subsidiarios y de la sencillez de construcción. Siempre que esté bien diseñada la pantalla reflectante, los diagramas de radiación resultantes presentarán relaciones anterior/posterior tan altas como 20 dB, reduciendo así la potencia radiada por los lóbulos secundarios y, en consecuencia, la posible interferencia en direcciones distintas de las del lóbulo principal.

Este tipo de sistemas tienen el inconveniente de que la directividad puede reducirse significativamente en las frecuencias que están por debajo de la frecuencia central de la banda de funcionamiento. Las ventajas más importantes son:

- eléctricas: puesto que no es necesario regular las fases de las corrientes en los reflectores de dipolos;
- radiofrecuencia (banda ancha): estas antenas no necesitan sintonizarse de nuevo si se desplaza la frecuencia de trabajo con respecto a la frecuencia central;
- de planificación de frecuencias: puesto que la reducción de los lóbulos subsidiarios permite una mejor utilización del espectro;
- mecánicas: puesto que la construcción y el ajuste se simplifican y, por lo tanto, el mantenimiento es más sencillo.

3. Conclusiones

La comparación entre los diagramas de radiación teóricos y los resultados de mediciones efectuadas con un helicóptero ponen de manifiesto que los sistemas de dipolos con pantallas aperiódicas tienen una relación anterior/posterior mejor en 6 dB a los sistemas equivalentes de dipolos con reflectores sintonizados.

Por ello es posible que el empleo de sistemas de dipolos con pantallas aperiódicas, en particular por el servicio de radiodifusión, facilite la compartición del espectro de frecuencias con el servicio fijo.

Es necesario un estudio más detallado de las características eléctricas de los sistemas de dipolos con pantallas aperiódicas para proporcionar datos suficientes que demuestren las ventajas de su empleo a las administraciones.