

RECOMENDACIÓN UIT-R BS.80-3*

Antenas de emisión para radiodifusión en ondas decamétricas

(1951-1978-1986-1990)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que siempre que sea apropiado deben utilizarse antenas de emisión directivas para obtener una adecuada cobertura en una zona de servicio determinada y reducir al mínimo la radiación no deseada y la interferencia potencial, en otras direcciones;
- b) que utilizando la tecnología actualmente disponible es posible el diseño e instalación de una amplia variedad de tipos de antenas directivas en ondas decamétricas con características mejoradas;
- c) que las antenas de emisión directivas pueden radiar una parte muy significativa de la potencia en direcciones no deseadas;
- d) que en la Parte 1 del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R BS.705 figura información completa y detallada sobre las características de radiación teóricas de las antenas en ondas decamétricas;
- e) que en la Parte 2 del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R BS.705 aparece información sobre las diferencias entre el comportamiento teórico y práctico de las antenas en ondas decamétricas,

recomienda

- 1 que se utilicen los Anexos 1 y 2 como directrices para la elección de la antena de emisión en ondas decamétricas adecuada;
- 2 que la radiación de lóbulos laterales se mantenga en el valor más bajo posible;
- 3 que, en las condiciones prácticas de explotación, no cabe suponer, para calcular interferencias, que la intensidad de campo para otros ángulos de acimut, con ángulos de elevación correspondientes al del lóbulo principal, sea inferior a 222 mV/m a una distancia de 1 km, para una potencia de alimentación de la antena de 1 kW, en el caso de antenas de alta ganancia. Quizá sea preciso estudiar un valor menor de la intensidad de campo interferente en el caso de antenas de baja ganancia;
- 4 que se utilice el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R BS.705 como fuente de información más detallada.

NOTA – En la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para la planificación de las bandas de ondas decamétricas atribuidas al servicio de radiodifusión (CAMR HFBC (1)), Ginebra, 1987 se adoptaron valores calculados de radiación mínima que en algunos casos son inferiores a los arriba indicados (véase el Anexo 2).

* La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2002 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

ANEXO 1*

1 Utilización de antenas directivas y no directivas

En la radiodifusión por ondas decamétricas, la antena es el medio por el cual la energía radioeléctrica es dirigida hacia la zona de servicio requerida. La elección de un tipo de antena correcto mejorará la señal en esa zona, disminuyendo la radiación en las direcciones no deseadas. Así se protege a los restantes usuarios del espectro radioeléctrico, que transmiten en el mismo canal o en canales adyacentes hacia otras zonas de servicio diferentes. Por ello, se recomienda, siempre que sea posible, emplear antenas directivas con diagramas de radiación bien definidos.

Las antenas no directivas pueden utilizarse cuando el transmisor está situado dentro de la zona de servicio requerida. En este caso, la zona de servicio requerida vista desde el transmisor abarca un ángulo en el plano acimutal superior a 180° .

Las antenas directivas desempeñan una doble función. La primera consiste en evitar la interferencia producida a los demás usuarios del espectro, mediante su directividad. La segunda consiste en proporcionar una intensidad de campo suficiente, gracias a su ganancia de potencia, para permitir una recepción satisfactoria.

El diagrama de la Fig. 1 ofrece algunas directrices generales para la elección del tipo óptimo de antena, para un servicio determinado con arreglo a la distancia necesaria. Se consideran dos categorías distintas de servicios: los servicios a corta distancia y los servicios a media o larga distancia.

En este contexto, se entiende por servicio a corta distancia el que puede tener un alcance de hasta 2000 km aproximadamente. Esta zona puede cubrirse con una antena no directiva o una antena directiva, cuya abertura del haz puede seleccionarse con arreglo al sector que hay que servir. En el segundo caso, pueden utilizarse cortinas de dipolos horizontales o bien antenas log-periódicas.

Puede considerarse que los servicios a media y larga distancia corresponden a distancias superiores a los 2000 km aproximadamente. Esta cobertura puede conseguirse mediante antenas cuyo lóbulo principal tenga un ángulo de elevación pequeño (6° a 13°) y cuya abertura del haz en el plano horizontal sea grande, entre 65° y 95° (70° generalmente); o pequeña, entre 30° y 45° (35° generalmente), según la amplitud de la zona que ha de cubrirse.

El valor de la intensidad de campo en la zona de recepción depende de las características de radiación de la antena utilizada, que dependen a su vez del tipo de sistema. No deben utilizarse antenas con una anchura horizontal y vertical del haz sumamente pequeña porque las variaciones de la ionosfera pueden desplazar la zona servida.

Aunque se utilizan para radiodifusión antenas rómbicas conviene evitar su empleo debido al tamaño y al número de sus lóbulos laterales que pueden crear una interferencia técnicamente evitable.

* Según la nomenclatura del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R BS.705 y del Anexo 2 a la presente Recomendación.

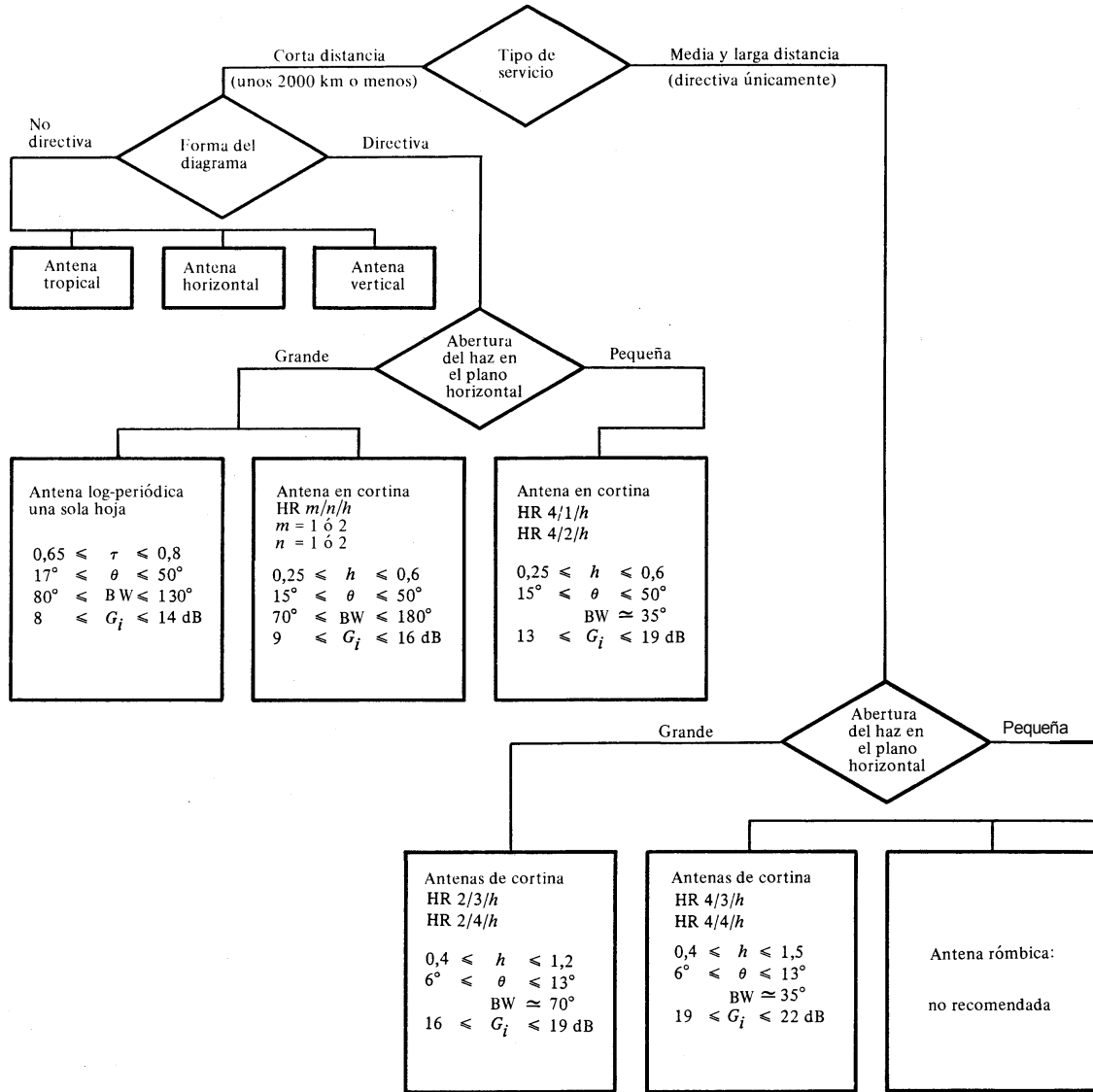


FIGURA 1 – Diagrama de selección de antenas

- θ : Ángulo de elevación
- G_i : Ganancia (dB) relativa a una antena isotrópica aislada en el espacio
- G_d : Ganancia (dB) relativa a un dipolo de media onda aislado en el espacio ($G_i = G_d + 2,2$ dB) } de radiación máxima del haz principal
- BW: Abertura total del haz en el plano horizontal (-6 dB con relación al máximo)
- HR: Antena en cortina de dipolos horizontales con reflector
- m: Número de elementos de media onda en cada fila
- n: Número de elementos de media onda en cada columna (uno sobre otro)
- h: Altura sobre el suelo de la fila más baja de elementos expresada en longitudes de onda
- τ : Factor de disminución de una antena log-periódica

2 Reducción de los lóbulos secundarios

La reducción de los lóbulos secundarios en los sistemas de antenas directivas empleados para la radiodifusión en ondas decamétricas es de la mayor importancia para evitar la interferencia en los casos de compartición de frecuencias. Por regla general, estas interferencias obedecen a que el diagrama de radiación de la antena transmisora tiene lóbulos secundarios en direcciones no deseadas, o a la dispersión de la energía del lóbulo principal, en caso de anomalías de la propagación. Si bien es posible reducir la amplitud en los lóbulos secundarios disponiendo la antena de manera adecuada, la dispersión de propagación en direcciones no deseadas constituye un problema complejo, y los efectos del fenómeno deben ser objeto de un estudio estadístico.

Las antenas en cortina para ondas decamétricas construidas de elementos dipolo horizontales se hacen unidireccionales mediante la adición de una pantalla reflectora. Esta pantalla puede estar constituida por:

- un sistema de dipolos idénticos sintonizado para proporcionar una relación frontal/dorsal óptima en todas las gamas de frecuencias de funcionamiento. En general, no se aplica potencia a este tipo de reflector, que se conoce con el nombre de reflector de «dipolos sintonizados» o «parásito»; o
- una pantalla consistente en hilos horizontales que actúan como un reflector no sintonizado. Este tipo de reflector se conoce con el nombre de «pantalla aperiódica»

En el Cuadro 1 del Anexo 2 figuran los valores de desviación máximos obtenidos en la práctica para distintos tipos de antenas.

Este método de desviación no influye de manera apreciable en la abertura horizontal de lóbulo principal, pero aumenta su asimetría y produce, al propio tiempo, un primer lóbulo secundario muy importante. Cuando se emplea la desviación, la ganancia del lóbulo principal disminuye con el aumento del ángulo de desviación, y la radiación del lóbulo lateral aumenta. Como consecuencia, aumentará considerablemente la intensidad de campo creada por los lóbulos laterales.

Los resultados prácticos obtenidos en la República Popular de China han confirmado la posibilidad de que puedan obtenerse pautas de radiación satisfactorias utilizando el valor de las diferencias de fase de corriente determinado mediante un método de cálculo por aproximaciones sucesivas.

Pruebas llevadas a cabo en Italia han demostrado que con una antena del tipo HRS 5/4/1,5 es posible reducir de forma significativa la amplitud de los lóbulos secundarios cuando las cinco columnas de dipolos se alimentan de forma separada. Esta propiedad se mantiene cuando se reorienta el haz principal.

Una particularidad de un tipo de antena HR 4/4 fabricadas en Francia consiste en que el reflector está alimentado, lo que permite ajustar con precisión las amplitudes y las fases de las corrientes en las cortinas anterior y posterior. La medición de los diagramas con helicóptero ha demostrado que éstos se asemejan mucho a los diagramas teóricos («nulos» de unos 40 dB). Las nuevas cortinas tienen mayor anchura de banda y se ajustan más fácilmente que las antenas de reflectores pasivos.

Cálculos realizados en Francia han demostrado que para las antenas multibanda del tipo HR $2/n/h$, una ampliación de la relación de frecuencias a un valor de $f_{m\acute{a}x}/f_{m\acute{i}n}$ cercano a 2, conduciría a unos diagramas de radiación teóricos satisfactorios sin aumentar de forma significativa los lóbulos secundarios.

Aunque es posible lograr una notable supresión de los lóbulos laterales para los sistemas de cortinas, los métodos empleados hasta el presente introducen dificultades mecánicas y aumentan los costes.

3 Verificación de los diagramas de radiación

La RAI italiana y el Estado de la Ciudad del Vaticano, han efectuado una serie de mediciones de intensidad de campo para investigar y verificar los diagramas de radiación efectiva de diversos tipos de antenas en ondas decamétricas. Las mediciones se han llevado a cabo utilizando un equipo aerotransportado. Los resultados de estas mediciones sobre antenas sin obstrucción confirman que los diagramas de radiación del haz principal se aproximan bastante a los valores teóricos calculados aplicando la metodología descrita en la Recomendación UIT-R BS.705. Estudios detallados llevados a cabo por varias administraciones confirman la validez de estos valores teóricos. Además se ha demostrado que en el caso de una antena dipolo horizontal práctica con un reflector de cortina aperiódico, la radiación hacia atrás y la del mínimo principal hacia adelante es de unos 20 dB por debajo del máximo del lóbulo principal. Puede llegarse a la conclusión de que la metodología de medición de diagramas de antena utilizando un helicóptero, descrita en la Parte 2 del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R BS.705 es una manera fiable y valiosa de evaluar las características de funcionamiento de las antenas transmisoras.

4 Discriminación obtenida en la práctica por las antenas directivas

Se han realizado en diversos países amplias campañas de medición, en las que se evaluaron las intensidades de campo de transmisores situados en el mismo emplazamiento o en emplazamientos diferentes que utilizaban antenas directivas orientadas a zonas de servicio geográficamente separadas. Estos resultados se utilizaron para obtener los valores de discriminación de la antena, es decir, la reducción de intensidad de campo, con respecto al valor del haz principal, en ángulos de acimut y elevación distintos de los del haz principal. La discriminación obtenida en la práctica era compatible con los valores límite que figuran en esta Recomendación. La discriminación deducida a partir de consideraciones teóricas sobre las antenas (véase la Parte 1 del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R BS.705) habría sido en la mayoría de los casos muy superior a la realmente medida. El Reino Unido e India informaron sobre estas campañas de medición.

ANEXO 2

Diagramas de antenas de ondas decamétricas para el diseño y la planificación de sistemas

1 Un conjunto de características de antena de referencia

En la Recomendación UIT-R BS.705 se dan las fórmulas y el soporte lógico asociado para el cálculo de diagramas de antena y valores de ganancia máxima para una amplia gama de tipos de antenas de ondas decamétricas. La CAMR HFBC-87 adoptó un conjunto limitado de características de antena de ondas decamétricas de referencia que utilizan los patrones de dipolos horizontales. Se utilizaron los dipolos horizontales ya que se halló que constituyen el tipo de antena más comúnmente utilizado. Un examen de la variación en el comportamiento de este conjunto de antenas constituye una introducción útil a la gama de características de antena encontradas en la práctica.

Las principales características de este conjunto de referencia de diagramas se resumen en el Cuadro 1, que contiene 24 tipos de antenas direccionales junto con un diagrama simplificado de una antena no directiva (tipo 25). Las antenas fueron seleccionadas de manera que representaran una gama relativamente amplia de características con sólo pequeños cambios entre los distintos tipos incluyéndose la operación multibanda y facilidades de reorientación.

CUADRO 1

Conjunto de tipos de antenas de ondas decamétricas de referencia

Principales características a la frecuencia de diseño

Número de la antena de referencia	Tipo de antena HR(S) $m/n/h$	Ganancia máxima G_i (dBi)	Ángulo de elevación de radiación máxima (grados)	Abertura del haz en el plano acimutal (-6 dB) (grados)	Reorientación máxima (grados)
01	HR (S) 4/4/1,0	22,3	7	36	
02	HR (S) 4/4/0,8	22,1	8	36	(A) Multibanda 30
03	HR (S) 4/4/0,5	21,5	9	36	(T) Multibanda 30
04	HR (S) 4/3/0,5	20,5	12	36	(T) Doble banda 30
05	HR (S) 4/2/0,5	19,1	17	36	(TE) Una sola banda 15
06	HR (S) 4/2/0,3	18,1	20	36	
07	HR (S) 2/4/1,0	19,7	7	66	
08	HR (S) 2/4/0,8	19,4	8	68	
09	HR (S) 2/4/0,5	18,8	9	68	(A) Multibanda 15
10	HR (S) 2/3/0,5	17,9	12	68	(T) Multibanda 15
11	HR (S) 2/2/0,5	16,5	17	68	(T) Doble banda 15
12	HR (S) 2/2/0,3	15,5	20	70	
13	HR (S) 2/1/0,5	14,5	27	72	
14	HR (S) 2/1/0,3	13,4	40	80	
15	HR 1/2/0,5	14,1	17	108	
16	HR 1/2/0,3	13,1	20	110	
17	HR 1/1/0,5	11,8	27	116	
18	HR 1/1/0,3	9,6	44	148	
19	H 2/1/0,5	10,8	28	78	
20	H 2/1/0,3	8,5	47	106	
21	H 1/2/0,5	11,2	17	114	
22	H 1/2/0,3	10,2	21	116	
23	H 1/1/0,5	8,9	28	124	
24	H 1/1/0,3	6,9	47	180	
25	ND	3,9	47	360	

H: Antena en cortina de dipolos horizontales

R: Con reflector

S: Antena reorientable

m : Número de elementos colineales en cada fila horizontal

n : Número de elementos paralelos en cada fila vertical

h : Altura por encima del suelo de la fila inferior de elemento(s) en longitudes de onda a la frecuencia de diseño

(A): Reflector de pantalla aperiódico con elementos de alimentación central

(T): Reflector de dipolo sintonizado con elementos de alimentación central

(TE): Reflector de dipolo sintonizado con elementos de alimentación en el extremo

ND: Antena no direccional.

Las características que se dan en el Cuadro 1 se aplican a una frecuencia de diseño de 10 MHz y un suelo de conductividad media. Las características para las antenas y multibanda de banda doble dependen de la frecuencia; en el § 3 figuran informaciones sobre los cambios típicos esperados en la calidad de funcionamiento según la frecuencia.

Se da información sobre:

- la ganancia de directividad máxima del lóbulo de radiación principal en dB con respecto a una antena isotrópica (dBi);
- el ángulo de elevación de máxima radiación;
- la abertura del haz en el plano acimutal entre los puntos de -6 dB (en grados);
- las capacidades de reorientación en la práctica para los casos en que los radiadores/reflectores son uno de los siguientes:
 - (A): reflector de pantalla aperiódico con elementos de alimentación central,
 - (T): reflector de dipolo sintonizado con elementos de alimentación central,
 - (TE): reflector de dipolo sintonizado con elementos de alimentación en el extremo.

Los tipos 1-6 son formaciones de cuatro dipolos colineales en cada línea, con dos a cuatro líneas paralelas de dipolos puestas una sobre la otra, junto con uno de los tipos de reflectores mencionados, y han sido ampliados para incluir el funcionamiento multibanda y la reorientación.

Al reducir el número de elementos puestas uno sobre el otro o al reducir la altura de la fila más baja de dipolos, puede verse que:

- la ganancia máxima decrece;
- el ángulo de elevación del máximo del lóbulo principal aumenta;
- la abertura del haz en el plano acimutal no cambia.

El haz principal de las antenas multibanda y de banda doble con elementos de alimentación central puede reorientarse un máximo de $\pm 30^\circ$ antes de que los lóbulos secundarios alcancen valores de ganancia máxima cercanos a -6 dB con respecto al máximo del haz principal.

NOTA – Las características de elevación y de acimut cambiarán con la frecuencia de operación para las antenas multibanda y de banda doble (véase el § 3).

Los tipos 7-14 tienen dos dipolos colineales en cada fila con una a cuatro filas de dipolos una sobre la otra. Se observan las mismas tendencias que para el grupo anterior, excepto que la abertura del haz en el plano acimutal crece de manera significativa para las antenas con muy pocos elementos.

La reorientación del haz principal debería limitarse normalmente a un máximo de $\pm 15^\circ$ para evitar que los lóbulos secundarios tengan valores de ganancia máxima cercanos a -6 dB con respecto al máximo del haz principal.

Los tipos 15-18 son formaciones con un solo dipolo en cada fila, y utilizan un reflector. Estas antenas unidireccionales tienen los máximos de sus patrones de elevación a ángulos más altos y abertura del haz en el plano acimutal comparativamente grande entre los puntos de -6 dB.

Los tipos 19-24 incluyen formaciones con uno o dos elementos puestas uno sobre el otro, todos sin reflectores. Las características son por lo general similares a las del grupo anterior, excepto que los patrones de radiación son bidireccionales ya que no se utilizan reflectores. La antena no direccional, el tipo 25, tiene un patrón de elevación similar al del tipo 24.

2 Comparaciones entre los datos del UIT-R con el rendimiento en la práctica

La Fig. 2 ilustra las comparaciones entre diagramas de radiación obtenidos mediante programas de computador del UIT-R, los valores obtenidos a partir de datos de referencia y los datos conforme a esta Recomendación y muestra los diagramas de radiación acimutal (HR 2 y HR 4); la Fig. 3 muestra los diagramas de radiación vertical (HR $m/2/0,5$) y (HR $m/4/0,5$).

El Anexo 1 hace referencia a mediciones según las cuales es posible que la radiación hacia atrás de la antena en el mínimo esté a no más de 20 dB por debajo del máximo de una antena HR 4/4/h típica.

Es preciso realizar más estudios para comprobar el rendimiento en la práctica de antenas de baja ganancia, sobre todo en lo relativo a la atenuación lograda en direcciones distintas de la del lóbulo principal.

3 Antenas de banda múltiple y de banda doble

Las antenas de banda múltiple pueden explotarse en una gama de frecuencias de 2:1, es decir entre 0,6 y 1,4 veces la relación de la frecuencia de operación a la frecuencia de diseño. Las antenas de banda doble pueden funcionar únicamente en una gama de frecuencias de 0,9 a 1,1 veces la frecuencia de diseño.

El Cuadro 2 da detalles de la ganancia máxima, el ángulo de elevación al que esto se produce y la atenuación vertical a intervalos de 3° del ángulo de elevación para relaciones de frecuencia de 0,6 a 1,4 para los tipos de antenas multibanda HR(S) 4/4/0,5 ($m = 4$) y HR(S) 2/4/0,5 ($m = 2$). El ángulo de elevación de radiación máxima disminuye y las características verticales dadas muestran que el haz principal de la antena se hace más estrecho a medida que la frecuencia de diseño aumenta.

El Cuadro 3 da los valores de atenuación acimutal a intervalos de 5° acimut para estos dos tipos de antenas y para valores de frecuencia de diseño de 0,6 a 1,4.

El Cuadro 4 da los valores de la atenuación acimutal para una antena multibanda HR(S) 4/4/0,5 provista de un reflector de pantalla aperiódico que funciona a la frecuencia de diseño, sin reorientación y con reorientaciones en pasos de 5° hasta un máximo de 30°.

4 Diagramas de elevación de antena equivalente

Las características de diagrama de elevación de las antenas de ondas decamétricas dependen de la altura de la fila de elementos más baja, h , el número de elementos paralelos puestos uno sobre otro, n , y la conductividad del suelo. Los diagramas de elevación se calculan utilizando una función de reflexión del suelo que depende de la distancia entre los elementos radiantes y sus imágenes en el suelo. Esta función puede simplificarse para utilizar la mitad de esa distancia, es decir la altura media, h_m , de los elementos radiantes, ilustrada en la Fig. 4a para antenas de 2 y de 4 filas.

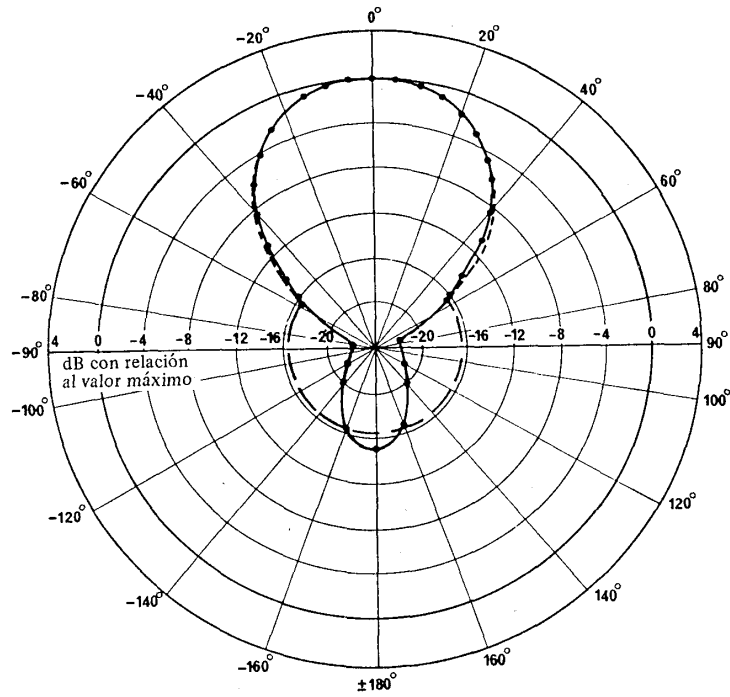
El ángulo de elevación para el máximo del primer lóbulo principal viene dado entonces aproximadamente por:

$$\theta_{m\acute{a}x} = \text{arc sen } (1/4,5 \times h_m)$$

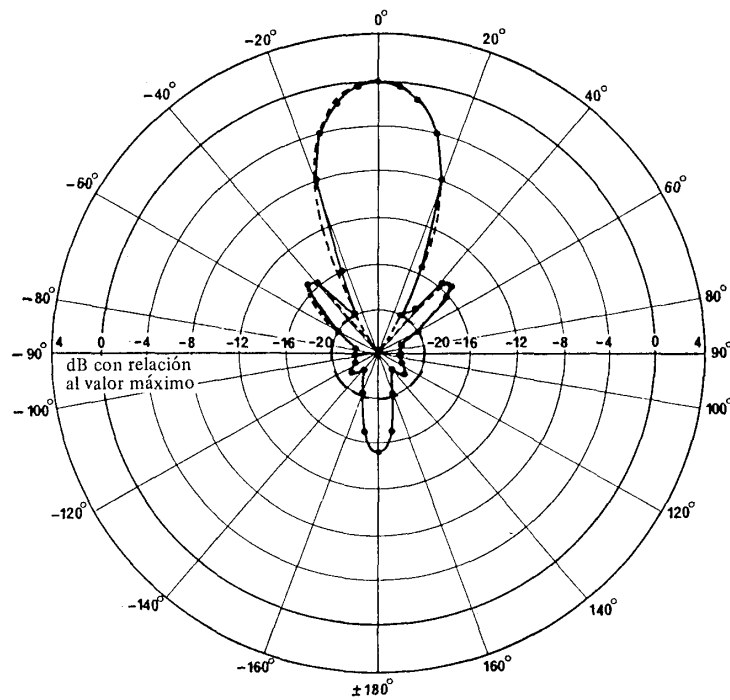
donde:

$$h_m = h + 0,25 (n - 1),$$

h y n se definen en el Cuadro 1.



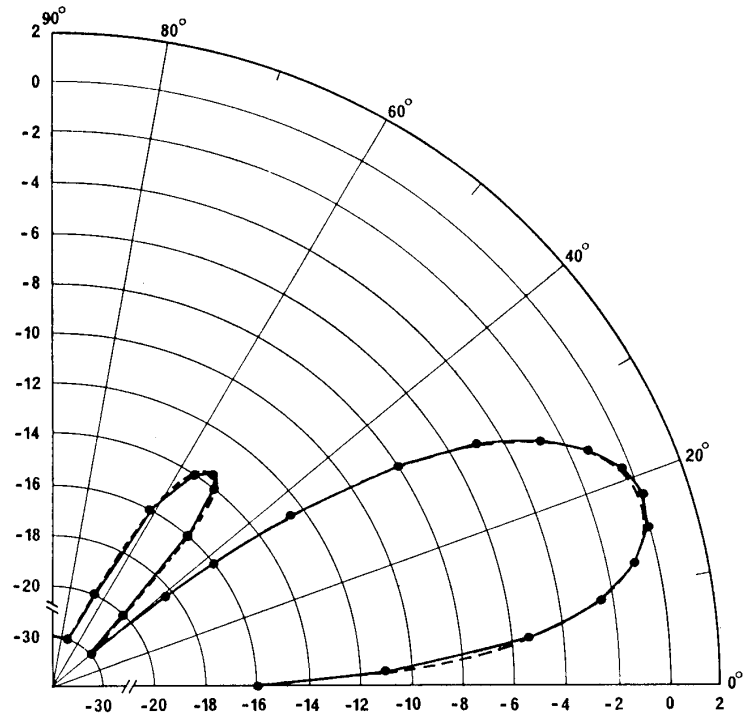
a) Diagrama acimutal de una antena HR 2/4/0,5;
Ganancia máxima 19 dBi



b) Diagrama acimutal de una antena HR 4/4/1;
Ganancia máxima 22 dBi

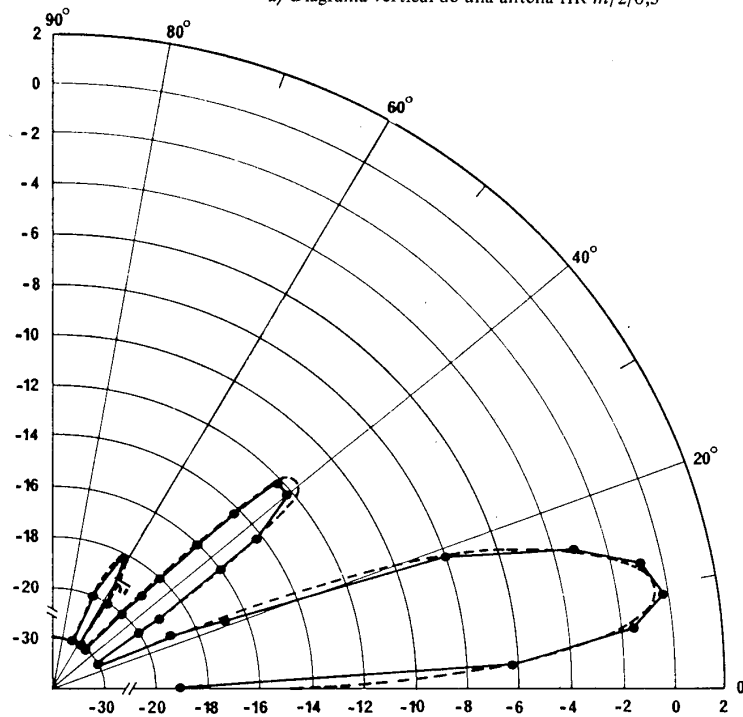
FIGURA 2 — Comparación de los diagramas de radiación en el plano acimutal, obtenidos para las antenas y los tres casos indicados

- Datos representativos
- - - Datos del UIT-R
- Recomendación UIT-R BS.80



dB con relación al valor máximo

a) Diagrama vertical de una antena HR $m/2/0,5$



dB con relación al valor máximo

b) Diagrama vertical de una antena HR $m/4/0,5$

FIGURA 3 — Comparación de los diagramas de radiación en el plano vertical, obtenidos para las antenas y casos indicados

●—●—●— Datos representativos
 - - - - - Datos del UIT-R

CUADRO 3a

Atenuación acimutal de la antena sin reorientación de tipo HR(S) 4/4/0,5

Relación de frecuencia	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Ángulo acimutal	Atenuación acimutal (dB)								
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8
10	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,6	3,0	3,5
15	1,8	2,3	2,9	3,5	4,3	5,3	6,3	7,6	9,1
20	3,2	4,1	5,3	6,6	8,3	10,5	13,3	17,6	25,3
25	5,1	6,6	8,7	11,3	15,2	21,8	30,0	21,5	16,4
30	7,5	9,9	13,5	19,4	30,0	22,6	16,9	14,1	12,7
35	10,4	14,4	21,6	30,0	20,4	16,0	14,1	13,4	13,7
40	14,0	20,7	30,0	21,3	16,8	15,0	14,8	15,8	18,6
45	18,5	30,0	24,4	18,6	16,5	16,3	17,7	21,7	30,0
50	24,5	30,0	21,6	18,5	17,9	19,2	23,3	30,0	25,1
55	30,0	27,5	21,4	19,8	20,5	24,0	30,0	28,3	20,9
60	30,0	26,5	22,7	22,2	24,4	30,0	30,0	24,7	20,9
65	30,0	27,5	25,0	25,6	29,4	30,0	30,0	25,0	22,9
70	30,0	29,8	28,3	29,8	30,0	30,0	30,0	27,4	26,6
75	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
80	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
85	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
90	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
95	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
100	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
105	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
110	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
115	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
120	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
125	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
130	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
135	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
140	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
145	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
150	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	29,4
155	28,3	29,4	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
160	26,7	27,1	27,7	28,4	29,3	30,0	30,0	30,0	30,0
165	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,4	25,5	25,7
170	24,6	24,2	23,9	23,4	22,9	22,3	21,6	20,8	19,9
175	24,0	23,5	22,9	22,3	21,5	20,6	19,6	18,4	17,1
180	23,9	23,3	22,7	21,9	21,0	20,1	19,0	17,7	16,2

CUADRO 3b

Atenuación acimutal de la antena sin reorientación de tipo HR(S) 2/4/0,5

Relación de frecuencia	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
Ángulo acimutal	Atenuación acimutal (dB)								
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
10	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7
15	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7
20	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,3	2,6	2,8	3,1
25	2,2	2,4	2,7	3,0	3,3	3,7	4,1	4,6	5,1
30	3,2	3,5	3,9	4,4	4,9	5,5	6,1	6,9	7,9
35	4,4	4,9	5,4	6,0	6,8	7,7	8,8	10,1	11,8
40	5,8	6,4	7,1	8,0	9,1	10,4	12,1	14,5	18,1
45	7,5	8,2	9,2	10,3	11,8	13,8	16,5	21,3	30,0
50	9,4	10,3	11,5	13,0	15,0	18,0	22,9	30,0	24,9
55	11,6	12,7	14,2	16,1	18,9	23,5	30,0	28,2	20,1
60	14,1	15,5	17,3	19,7	23,4	30,0	30,0	24,1	19,0
65	17,1	18,7	20,8	23,8	28,9	30,0	30,0	23,7	19,7
70	20,5	22,5	25,0	28,6	30,0	30,0	30,0	25,3	21,8
75	24,8	27,0	29,9	30,0	30,0	30,0	30,0	28,6	25,5
80	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
85	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
90	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
95	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
100	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
105	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
110	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
115	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
120	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
125	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
130	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
135	29,0	29,4	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
140	27,9	28,1	28,5	28,9	29,5	30,0	30,0	30,0	30,0
145	27,0	27,0	27,1	27,3	27,4	27,7	28,1	28,7	29,5
150	26,2	26,1	25,9	25,8	25,7	25,6	25,5	25,4	25,3
155	25,5	25,2	24,9	24,6	24,3	23,9	23,4	22,9	22,2
160	24,9	24,5	24,1	23,7	23,1	22,5	21,8	20,9	19,9
165	24,4	24,0	23,5	22,9	22,2	21,4	20,5	19,5	18,3
170	24,1	23,6	23,0	22,3	21,6	20,7	19,7	18,5	17,1
175	23,9	23,4	22,7	22,0	21,2	20,2	19,1	17,9	16,4
180	23,9	23,3	22,7	21,9	21,0	20,1	19,0	17,7	16,2

CUADRO 4

Atenuación acimutal de la antena sin reorientación de tipo HR(S) 4/4/0,5

Relación de frecuencia: 1,0							
Reorientación =	0	5	10	15	20	25	30
Az máx. =	0	4	9	13	17	22	26
-6 dB =	18	23	27	32	37	42	46
-6 dB =	-18	-13	-9	-4	0	5	9
Abertura =	36	36	36	36	37	37	37
s_{ef} =	0	5	9	14	18	23	27
Angulo	Atenuación acimutal (dB)						
0	0,0	0,4	1,5	3,5	6,8	12,7	30,0
5	0,5	0,0	0,3	1,3	3,1	6,1	11,2
10	1,8	0,5	0,0	0,2	1,0	2,6	5,3
15	4,3	2,0	0,7	0,1	0,1	0,8	2,1
20	8,3	4,5	2,2	0,8	0,1	0,0	0,5
25	15,2	8,4	4,7	2,4	0,9	0,2	0,0
30	30,0	14,7	8,5	4,9	2,6	1,1	0,3
35	20,4	29,7	14,2	8,5	5,1	2,9	1,4
40	16,8	23,8	24,9	13,6	8,5	5,4	3,2
45	16,5	19,0	29,7	21,8	13,2	8,7	5,7
50	17,9	18,4	22,2	30,0	19,7	12,9	9,0
55	20,5	19,5	21,0	27,2	30,0	18,4	13,0
60	24,4	22,0	22,0	24,9	30,0	25,9	17,8
65	29,4	25,4	24,3	25,7	30,0	30,0	23,7
70	30,0	29,9	27,9	28,2	30,0	30,0	30,0
75	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
80	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
85	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
90	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
95	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
100	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
105	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
110	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
115	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
120	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
125	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
130	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	28,5
135	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	28,7	25,8
140	30,0	30,0	30,0	30,0	28,9	25,8	23,7
145	30,0	30,0	30,0	29,1	25,7	23,5	22,1
150	30,0	30,0	29,3	25,7	23,4	22,0	21,2
155	30,0	29,4	25,6	23,3	21,9	21,1	20,9
160	29,3	25,5	23,2	21,8	21,1	21,0	21,5
165	25,4	23,0	21,7	21,1	21,1	21,9	23,2
170	22,9	21,6	21,1	21,2	22,1	23,7	26,3
175	21,5	21,1	21,3	22,3	24,1	27,1	30,0
180	21,0	21,4	22,5	24,5	27,9	30,0	30,0
185	21,5	22,7	24,9	28,4	30,0	30,0	30,0
190	22,9	25,1	28,9	30,0	30,0	30,0	30,0
195	25,4	29,1	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
200	29,3	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
205	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
210	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
215	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
220	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
225	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
230	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
235	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
240	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
245	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
250	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
255	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
260	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
265	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
270	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
275	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
280	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
285	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
290	30,0	30,0	30,0	28,7	27,2	27,9	30,0
295	29,4	30,0	30,0	26,4	24,0	23,7	25,7
300	24,4	30,0	30,0	25,8	22,0	20,7	21,3
305	20,5	24,4	30,0	27,9	21,3	18,7	18,1
310	17,9	19,8	25,5	30,0	22,7	18,1	16,2
315	16,5	16,7	19,4	27,5	29,2	19,3	15,6
320	16,8	15,0	15,8	19,2	30,0	24,5	16,8
325	20,4	15,1	13,9	15,0	18,9	30,0	21,8
330	30,0	18,3	13,9	12,9	14,2	18,3	30,0
335	15,2	30,0	16,7	12,8	12,0	13,2	17,2
340	8,3	15,4	30,0	15,7	12,0	11,1	12,1
345	4,3	8,2	15,3	30,0	15,0	11,2	10,2
350	1,8	4,1	7,8	14,8	30,0	14,7	10,6
355	0,5	1,7	3,8	7,4	13,9	30,0	14,8

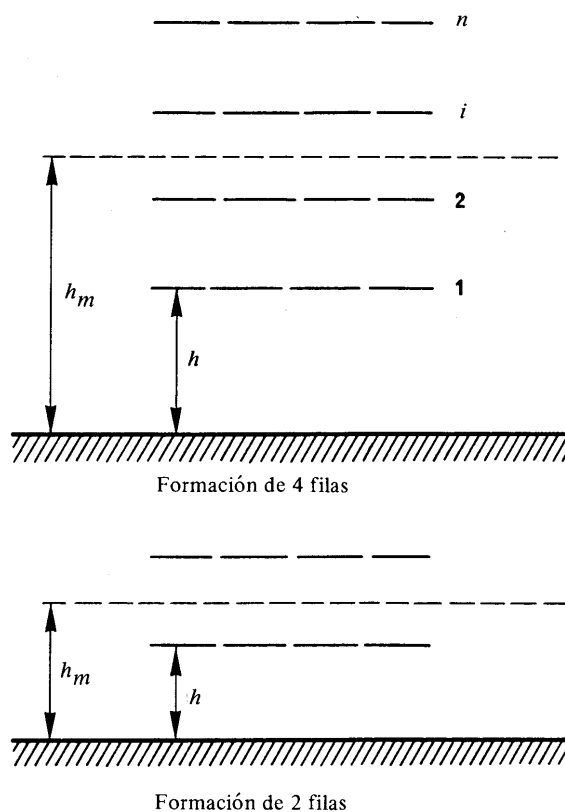


FIGURA 4a

D04-sc

La Fig. 4b muestra los ángulos de elevación de radiación máxima obtenidos de los cálculos de antena del UIT-R trazados en función de la altura media h_m y la curva obtenida con la fórmula anterior. La Fig. 4c ilustra h_m a la frecuencia de diseño y la variación en el valor de h_m para las antenas multibanda enumeradas en el Cuadro 1.

Una antena HR 4/6/0,5 tiene una altura media de 1,75 longitudes de onda a la frecuencia de diseño y tendrá, como puede verse de la Fig. 4c, la misma altura media y por consiguiente la radiación máxima se producirá a un ángulo de elevación similar al de una HR 4/4/1,0.

5 Antenas con directividad desviada horizontalmente

El ángulo de desviación es la diferencia entre el acimut de la normal a los dipolos, es decir, en la dirección de la máxima del haz no desviado, y el acimut de la radiación desviada. El ángulo real de desviación de la máxima del haz desviado puede variar en función de la frecuencia de trabajo.

La desviación suele efectuarse mediante el desfase de la alimentación de los elementos radiantes colocados horizontalmente. Como resultado de esto, si la desviación es tal que el acimut del haz principal aumenta, los acimutes de los lóbulos laterales dirigidos hacia atrás disminuirán.

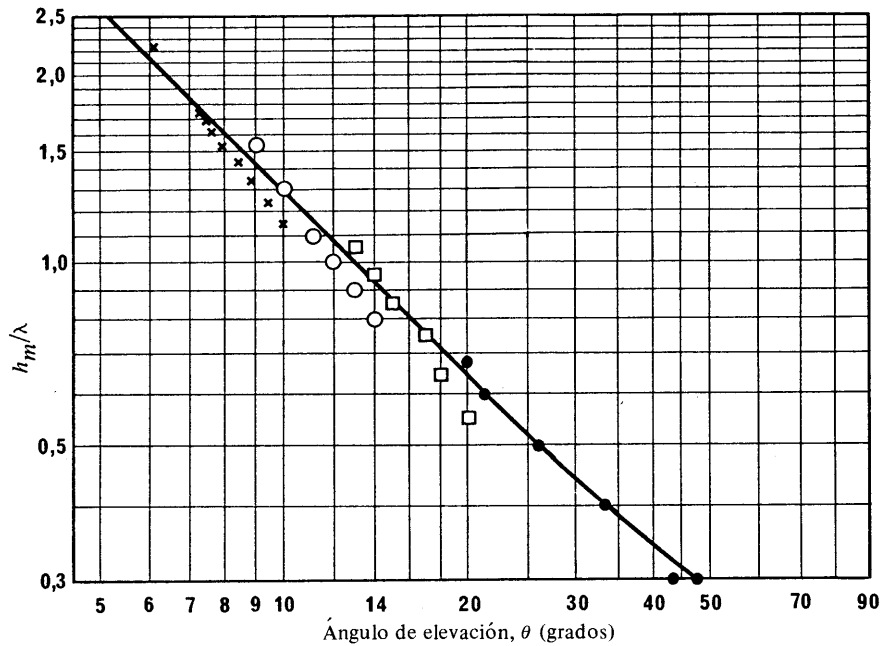


FIGURA 4b – Ángulo de radiación máxima en función de la altura media (h_m)

- × Elementos por pila 4
- Elementos por pila 3
- Elementos por pila 2
- Elementos por pila 1

D05-sc

Por ejemplo, si el máximo del haz no desviado fue 90° con respecto al N y el haz desviado a 110° con respecto al N, los acimutes correspondientes de un solo lóbulo de radiación hacia atrás sería 270° y 250° E de N respectivamente. Esto se muestra en la Fig. 5.

Cuando una antena es desviada horizontalmente, el diagrama de radiación horizontal no es simétrico con respecto al acimut de máxima radiación. El grado de la asimetría aumenta a medida que aumenta la magnitud de la desviación.

Debe señalarse también que el ángulo desviado, s , no define siempre precisamente el centro del diagrama horizontal dado por el valor medio de los ángulos en los cuales la ganancia máxima se reduce en 6 dB en el diagrama de radiación hacia adelante. Este valor medio se denomina «desviación efectiva», s_{ef} . Este parámetro refleja más exactamente la realidad del funcionamiento de las antenas con directividad desviada, en particular las antenas multibanda. La adopción del término «desviación efectiva», según se define anteriormente, ayudará a reducir las ambigüedades que se observan a menudo en la descripción de los diagramas de radiación de antena con directividad desviada.

Como existen muchas posibilidades de confusión al tratar de las antenas con directividad desviada, en particular cuando se hace referencia a un ángulo de desviación, se recomienda que se citen en toda la documentación los acimutes de máxima radiación para las antenas con directividad desviada o sin ella.

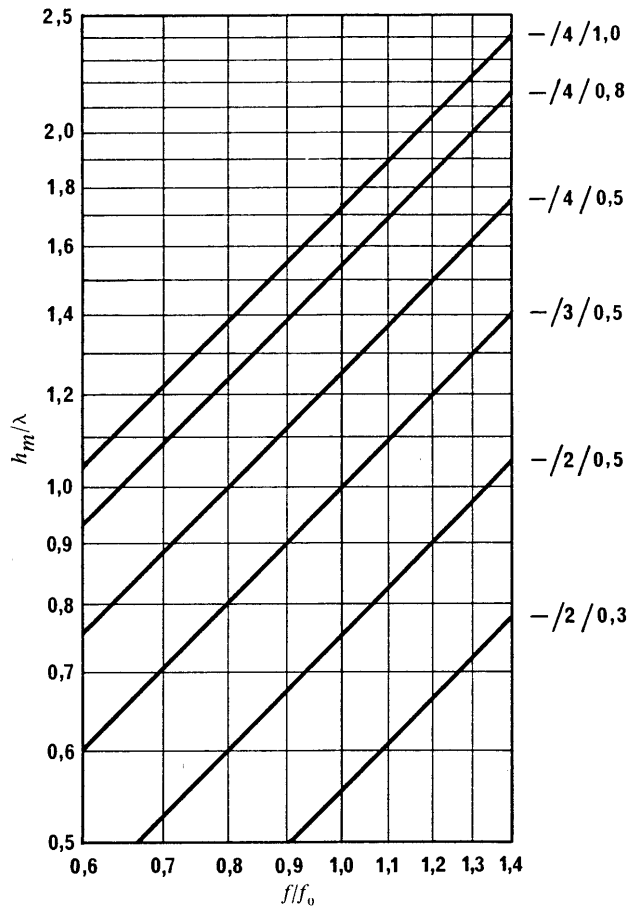


FIGURA 4c – Variación en altura media (h_m) para antenas multibanda típicas

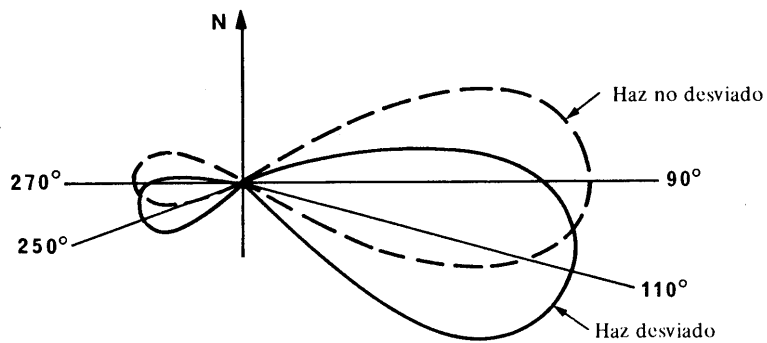


FIGURA 5 – Diagrama para antena con directividad desviada o sin ella