

RECOMENDACIÓN UIT-R F.1336*

**DIAGRAMAS DE RADIACIÓN DE REFERENCIA DE ANTENAS OMNIDIRECCIONALES
Y OTROS TIPOS DE ANTENAS DE SISTEMAS DE PUNTO A MULTIPUNTO
PARA SU UTILIZACIÓN EN ESTUDIOS DE COMPARTICIÓN**

(Cuestión UIT-R 202/9)

(1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que, para los estudios de coordinación y para la evaluación de la interferencia mutua entre sistemas de radioenlaces punto a multipunto y entre estaciones de tales sistemas y estaciones de los servicios de radiocomunicación espacial que comparten la misma banda de frecuencias, puede ser necesario utilizar diagramas de radiación de referencia para antenas de sistemas de radioenlaces;
- b) que, para dichos estudios pueden ser apropiados los diagramas de radiación basados en el nivel rebasado por un pequeño porcentaje de los valores de cresta de los lóbulos laterales;
- c) que los diagramas de lóbulos laterales de antenas de diferentes tamaños dependen en gran medida de la directividad de la antena y de la relación entre el diámetro de la antena y la longitud de onda de funcionamiento;
- d) que se necesitan los diagramas de radiación de referencia cuando no se dispone de información sobre el diagrama de radiación real de la antena;
- e) que, para ángulos grandes, debe considerarse la posibilidad de reflexiones locales en la superficie;
- f) que las antenas con los mejores diagramas de radiación disponibles permitirán utilizar con máxima eficacia el espectro de radiofrecuencias,

recomienda

- 1** que, en ausencia de información particular sobre el diagrama de radiación de la antena del sistema de radioenlaces punto a multipunto correspondiente (véase la Nota 1), se utilice el diagrama de radiación de referencia indicado a continuación para:
 - 1.1** evaluar la interferencia entre distintos sistemas de radioenlaces punto a multipunto con visibilidad directa;
 - 1.2** realizar estudios de coordinación y evaluación de la interferencia entre estaciones de sistemas de radioenlaces punto a multipunto con visibilidad directa y estaciones de los servicios de radiocomunicación espacial que comparten la misma banda de frecuencias;
- 2** que se adopte el siguiente diagrama de radiación de referencia para las frecuencias comprendidas en la gama de 1-3 GHz (véase la Nota 2):
 - 2.1** en los casos en que se trate de una estación que utiliza una antena con diagrama omnidireccional o próximo al plano horizontal, se deberán utilizar las siguientes ecuaciones para los ángulos de elevación en la gama de 0° a 90° (véanse el Anexo 1 y la Nota 3):

$$G(\theta) = \text{máx}\{G_1(\theta), G_2(\theta)\}$$

$$G_1(\theta) = G_0 - 12 (\theta/\varphi_3)^2$$

$$G_2(\theta) = G_0 - 12 + 10 \log \left[\left(\text{máx} \{ \theta/\varphi_3, 1 \} \right)^{-1,5} + k \right]$$

donde:

$G(\theta)$: ganancia relativa con respecto a una antena isotrópica (dBi)

G_0 : ganancia máxima en el plano horizontal o próximo a él (dBi)

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 7, 8, 10 y 11 de Radiocomunicaciones.

θ : ángulo de elevación en relación con el ángulo de ganancia máxima (grados)

φ_3 : la anchura de haces de 3 dB en el plano vertical (grados):

$$\varphi_3 = \frac{1}{\alpha^2 - 0,818}$$

con:

$$\alpha = \frac{10^{0,1 G_0} + 172,4}{191,0}$$

k : parámetro que representa el aumento de los niveles de los lóbulos laterales por encima de lo que podría esperarse de una antena ideal;

2.1.1 en los casos en que se trate de antenas típicas el parámetro k sería 1,5 (véase la Nota 4);

2.1.2 en los casos en que se trate de antenas con una mejor calidad de lóbulos laterales, el parámetro k debería ser 0;

2.2 en los casos en que se trata de antenas de bajo costo y poca ganancia, con simetría circular alrededor de la anchura de haz de 3 dB y con una ganancia menor que aproximadamente 20 dBi, deberán utilizarse las siguientes ecuaciones (véanse el Anexo 2 y la Nota 5):

$$G(\theta) = \begin{cases} G_0 - 12 (\theta / \varphi_3)^2 & \text{para } 0 \leq \theta < 1,078 \varphi_3 \\ G_0 - 14 & \text{para } 1,078 \varphi_3 \leq \theta < \varphi_1 \\ G_0 - 14 - 32 \log (\theta / \varphi_1) & \text{para } \varphi_1 \leq \theta < \varphi_2 \\ -8 & \text{para } \varphi_2 \leq \theta \leq 180^\circ \end{cases}$$

donde:

$G(\theta)$: ganancia relativa con respecto a una antena isotrópica (dBi)

G_0 : ganancia del lóbulo principal de la antena (dBi)

θ : ángulo fuera de eje (grados)

φ_3 : anchura de haz de 3 dB de la antena del abonado (grados)

$$= \sqrt{27\,000 \times 10^{-0,1 G_0}}$$

$\varphi_1 = 1,9 \varphi_3$ (grados)

$\varphi_2 = \varphi_1 \times 10^{(G_0 - 6)/32}$ (grados);

3 que se necesitan estudios ulteriores para mejorar la definición de las envolventes del diagrama de radiación de antena. De esta manera se facilitará la compartición de frecuencias con otros servicios y se mejorará la utilización del espectro;

4 que las siguientes Notas se consideren parte de esta Recomendación:

NOTA 1 – Es esencial hacer todo lo posible por utilizar el diagrama real de antena en los estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia.

NOTA 2 – Se deberán elaborar diagramas de referencia para las antenas utilizadas en las bandas de frecuencias superiores a 3 GHz. Deberán elaborarse asimismo diagramas de radiación de referencia para otras antenas que puedan utilizarse en las estaciones centrales de los sistemas punto a multipunto.

NOTA 3 – El diagrama de radiación de referencia que figura en el *recomienda* 2.1 se aplica primordialmente a las situaciones en que la ganancia máxima en el plano horizontal es entre 8 dBi y 13 dBi. Se necesitan estudios ulteriores para establecer plenamente la gama para la cual las ecuaciones son válidas.

NOTA 4 – El diagrama de radiación de referencia para las antenas omnidireccionales y sectoriales que figura en el § A.2.1.2.2.3 de la Resolución 46 (CMR-95) de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Ginebra, 1995) es el siguiente:

$$G(\theta) = \begin{cases} G_0 - 12 (\theta / \varphi_3)^2 & \text{para } 0 \leq \theta < \varphi_3 \\ G_0 - 12 - 10 \log (\theta / \varphi_3) & \text{para } \varphi_3 \leq \theta \leq 90^\circ \end{cases}$$

Los parámetros son los definidos en el *recomienda* 2.1.

En la Resolución 46 (CMR-95) y el Anexo 1 al Apéndice S5 (CMR-95) se indica que este diagrama de antena es provisional y que se prosigue el estudio en el UIT-R.

NOTA 5 – El diagrama de radiación de referencia que figura en el *recomienda* 2.2 se aplica primordialmente a las situaciones en que la ganancia de antena es inferior o igual a 20 dBi, y los resultados que se obtienen aplicando la Recomendación UIT-R F.699 son inadecuados. Se requieren estudios ulteriores para establecer plenamente la gama para la cual las ecuaciones son válidas.

ANEXO 1

Diagrama de radiación de referencia para las antenas omnidireccionales que se utilizan en los sistemas de radioenlace punto a multipunto

1 Introducción

Las antenas omnidireccionales se utilizan con frecuencia para transmitir y recibir señales en las estaciones centrales de los sistemas de radioenlace punto a multipunto. En los estudios en que se prevé la compartición de este tipo de sistemas de radioenlaces y los sistemas de servicios espaciales en las bandas 2 GHz se ha aplicado el diagrama de radiación de referencia que se describe a continuación.

2 Análisis

El diagrama de radiación de referencia se basa en las siguientes hipótesis sobre las antenas omnidireccionales:

- que la antena es un conjunto lineal de n elementos con radiación en modo transversal;
- que los elementos del conjunto son dipolos;
- que los elementos del conjunto tienen un espaciamiento de $3\lambda/4$.

La anchura de haz 3 dB y φ_3 del conjunto en el plano de elevación se relaciona con la directividad D en virtud de:

$$D = 10 \log \left[191,0 \sqrt{0,818 + 1/\varphi_3} - 172,4 \right] \quad \text{dBi} \quad (1)$$

La ecuación (1) puede resolverse para φ_3 cuando se conoce la directividad:

$$\varphi_3 = \frac{1}{\alpha^2 - 0,818} \quad (2a)$$

con:

$$\alpha = \frac{10^{0,1D} + 172,4}{191,0} \quad (2b)$$

La relación entre la anchura de haz de 3 dB en el plano de elevación y la directividad se extrajo a partir de la hipótesis de que se obtenía una aproximación suficiente del diagrama de radiación en el plano de elevación mediante:

$$f(\theta) = \cos^m \theta$$

siendo m un parámetro arbitrario utilizado para poner en relación la anchura de haz de 3 dB y el diagrama de radiación en el plano de elevación. Utilizando esta aproximación, se obtuvo la directividad integrando el diagrama sobre los planos de elevación y de acimut.

La intensidad del campo lejano de un conjunto lineal de antenas está dada por:

$$E_T(\theta) = E_e(\theta) \cdot AF(\theta) \quad (3)$$

donde:

$E_T(\theta)$: campo E en un ángulo de normal θ al eje del conjunto de antenas

$E_e(\theta)$: campo E en un ángulo de normal θ al eje de la antena causado por un elemento único del conjunto

$AF(\theta)$: factor del conjunto de antenas en un ángulo de normal θ al eje de dicho conjunto.

El campo E normalizado de un elemento de dipolo es:

$$E_e(\theta) = \cos \theta \quad (4)$$

El factor del conjunto de antenas es:

$$AF_N = \frac{1}{N} \left[\frac{\sin(N\psi/2)}{\sin(\psi/2)} \right] \quad (5)$$

donde:

N : número de elementos en la red de antenas

$$\frac{\psi}{2} = \frac{1}{2} \left[2\pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta \right]$$

d : espaciamento de los radiadores

λ : longitud de onda.

Se ha utilizado el siguiente procedimiento para estimar el número de elementos, N , en el conjunto de antenas. Se parte de la hipótesis de que la ganancia máxima de dicho conjunto es idéntica a la directividad de la red de antenas:

- dada la ganancia máxima de la antena omnidireccional en el plano de elevación, se calcula la anchura de haz de 3 dB ϕ_3 , utilizando las ecuaciones (2a) y (2b);
- se hace caso omiso de la pequeña reducción de la ganancia fuera de eje causada por el elemento de dipolo, y se toma nota de que el factor del conjunto de antenas AF_N se evalúa en 0,707 (–3 dB) cuando $N\psi/2 = 1,3916$;
- luego se determina N como valor íntegro, INT , de:

$$N = INT \left[\frac{2 \times 1,3916}{2\pi \frac{d}{\lambda} \sin\left(\frac{\phi_3}{2}\right)} \right] \quad (6)$$

La discriminación fuera de eje normalizada, ΔD , está dada por:

$$\Delta D = 20 \log \left[|AF_N \times \cos \theta| \right] \quad \text{dB} \quad (7)$$

Se ha evaluado la ecuación (7) como una función del ángulo fuera del eje (es decir, el ángulo de elevación) para varios valores de ganancia máxima. En el caso de los valores de la gama de 8 dBi a 13 dBi, se ha determinado que puede obtenerse una aproximación adecuada de la envolvente del diagrama de radiación en el plano de elevación mediante las siguientes ecuaciones:

$$G(\theta) = \text{máx}\{G_1(\theta), G_2(\theta)\}$$

$$G_1(\theta) = G_0 - 12 (\theta/\phi_3)^2 \quad \text{dBi} \quad (8a)$$

$$G_2(\theta) = G_0 - 12 + 10 \log \left[\left(\text{máx} \{ \theta/\phi_3, 1 \} \right)^{-1,5} + k \right] \quad \text{dBi} \quad (8b)$$

donde k es un parámetro que representa el aumento de los niveles de los lóbulos laterales por encima de lo que podría esperarse en una antena ideal.

En las Figs. 1 a 4 se comparan las envolventes de radiación de referencia con los diagramas teóricos de antena generados a partir de la ecuación (8), para ganancias de 8 dBi a 13 dBi, utilizando un factor de $k = 0$. En las Figs. 5 a 8 se comparan las envolventes de radiación de referencia con los diagramas reales de antena, medidos utilizando un factor de $k = 0$. De las Figs. 7 y 8 se desprende que los lóbulos laterales son de aproximadamente 15 dB o más por debajo del nivel del lóbulo principal, permitiendo un pequeño porcentaje de valores de cresta de los lóbulos laterales que podrían superar este valor. Sin embargo, algunos factores prácticos como la utilización de ángulos de inclinación eléctrica, la degradación de diagramas en los extremos de banda y las variaciones de producción aumentarían aún más los lóbulos laterales a aproximadamente 10 dB por debajo del lóbulo principal en las instalaciones reales de campo. El factor k , antes mencionado en la ecuación (8), tiene por objeto caracterizar esta variación en los niveles de los lóbulos laterales.

En las Figs. 9 y 10 se ofrece una comparación de una antena de ganancia de 10 dBi y de 13 dBi, a 2,4 GHz, en que la envolvente del diagrama de radiación de referencia utiliza $k = 0,5$. El factor $k = 0,5$ representa los niveles de lóbulos laterales aproximadamente de 15 dB por debajo del valor de cresta del lóbulo principal. Para reflejar los nuevos aumentos en los niveles de lóbulos laterales encontrados en las instalaciones de campo, se deberá utilizar para las antenas típicas un factor de $k = 1,5$, que representa a los niveles de lóbulos laterales aproximadamente de 10 dB por debajo del nivel del lóbulo principal. Por último, en las Figs. 11 y 12 se ilustra el efecto que se produce en los diagramas de elevación por la utilización de diversos valores de k .

FIGURA 1

Diagrama de radiación normalizado de un conjunto de antenas lineal de elementos de dipolo, en relación con la envolvente aproximada del diagrama de radiación

$G_0 = 10 \text{ dBi}, k = 0$

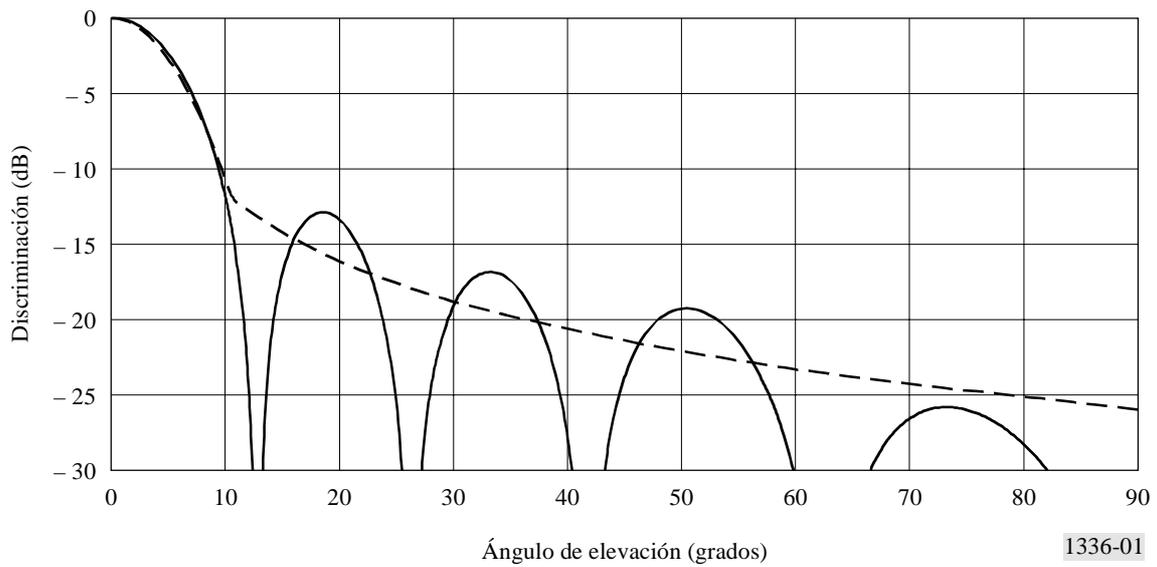


FIGURA 2

Diagrama de radiación normalizado de un conjunto de antenas lineal de elementos de dipolo, en relación con la envolvente aproximada del diagrama de radiación

$G_0 = 11 \text{ dBi}, k = 0$

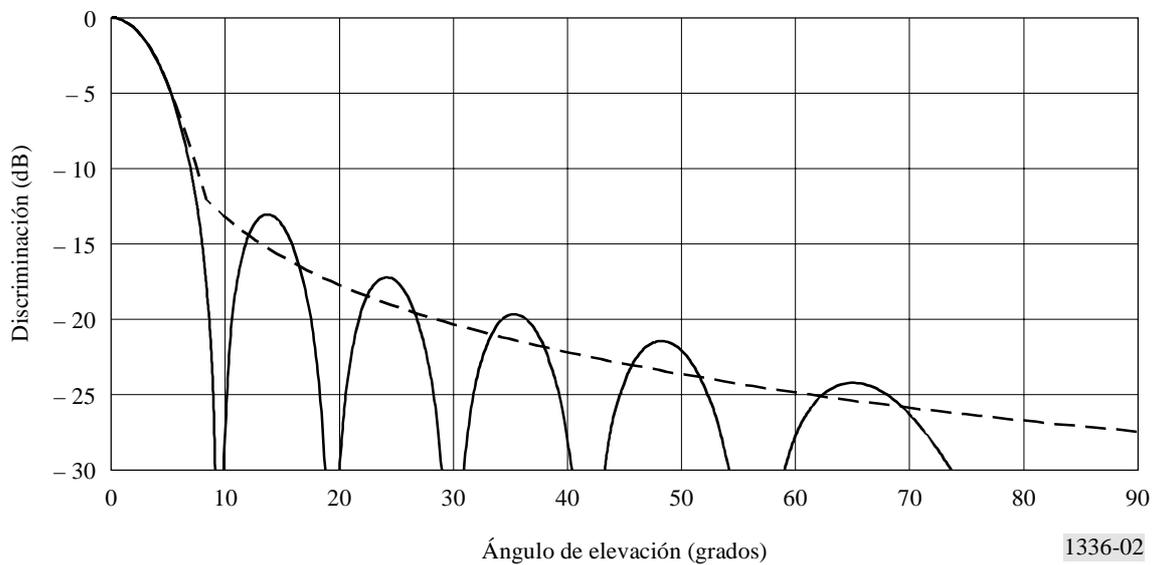
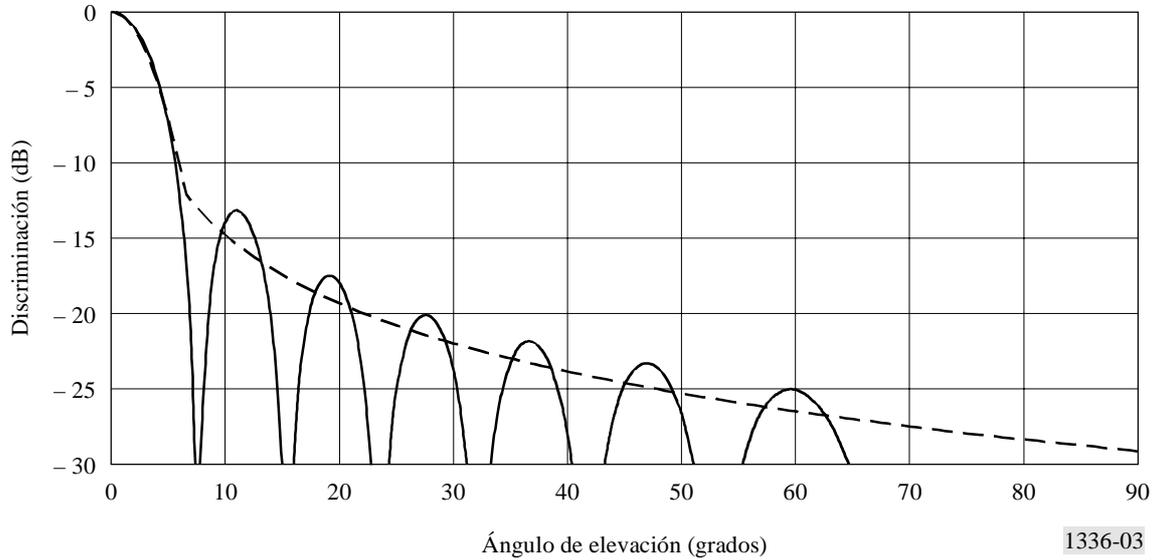


FIGURA 3

Diagrama de radiación normalizado de un conjunto de antenas lineal de elementos de dipolo,
en relación con la envolvente aproximada del diagrama de radiación

$$G_0 = 12 \text{ dBi}, k = 0$$

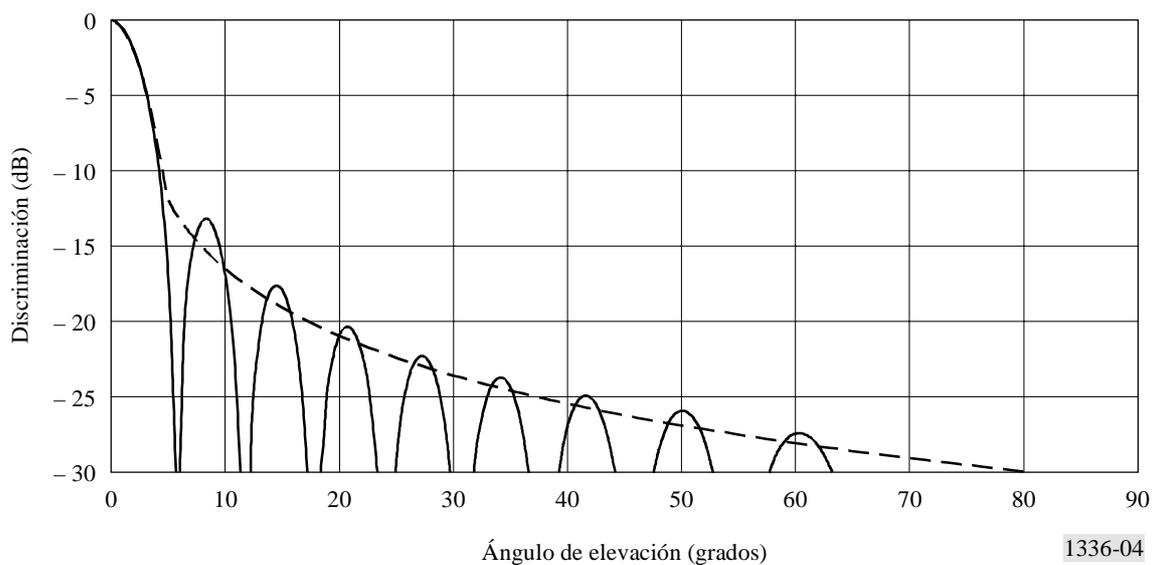


1336-03

FIGURA 4

Diagrama de radiación normalizado de un conjunto de antenas lineal de elementos de dipolo,
en relación con la envolvente aproximada del diagrama de radiación

$$G_0 = 13 \text{ dBi}, k = 0$$



1336-04

FIGURA 5

Comparación de los diagramas de radiación medido y de referencia para una antena omnidireccional con una ganancia de 11 dBi y que funciona en la banda 928-944 MHz, $k = 0$

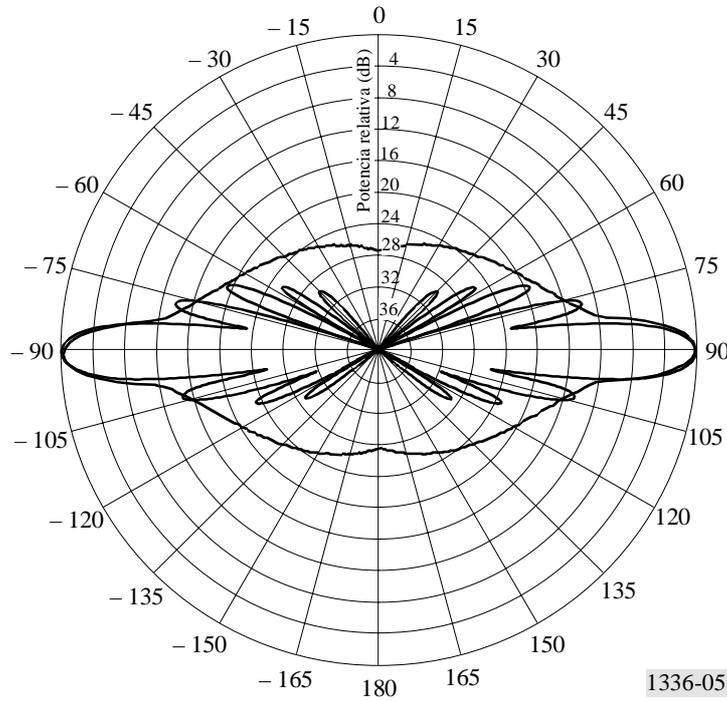


FIGURA 6

Comparación de la envolvente de los diagramas de radiación medido y de referencia para una antena omnidireccional con una ganancia de 8 dBi y que funciona en la banda 1 850-1 990 MHz, $k = 0$

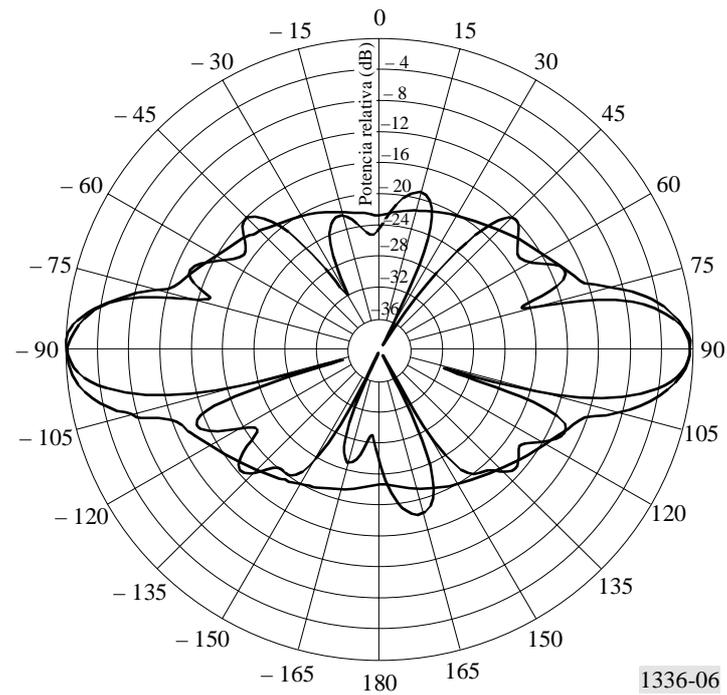


FIGURA 7

Comparación de la envolvente de los diagramas de radiación medido y de referencia con $k = 0$, para una antena omnidireccional con una ganancia de 10 dBi y que funciona en la banda 1,4 GHz

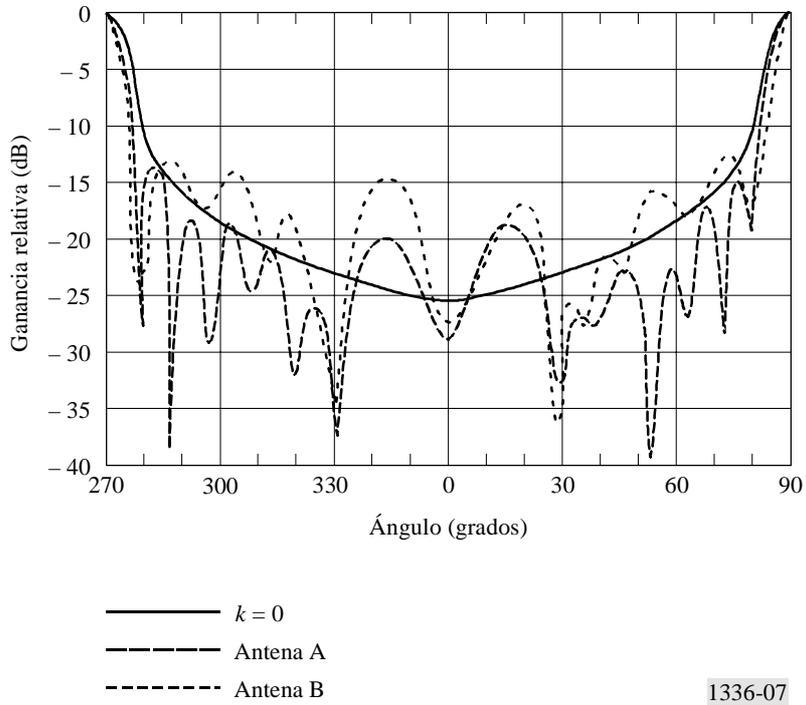


FIGURA 8

Comparación de la envolvente de los diagramas de radiación medido y de referencia con $k = 0$, para una antena omnidireccional con una ganancia de 13 dBi y que funciona en la banda 1,4 GHz

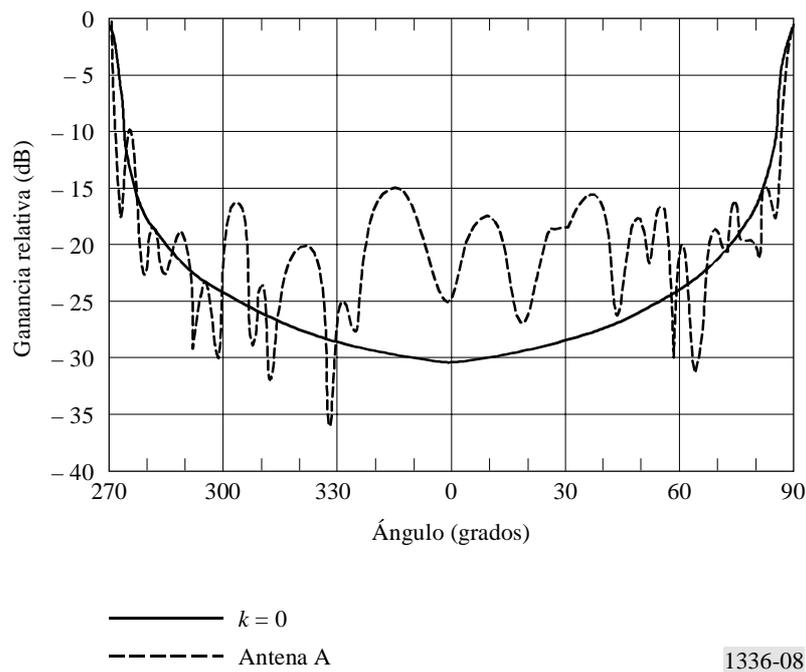


FIGURA 9

Comparación de la envolvente de los diagramas de radiación medido y de referencia con $k = 0,5$, para una antena omnidireccional con una ganancia de 10 dBi y que funciona en la banda 2,4 GHz

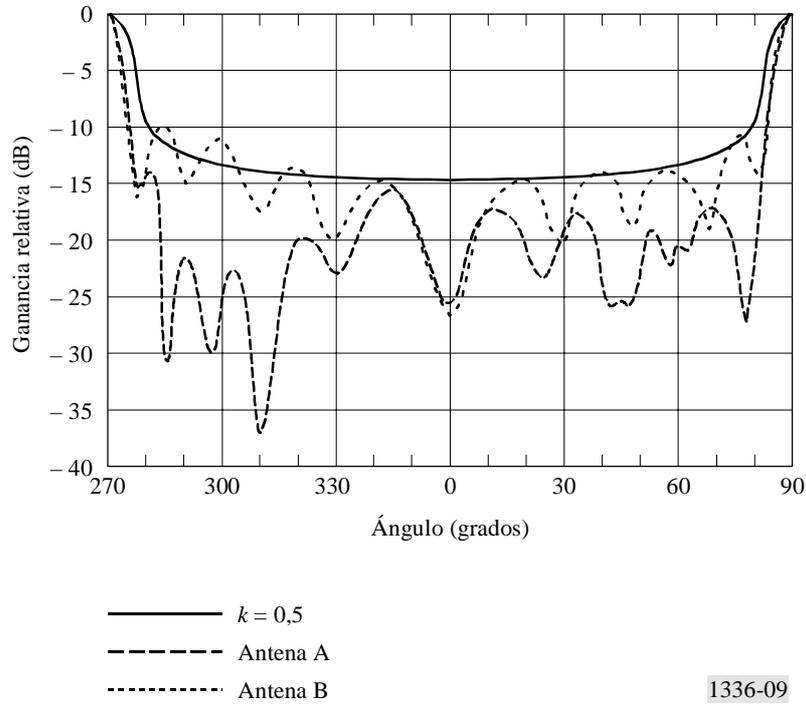


FIGURA 10

Comparación de la envolvente de los diagramas de radiación medido y de referencia con $k = 0,5$, para una antena omnidireccional con una ganancia de 13 dBi y que funciona en la banda 2,4 GHz

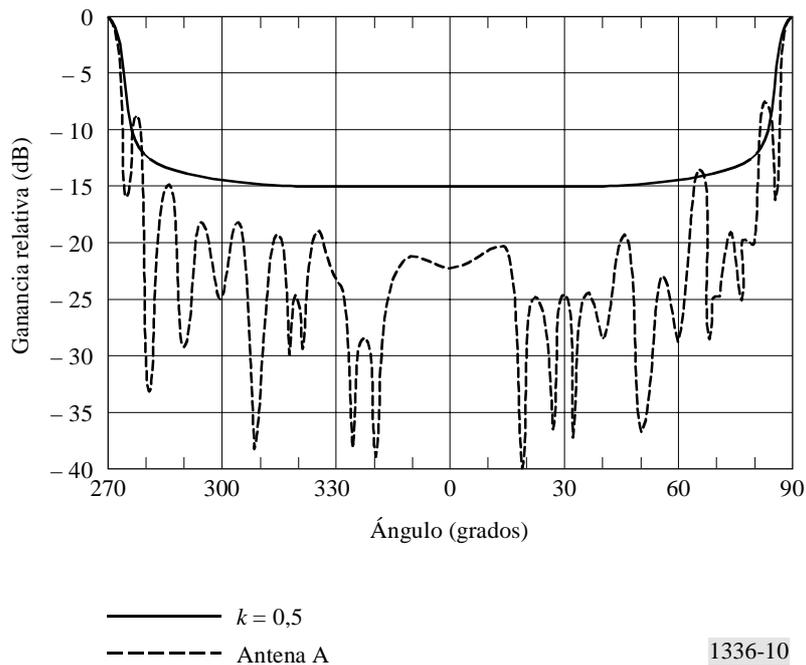
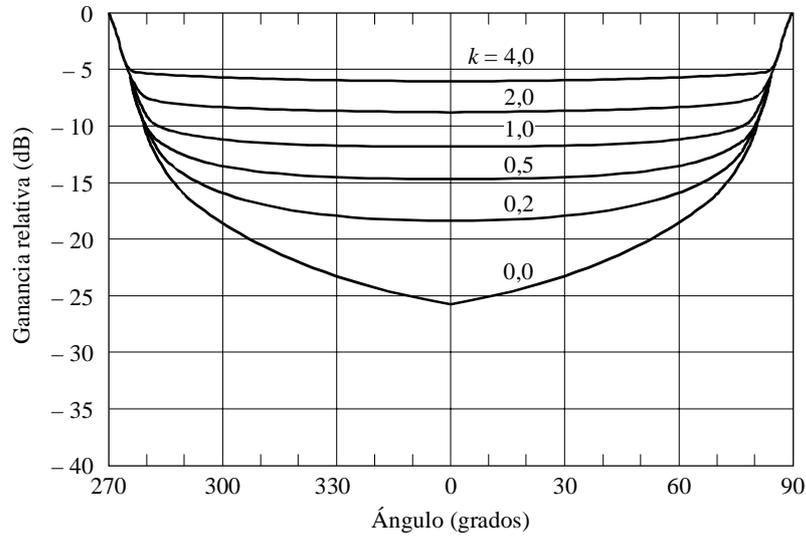


FIGURA 11

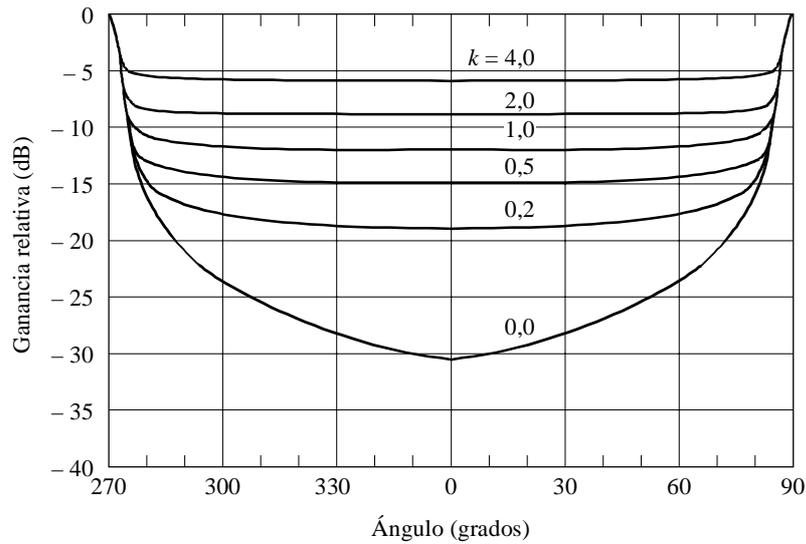
Envolturas de los diagramas de radiación de referencia para diversos valores de k para una antena omnidireccional con una ganancia de 10 dBi



1336-11

FIGURA 12

Envolturas de los diagramas de radiación de referencia para diversos valores de k para una antena omnidireccional con una ganancia de 13 dBi



1336-12

3 Resumen, conclusiones y nuevos análisis

Se ha presentado un diagrama de radiación de referencia para las antenas omnidireccionales que muestran una ganancia de entre 8 dBi y 13 dBi. El diagrama de radiación de referencia se ha extraído sobre la base de consideraciones teóricas del diagrama de radiación de un conjunto de antenas colineal de dipolos. Se ha mostrado que el diagrama propuesto representa adecuadamente los diagramas teóricos y los diagramas medidos sobre la gama de 8 dBi a 13 dBi. Se necesita seguir la labor para determinar la gama de ganancia para la cual el diagrama de radiación de referencia es adecuado, especialmente en lo que respecta a las antenas que funcionan en bandas de frecuencia superiores a 3 GHz.

ANEXO 2

Diagrama de radiación de referencia para las antenas de abonado con simétrica circular de baja ganancia que se utilizan en los sistemas de red de radioenlaces punto a multipunto

1 Introducción

Las antenas con una ganancia relativamente baja se utilizan con frecuencia para transmitir y recibir señales en las estaciones externas o en sectores de estaciones externas de sistemas de radioenlaces punto a multipunto. Estas antenas pueden mostrar una ganancia del orden de 20 dBi o menos. Se ha determinado que si se utiliza el diagrama de radiación de referencia que figura en la Recomendación UIT-R F.699 para estas antenas con una ganancia relativamente baja, se obtendrá una estimación excesiva de la ganancia para los ángulos fuera de eje relativamente grandes. Por consiguiente, es probable que si se utiliza el diagrama de dicha Recomendación, se sobrestime sustancialmente el volumen de interferencia causado a los demás sistemas y el volumen de interferencia recibido de otros sistemas en ángulos fuera de eje relativamente grandes.

2 Análisis

El diagrama de radiación de referencia para una antena de abonado se basa en las siguientes hipótesis:

- que la directividad de la antena es inferior a aproximadamente 20 dBi;
- que el diagrama de antena presenta una simetría circular alrededor del lóbulo principal;
- que la ganancia del lóbulo principal es igual a la directividad.

El diagrama de radiación de referencia propuesto está dado por:

$$G(\theta) = \begin{cases} G_0 - 12 (\theta / \varphi_3)^2 & \text{para } 0 \leq \theta < 1,078 \varphi_3 & (9) \\ G_0 - 14 & \text{para } 1,078 \varphi_3 \leq \theta < \varphi_1 & (10) \\ G_0 - 14 - 32 \log (\theta / \varphi_1) & \text{para } \varphi_1 \leq \theta < \varphi_2 & (11) \\ -8 & \text{para } \varphi_2 \leq \theta \leq 180^\circ & (12) \end{cases}$$

donde:

$G(\theta)$: ganancia relativa con respecto a una antena isotrópica (dBi)

G_0 : ganancia máxima fuera de eje (dBi)

G_1 : ganancia mínima fuera de eje (dBi)

θ : ángulo fuera de eje (grados)

φ_3 : anchura de haz de 3 dB (grados)

$$= \sqrt{27\,000 \times 10^{-0,1 G_0}}$$

$\varphi_1 = 1,9 \varphi_3$ (grados)

$\varphi_2 = \varphi_1 \times 10^{(G_0 - 6)/32}$ (grados).

3 Resumen y conclusiones

Se ha presentado un diagrama de radiación de referencia para las antenas de abonado de baja ganancia que muestran una ganancia inferior o igual a 20 dBi. El diagrama de radiación de referencia se ha extraído sobre la base de datos escasos acerca de los diagramas de radiación de las antenas de placas planas cuya utilización se estudia en los sistemas punto a multipunto de acceso local que funcionan en las bandas 2 GHz. Se ha demostrado que el diagrama propuesto representa con mayor precisión el diagrama real que el que figura en la Recomendación UIT-R F.699. Se necesita seguir la labor para determinar la gama de ganancia para la cual el diagrama de radiación de referencia es adecuado, y comparar el diagrama de radiación de referencia con los diagramas medidos.
