

RECOMENDACIÓN UIT-R F.699-5*

**DIAGRAMAS DE RADIACIÓN DE REFERENCIA DE ANTENAS DE SISTEMAS DE RADIOENLACES
CON VISIBILIDAD DIRECTA PARA UTILIZARLOS EN LOS ESTUDIOS DE COORDINACIÓN
Y EN LA EVALUACIÓN DE LA INTERFERENCIA EN LA GAMA DE FRECUENCIAS
DE 1 GHz A UNOS 70 GHz**

(Cuestión UIT-R 110/9)

(1990-1992-1994-1995-1997-2000)

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 con visibilidad directa y entre estaciones de tales sistemas y estaciones terrenas 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 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 diámetro 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 con visibilidad directa 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 con visibilidad directa;

1.2 realizar estudios de coordinación y evaluación de la interferencia entre estaciones de sistemas de radioenlaces 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 GHz a unos 70 GHz:

2.1 cuando la relación entre el diámetro de la antena y la longitud de onda sea superior a 100, se empleará la ecuación siguiente (véase la Nota 6):

$$G(\varphi) = G_{\max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{para } 0^\circ < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{para } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r$$

$$G(\varphi) = 32 - 25 \log \varphi \quad \text{para } \varphi_r \leq \varphi < 48^\circ$$

$$G(\varphi) = -10 \quad \text{para } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$$

siendo:

$G(\varphi)$: ganancia (dB) con respecto a una antena isotrópica

φ : ángulo con relación al eje (grados)

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 4, 6, 7 y 8 de Radiocomunicaciones.

D : diámetro de antena } expresados en las mismas unidades
 λ : longitud de onda }

G_1 : ganancia del primer lóbulo lateral = $2 + 15 \log \frac{D}{\lambda}$

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{m\acute{a}x} - G_1} \quad \text{grados}$$

$$\varphi_r = 15,85 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0,6} \quad \text{grados}$$

2.2 cuando la relación entre el diámetro de la antena y la longitud de onda sea inferior o equivalente a 100, se empleará la ecuación siguiente (véanse las Notas 6 y 7):

$$G(\varphi) = G_{m\acute{a}x} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{para } 0^\circ < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{para } \varphi_m \leq \varphi < 100 \frac{\lambda}{D}$$

$$G(\varphi) = 52 - 10 \log \frac{D}{\lambda} - 25 \log \varphi \quad \text{para } 100 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < 48^\circ$$

$$G(\varphi) = 10 - 10 \log \frac{D}{\lambda} \quad \text{para } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$$

3 que en los casos en que se conoce la ganancia máxima de la antena, la relación D/λ puede evaluarse a partir de la expresión siguiente:

$$20 \log \frac{D}{\lambda} \approx G_{m\acute{a}x} - 7,7$$

donde $G_{m\acute{a}x}$ es la ganancia de la antena en la dirección del lóbulo principal (dBi);

4 que en los casos en que sólo se conozcan las anchuras de haz a potencia mitad de la antena:

4.1 D/λ (expresado en la misma unidad) se estime a partir de la siguiente expresión:

$$D/\lambda \approx 69,3 / \theta$$

siendo θ la anchura de haz (-3 dB) (grados);

4.2 dado el valor θ , $G_{m\acute{a}x}$ puede estimarse aproximadamente mediante la expresión:

$$G_{m\acute{a}x} \text{ (dBi)} \approx 44,5 - 20 \log \theta$$

5 que las administraciones presenten diagramas de radiación medidos o especificaciones que permitan elaborar y proponer diagramas de radiación de referencia nuevos y mejorados que puedan utilizarse en estudios de coordinación y evaluación de interferencias (véase el Apéndice 1 al Anexo 1);

6 que se haga referencia al Anexo 1 para la información adicional sobre los diagramas de radiación de referencia de las antenas de los sistemas de relevadores radioeléctricos;

7 que las siguientes Notas se consideren parte de la presente Recomendación:

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

NOTA 2 – Hay que señalar que el diagrama de radiación de una antena real puede ser peor que el diagrama de radiación de referencia para cierta gama de ángulos (véase la Nota 3). Por consiguiente, no debe interpretarse que el diagrama de radiación de referencia de esta Recomendación establece el límite máximo para los diagramas de radiación de las antenas de sistemas de relevadores radioeléctricos existentes o planificados.

NOTA 3 – Debe utilizarse con prudencia el diagrama de radiación de referencia en cierta gama de ángulos para los que un sistema de alimentación de que se trate puede provocar niveles relativamente elevados de desbordamiento.

NOTA 4 – Los diagramas de referencia del § 2 sólo son aplicables a una sola polarización (horizontal o vertical). Se están estudiando diagramas de referencia para dos polarizaciones (horizontal y vertical).

NOTA 5 – El diagrama de radiación de referencia de esta Recomendación sólo es válido para antenas rotacionalmente simétricas. El diagrama de radiación de referencia de antenas con aperturas asimétricas requiere nuevo estudio. Para estas antenas los anteriores diagramas de referencia deben considerarse válidos provisionalmente.

NOTA 6 – En la Recomendación UIT-R F.1245 figura un modelo matemático de diagramas de radiación media para su utilización en ciertos estudios de coordinación y para el cálculo de la interferencia.

NOTA 7 – Se necesitan estudios ulteriores para asegurar que se siguen desarrollando los diagramas de radiación de referencia, a efectos de tener en cuenta los progresos logrados en el diseño de antenas.

NOTA 8 – Aunque en general es aplicable, el diagrama de referencia del *recomienda 2* no modela adecuadamente algunas antenas prácticas del servicio fijo, y debe tratarse con cuidado en una gama de ángulos de 5° a 70° (véanse también las Notas 2 y 3).

ANEXO 1

Diagramas de radiación de referencia para antenas de sistemas de radioenlaces

1 Introducción

Para estudiar las posibilidades de compartición de frecuencias entre sistemas de radioenlaces y del SFS, o la posibilidad de reutilizar frecuencias en un sistema de radioenlaces, es a menudo necesario utilizar un diagrama de referencia, porque el diagrama de radiación real no siempre se conoce con exactitud, o da demasiados detalles. El diagrama de referencia debe, pues, representar la envolvente de los lóbulos laterales de un modo simplificado.

Sin embargo, el diagrama de radiación de referencia elegido puede variar según la finalidad a que se destine.

En general se utilizarán los diagramas de radiación de referencia contenidos en el texto principal de esta Recomendación.

2 Utilización de los diagramas de radiación de referencia

Las dos principales utilizaciones de los diagramas de referencia son las siguientes:

2.1 Estudios preliminares de eliminación dentro de la zona de coordinación

Al determinar la zona de coordinación en torno a una estación terrena, se supone que las antenas de los sistemas de radioenlaces están directamente orientadas hacia la antena de la estación terrena. Sin embargo, suele haber cierta discriminación angular. El empleo de un diagrama de radiación de referencia simple ofrece la posibilidad de excluir de toda consideración ulterior las estaciones de sistemas de radioenlaces, situadas en la zona de coordinación, pero que no son susceptibles de producir interferencia.

El diagrama de referencia debe necesariamente ofrecer un margen de seguridad suficiente para evitar la posible omisión de fuentes de interferencia importantes. Evidentemente, para calcular con precisión el nivel de interferencia, es necesario conocer con más precisión el diagrama de las antenas.

2.2 Reutilización de las frecuencias en una red de radioenlaces

En un sistema de radioenlaces hay que utilizar muchas veces la misma frecuencia, sea en tramos suficientemente alejados entre sí, sea en tramos que parten de la misma estación en direcciones distintas, sea en el mismo tramo mediante la utilización de polarización cruzada.

En los dos últimos casos, las características de funcionamiento de la antena son de gran importancia, y para proyectar el sistema debe emplearse un diagrama de radiación de referencia bastante preciso, que puede ser menos sencillo que el considerado en el § 2.1.

3 Resultados de mediciones efectuadas en las antenas de radioenlaces

Las mediciones efectuadas en numerosas antenas confirman satisfactoriamente los diagramas de radiación de referencia indicados en el texto principal de esta Recomendación, por lo menos hasta un valor de D/λ de 130 aproximadamente. Sin embargo, hay que tener en cuenta los siguientes puntos:

3.1 Algunas antenas, de construcción relativamente antigua, tienen características de funcionamiento inferiores a las de las antenas más recientes. Para la compartición de frecuencias, debe tomarse en consideración la existencia de estas antenas de rendimiento medio.

3.2 En el cálculo que precede se ha supuesto que las antenas funcionan en las condiciones del espacio libre. Ahora bien, las características de las antenas ya instaladas pueden ser algo inferiores, como consecuencia de reflexiones en obstáculos próximos o en otras antenas instaladas en la misma torre.

4 Diagramas de radiación de antenas de alto rendimiento

Las antenas de alto rendimiento contribuyen sobremanera al aumento de la capacidad nodal en los sistemas de relevadores radioeléctricos. En el caso de las antenas de reflector-bocina, ideadas para satisfacer las necesidades de los sistemas terrenales de radioenlaces en redes densas, el anterior diagrama de referencia sólo puede considerarse válido en el plano horizontal. En planos alejados del horizontal, aparecen importantes variaciones de la sensibilidad.

En la Fig. 1 se muestra un ejemplo del diagrama de radiación de una antena de reflector-bocina piramidal, específica, pero de uso generalizado. Los contornos de la envolvente de radiación se indican con una línea de trazos discontinuos (en dB por debajo del haz principal), en un sistema de coordenadas que utiliza los ángulos φ y θ (el centro del sistema de coordenadas esféricas es el centro de la apertura de la antena). La gran desviación con respecto a la simetría rotacional supuesta en los diagramas de radiación de referencia del *recomienda 2* de la presente Recomendación se debe:

- al lóbulo de desbordamiento en torno a $\varphi = +90^\circ$ y $60^\circ < \theta < 80^\circ$,
- al lóbulo de protección contra las precipitaciones atmosféricas en torno a $\varphi = -90^\circ$ y $50^\circ < \theta < 90^\circ$.

El lóbulo de desbordamiento es consecuencia de la difracción de la onda en el borde superior de la apertura causado por los rayos directos procedentes de la sección de la bocina piramidal. Este efecto se produce únicamente con polarización vertical. El lóbulo de protección contra las precipitaciones atmosféricas se debe a la reflexión de la energía, en la cubierta de plástico inclinada que protege contra los factores climáticos, ocasionando un retorno a la superficie parabólica que seguidamente vuelve a dirigir la mayor parte de la energía hacia abajo sobre el borde inferior de la apertura. Este fenómeno es insensible a la polarización y a la frecuencia.

Una antena con reflector descentrado tiene gran directividad, especialmente en el plano horizontal. En la Fig. 2 se dan ejemplos de los diagramas de radiación de una antena con reflector descentrado, además de un ejemplo de la antena de reflector-bocina piramidal que se muestra en la Fig. 1.

En el caso de antenas de reflector-bocina y antenas con alimentador descentrado con muy baja iluminación en el borde del reflector, se puede utilizar provisionalmente la siguiente fórmula como diagrama de radiación de referencia en el plano horizontal:

$$G = 88 - 30 \log \frac{D}{\lambda} - 40 \log \varphi \quad (1)$$

Esta fórmula es válida fuera del lóbulo principal para φ hasta 90° aproximadamente. Sin embargo, cuando la iluminación en el borde del reflector no sea muy baja, el nivel de lóbulos laterales en ciertas direcciones puede ser superior al dado por la ecuación (1).

FIGURA 1
**Diagrama de radiación tridimensional de una antena reflector-bocina
 piramidal a 3,9 GHz y polarización vertical**
 (Cambio de escala en $\theta = 10^\circ$)

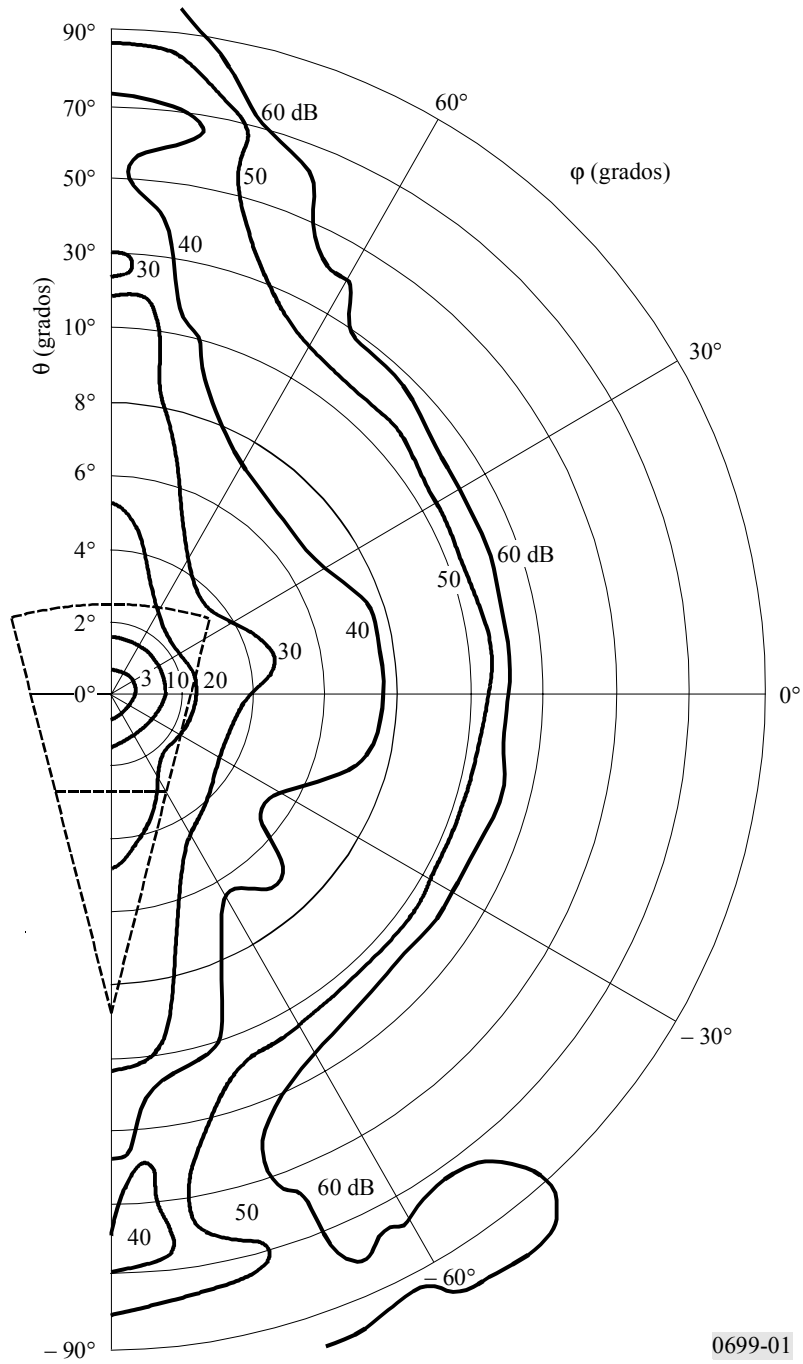
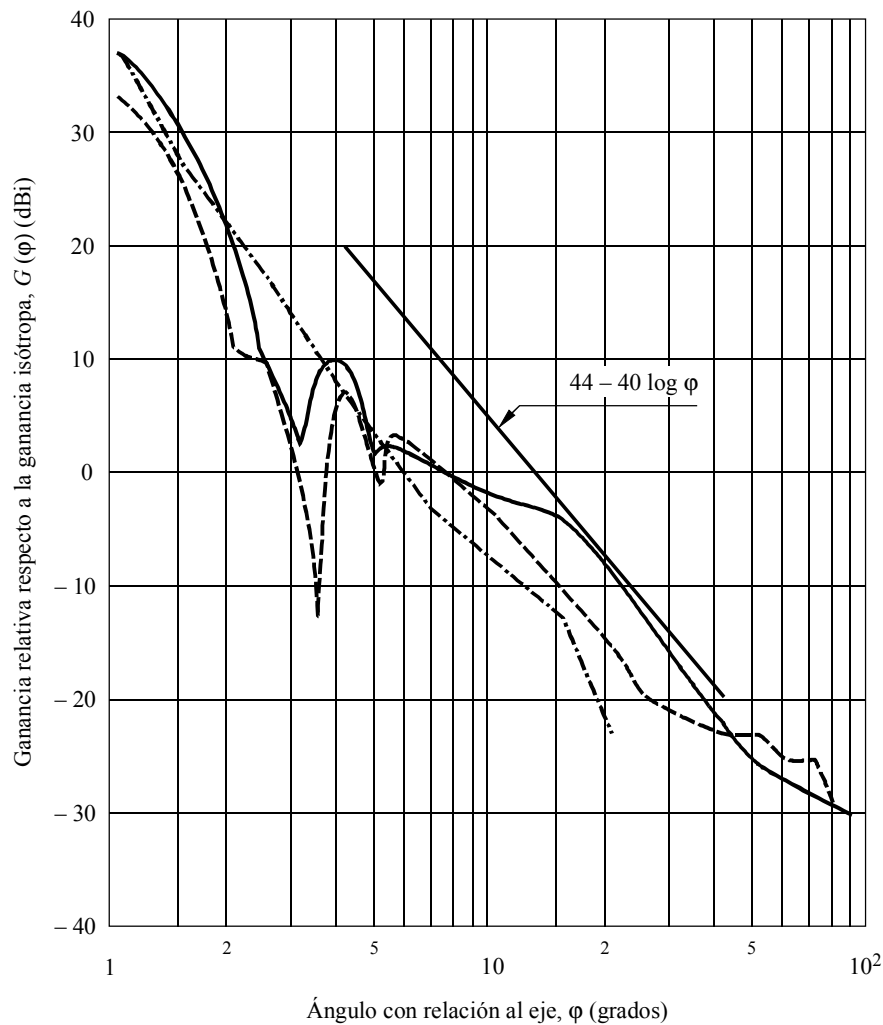


FIGURA 2

Diagramas de radiación de antenas de elevada calidad de funcionamiento



- Antena de reflector descentrado de 3,6 m de diámetro, $\frac{D}{\lambda} = 46,8$ (3,9 GHz)
- - - Antena de reflector descentrado de 3,6 m de diámetro, $\frac{D}{\lambda} = 74,1$ (6,175 GHz)
- · - · Antena de reflector-bocina piramidal (3,9 GHz)

0699-02

APÉNDICE 1

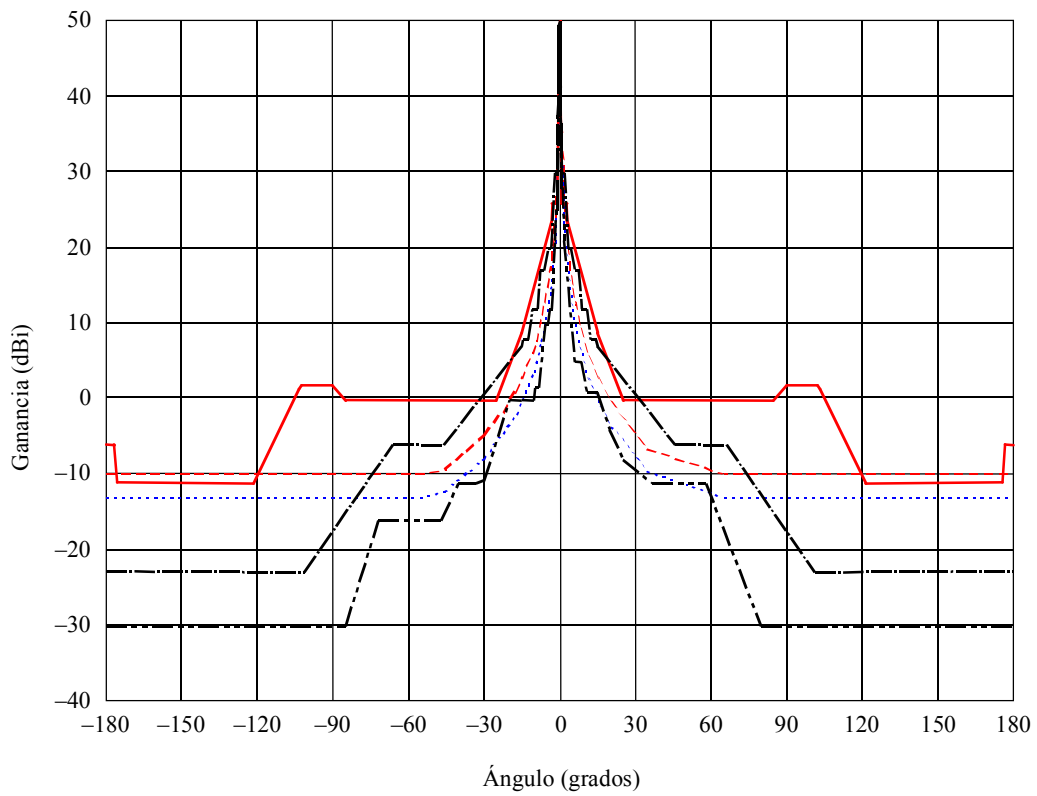
AL ANEXO 1

Diagramas medidos para una futura evolución de la presente Recomendación

1 Introducción

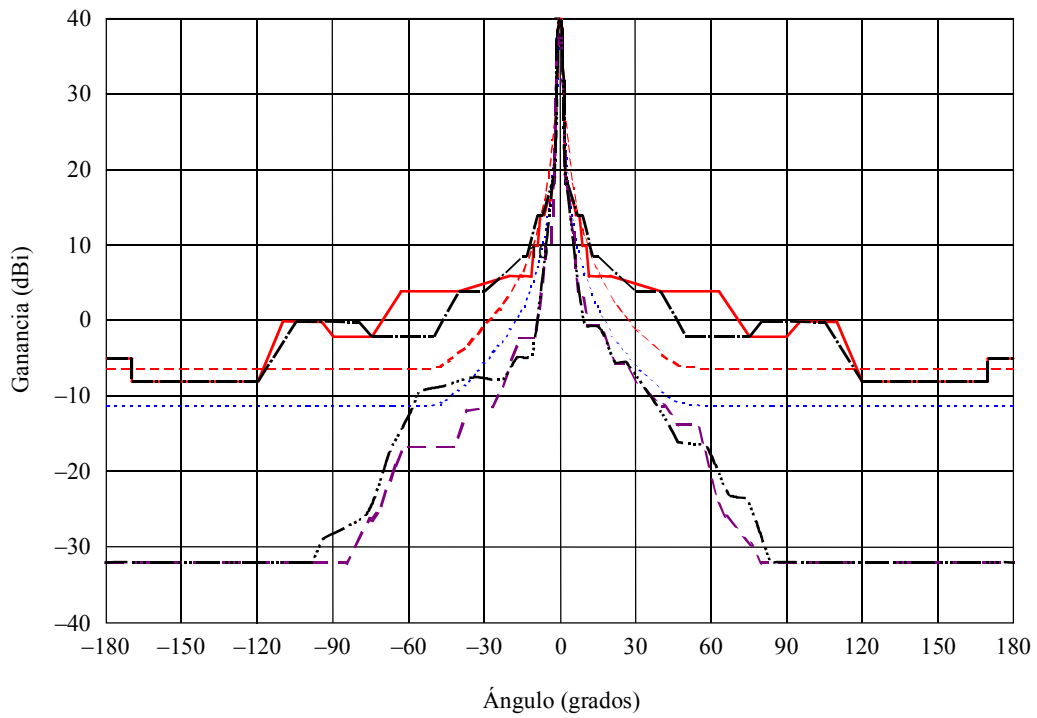
Es necesario revisar y actualizar constantemente los diagramas de radiación de referencia que se exponen en la presente Recomendación. Dado que las bandas de frecuencias que están utilizando los sistemas del servicio fijo se extienden más allá de los 40 GHz, es necesario ampliar el alcance de estos diagramas de radiación de referencia más allá de los 40 GHz. Para ello, se presentan en este Apéndice comparaciones de algunas envolventes prácticas de diagramas de antena y de diagramas de radiación con los correspondientes diagramas de referencia derivados de la presente Recomendación y de la Recomendación UIT-R F.1245.

FIGURA 3
 Antena punto a punto de 3 m de diámetro en 10,7 GHz ($D/\lambda = 114$, ganancia = 49,8 dBi)
 (H: polarización horizontal, V: polarización vertical)



- Recomendación UIT-R F.699
- ... Recomendación UIT-R F.1245
- Perfil bajo V
- · - Perfil medio V
- - - Perfil elevado V

FIGURA 4
 Antena punto a punto de 1,2 m de diámetro en 10,5 GHz ($D/\lambda = 43$, ganancia = 39,9 dBi)
 (H: polarización horizontal, V: polarización vertical)



- Recomendación UIT-R F.699
- ... Recomendación UIT-R F.1245
- Perfil bajo H
- - - Perfil bajo V
- · - · - Perfil elevado H
- · - · - Perfil elevado V

FIGURA 5
 Antena de lente y bocina punto a punto de 50 cm de diámetro en 21 GHz
 ($D/\lambda = 37$, ganancia = 40 dBi)

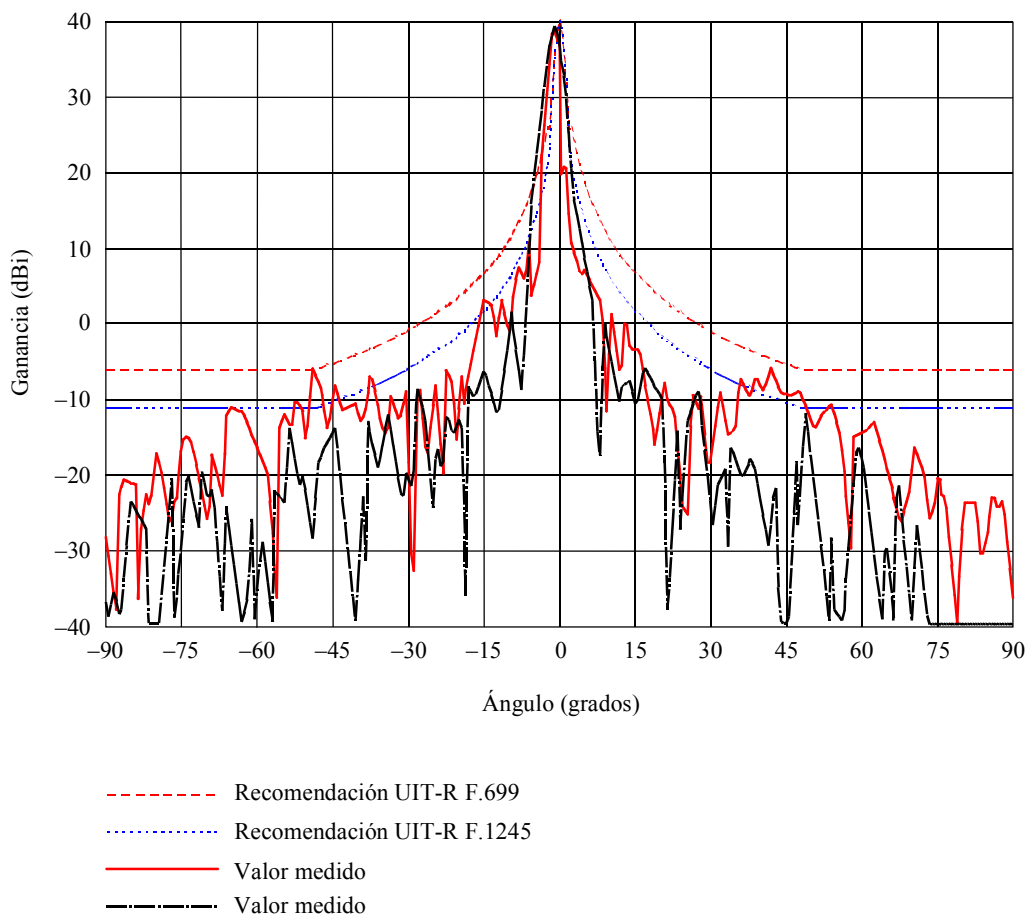
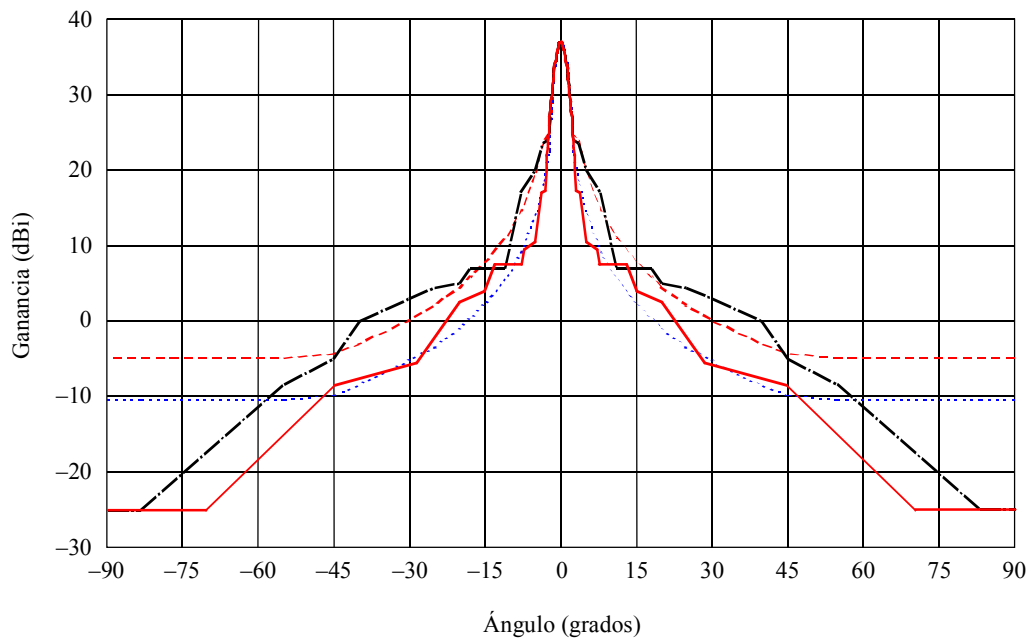
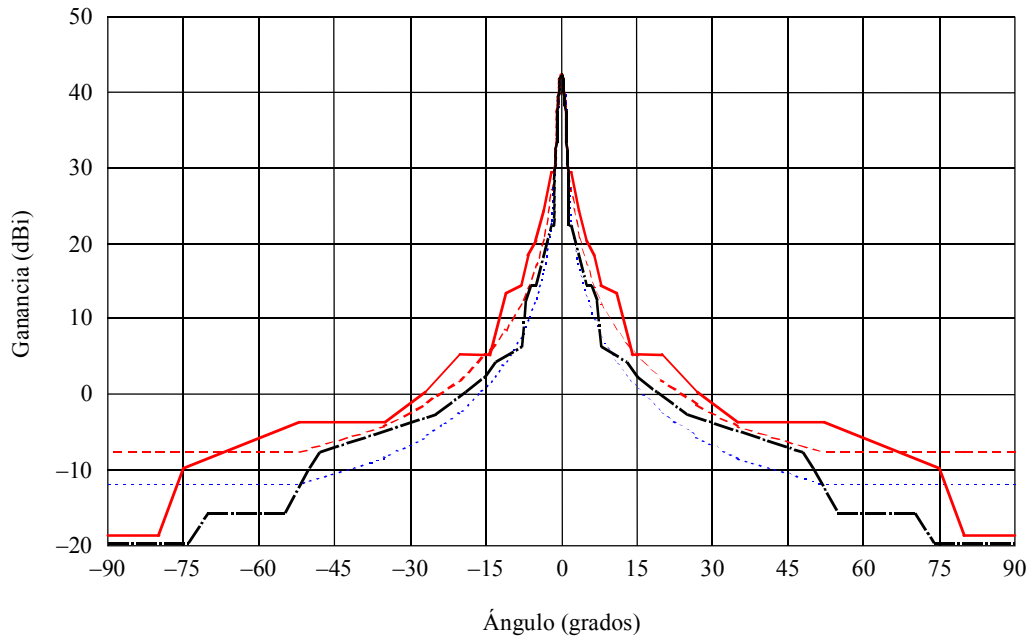


FIGURA 6
Antena punto a punto de 0,3 m de diámetro en 31 GHz ($D/\lambda = 32$, ganancia = 36,9 dBi)
(H: polarización horizontal, V: polarización vertical)



- Recomendación UIT-R F.699
- Recomendación UIT-R F.1245
- .-.-.- H
- V

FIGURA 7
 Antena punto a punto de 0,3 m de diámetro en 55 GHz ($D/\lambda = 57$, ganancia = 42,4 dBi)
 (H: polarización horizontal, V: polarización vertical)



- Recomendación UIT-R F.699
- Recomendación UIT-R F.1245
- H
- · - · - · V

0699-07