

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R M.1851**  
(06/2009)

**Modelos matemáticos de diagramas de  
antena de sistemas de radar del  
servicio de radiodeterminación para  
uso en los análisis de interferencia**

**Serie M**

**Servicios móviles, de radiodeterminación,  
de aficionados y otros servicios  
por satélite conexos**



## Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

## Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

### Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión sonora
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	Servicio fijo
<b>M</b>	<b>Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos</b>
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radio astronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	Vocabulario y cuestiones afines

*Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.*

Publicación electrónica  
Ginebra, 2009

© UIT 2009

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## RECOMENDACIÓN UIT-R M.1851

**Modelos matemáticos de diagramas de antena de sistemas de radar del servicio de radiodeterminación para uso en los análisis de interferencia**

(2009)

**Cometido**

Esta Recomendación describe los diagramas de antena de los sistemas de radar de radiodeterminación que deben utilizarse para los análisis de interferencia procedente de una sola fuente y de interferencia combinada. Conociendo la anchura de haz a 3 dB de la antena y el nivel de cresta del primer lóbulo lateral puede seleccionarse el conjunto adecuado de ecuaciones para los diagramas de acimut y elevación. Se definen los diagramas de cresta, para una sola fuente de interferencia, y los diagramas medios, para múltiples fuentes de interferencia.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que en las Recomendaciones del UIT-R no se han definido ecuaciones de diagrama de antena para los sistemas de radar del servicio de radiodeterminación con objeto de utilizarlas en la evaluación de la interferencia;
- b) que es preciso establecer un modelo matemático para diagramas de antena generalizados a fin de realizar análisis de interferencia cuando no se dispone de ningún diagrama específico para los sistemas de radar del servicio de radiodeterminación,

*recomienda*

- 1 que, si en otras Recomendaciones UIT-R relativas a las características de los sistemas de radar del servicio de radiodeterminación figuran diagramas de antena y/o ecuaciones de diagramas de antena aplicables a los radares sometidos a estudio, deben utilizarse dichas Recomendaciones;
- 2 que, en ausencia de información concreta sobre los diagramas de antena del sistema de radar del servicio de radiodeterminación correspondiente, puede utilizarse para los análisis de interferencia uno de los modelos matemáticos de antena de referencia descritos en el Anexo 1.

## Anexo 1

**Modelos matemáticos de diagramas de antena de sistemas  
de radar del servicio de radiodeterminación para  
uso en los análisis de interferencia**

(2009)

**1 Introducción**

Es necesario elaborar un modelo matemático generalizado para los diagramas de antena de los sistemas de radar de radiodeterminación cuando estos diagramas no aparecen definidos en las Recomendaciones UIT-R aplicables al sistema de radar del servicio de radiodeterminación sometido a análisis. Podrían utilizarse modelos de diagrama de antena generalizados en análisis relativos a la interferencia procedente de una sola fuente y de múltiples fuentes, tales como otros radares y sistemas de comunicación.

Este texto describe los diagramas de antena propuestos que deben utilizarse. Conociendo la anchura de haz y el nivel de cresta del primer lóbulo lateral, puede seleccionarse el conjunto adecuado de ecuaciones para los diagramas de acimut y elevación.

En el Cuadro 1 figura el resultado de las gamas de parámetros de antena estudiados, obtenido de las Recomendaciones del UIT-R.

CUADRO 1

**Límites de los parámetros de antena estudiados**

<b>Parámetro de antena</b>	<b>Descripción</b>	<b>Mínimo valor</b>	<b>Máximo valor</b>
Frecuencias de transmisión y recepción (MHz)		420	33 400
Tipo de polarización de antena	Horizontal, vertical, circular		
Tipo de antena	Omnidireccional, sistema de elementos yagi, reflector parabólico, sistema controlado por fase		
Tipo de haz, el más común	Abanico, estrecho, cosecante cuadrado		
Ganancia de transmisión y recepción (dBi)		25,6	54
Anchura de haz en elevación (grados)	Haz estrecho	0,25	5,75
	Cosecante cuadrado ( $CSC^2$ )	3,6 $CSC^2$ a 20	3,6 $CSC^2$ a 44
Anchura de haz en acimut (grados)	Haz estrecho	0,4	5,75
Límite del ángulo de exploración en elevación (grados)		-60	+90
Límite del ángulo de exploración en acimut (grados)		30 sector	360
Nivel del primer lóbulo lateral por debajo del nivel de cresta del lóbulo principal (dB)		-35	-15,6

El Cuadro 1 se utilizó como orientación para desarrollar los tipos y diagramas de antena propuestos.

## 2 Fórmulas propuestas

Para simplificar el análisis, la distribución de la corriente de antena se considera una función de las coordenadas de elevación o acimut. El diagrama de directividad,  $F(\mu)$ , de una distribución concreta se determina a partir de la transformada finita de Fourier como sigue:

$$F(\mu) = \frac{1}{2} \int_{-1}^{+1} f(x) \cdot e^{j\mu x} dx$$

siendo:

$f(x)$ : forma relativa de la distribución de campo, véase el Cuadro 2 y la Fig. 1

$\mu$ : valor indicado en el siguiente Cuadro =  $\pi \left( \frac{l}{\lambda} \right) \sin(\alpha)$

$l$ : longitud total de la apertura

$\lambda$ : longitud de onda

$\omega$ : ángulo (exploración) de puntería en elevación o acimut del haz

$\alpha$ : ángulo con respecto a la apertura normal

$\theta$ : ángulo ( $\alpha - \omega$ ) con respecto a la apertura normal y ángulo de puntería

$x$ : distancia normalizada a lo largo de la apertura  $-1 \leq x \leq 1$

$j$ : notación de número complejo.

Los diagramas de antena teóricos propuestos figuran en el Cuadro 2. Estos diagramas son válidos en la gama  $\pm 90^\circ$  con respecto al ángulo de exploración del haz relativo al eje de puntería de la antena. Los valores que caen fuera de la gama  $\pm 90^\circ$  a partir de este ángulo se supone que pertenecen al lóbulo posterior donde se aplica el mínimo de la máscara de antena. Los parámetros y fórmulas para determinar los diagramas de directividad de antena (DDA) indicados en el Cuadro 2 (y posteriormente en el Cuadro 3 y las Figuras) sólo son correctos si la amplitud de campo en el borde de la apertura de la antena es igual a cero y se encuentra dentro de los límites del lóbulo principal y del primero de los dos lóbulos laterales del diagrama de directividad de antena. Con otros valores de amplitud de campo en el borde de la apertura de la antena, la forma del diagrama de directividad y sus parámetros puede diferir significativamente de los valores teóricos presentados en esta Recomendación. Si se dispone de diagramas de antena de radar reales, deben digitalizarse y utilizarse.

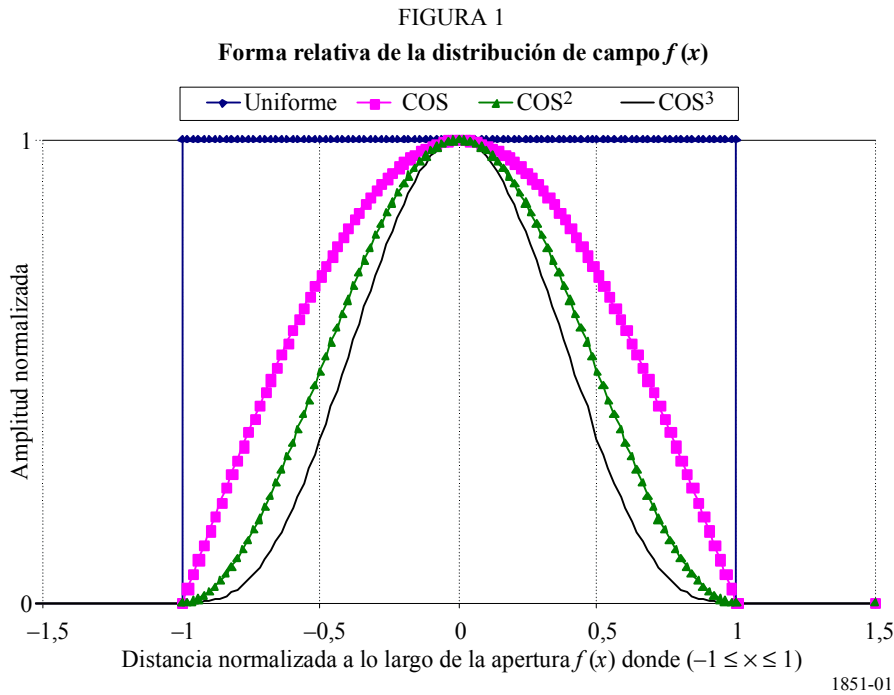
CUADRO 2

## Parámetros de directividad de antena

Forma relativa de la distribución de campo $f(x)$ donde $-1 \leq x \leq 1$	Diagrama de directividad $F(\mu)$	Anchura de haz a potencia mitad $\theta^3$ (grados)	$\mu$ en función de $\theta^3$	Nivel del primer lóbulo lateral por debajo del valor de cresta del lóbulo principal (dB)	Nivel mínimo de máscara propuesto (dB)	Ecuación N.º
Valor uniforme de 1	$\frac{\text{sen}(\mu)}{\mu}$	$50,8 \left( \frac{\lambda}{l} \right)$	$\frac{\pi \cdot 50,8 \cdot \text{sen}(\theta)}{\theta_3}$	-13,2	-30	(1)
$\text{COS}(\pi \cdot x/2)$	$\frac{\pi}{2} \left[ \frac{\cos(\mu)}{\left( \frac{\pi}{2} \right)^2 - \mu^2} \right]$	$68,8 \left( \frac{\lambda}{l} \right)$	$\frac{\pi \cdot 68,8 \cdot \text{sen}(\theta)}{\theta_3}$	-23	-50	(2)
$\text{COS}(\pi \cdot x/2)^2$	$\frac{\pi^2}{2 \cdot \mu} \left[ \frac{\text{sen}(\mu)}{\left( \pi^2 - \mu^2 \right)} \right]$	$83,2 \left( \frac{\lambda}{l} \right)$	$\frac{\pi \cdot 83,2 \cdot \text{sen}(\theta)}{\theta_3}$	-32	-60	(3)
$\text{COS}(\pi \cdot x/2)^3$	$\frac{3 \cdot \pi \cdot \cos(\mu)}{8} \left[ \frac{1}{\left( \frac{\pi}{2} \right)^2 - \mu^2} - \frac{1}{\left( \frac{3 \cdot \pi}{2} \right)^2 - \mu^2} \right]$	$95 \left( \frac{\lambda}{l} \right)$	$\frac{\pi \cdot 95 \cdot \text{sen}(\theta)}{\theta_3}$	-40	-70	(4)

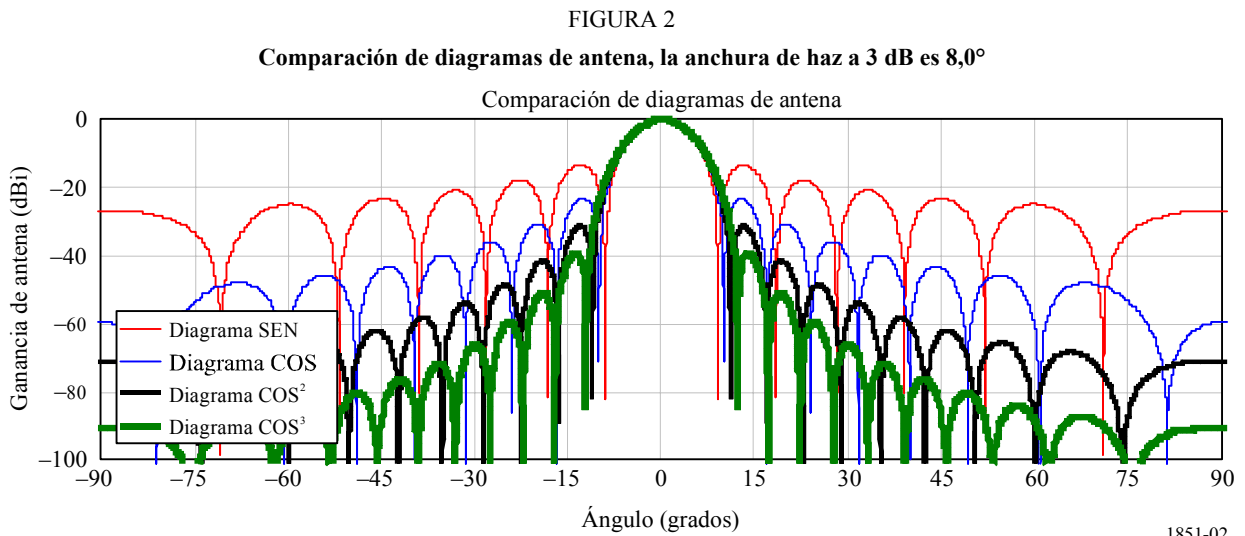


siendo  $\theta_3$  la anchura de haz (grados) a potencia mitad de la antena a 3 dB. Las formas relativas de las funciones de distribución de campo  $f(x)$ , definidas en el Cuadro 2, se representan en la Fig. 1.



Conociendo la anchura de haz a potencia mitad,  $\theta_3$ , puede redefinirse el valor de  $\mu$  en función de la anchura de haz de la antena a potencia mitad, sustituyendo la cantidad  $\left(\frac{l}{\lambda}\right)$  en  $\mu = \pi \left(\frac{l}{\lambda}\right) \text{sen}(\alpha)$  por una constante que depende de la forma relativa de la distribución de campo, dividida por la anchura de haz a potencia mitad,  $\theta_3$ , como indica el Cuadro 2. Estos valores constantes de 50,8; 68,8; 83,2 y 95, mostrados en el Cuadro 2, pueden obtenerse fijando la ecuación para  $F(\mu)$  igual a  $-3$  dB, y resolviéndola para el ángulo  $\theta$ .

La Fig. 2 representa los diagramas de antena para las funciones de distribución en coseno (COS), coseno cuadrado ( $\text{COS}^2$ ) y coseno cubo ( $\text{COS}^3$ ).



Utilizando la Fig. 2 se obtienen las ecuaciones de la máscara mediante una curva que se ajuste a los niveles de cresta del lóbulo lateral de la antena. Se ha observado que, comparando la integral de los diagramas de máscara teórico y propuesto, la diferencia entre la potencia de cresta y media en un corte de plano principal es aproximadamente 4 dB. Se aplican las siguientes definiciones:

- se convierten las ecuaciones (1) a (4) en dB utilizando  $20 \cdot \log$  (valor absoluto (diagrama de directividad));
- se normalizan las ganancias de los diagramas de antena. Los diagramas uniformes no exigen normalización, para el diagrama de coseno se resta  $-3,92$  dB, para el diagrama de coseno cuadrado se resta  $-6,02$  dB y para el diagrama de coseno cubo se resta  $-7,44$  dB;
- para dibujar la máscara, se utiliza el diagrama de directividad teórica del Cuadro 2, como se indica en los dos pasos anteriores, hasta el punto crítico para el diagrama de antena de cresta o medio, según el caso. Pasado el punto crítico, se aplica el diagrama de máscara indicado en el Cuadro 3;
- la máscara del diagrama de cresta es el diagrama de antena que se encuentra por encima de las crestas de los lóbulos laterales. Se utiliza para el caso de una sola fuente de interferencia;
- la máscara del diagrama medio es el diagrama de antena que aproxima el valor integral del diagrama teórico. Se utiliza para múltiples fuentes de interferencia combinada;
- el punto crítico de la máscara del diagrama de cresta es el punto en magnitud del diagrama (dB) por debajo de la máxima ganancia donde la forma del diagrama se separa del diagrama teórico ajustándose al diagrama de máscara de cresta, como indica el Cuadro 3;
- el punto crítico de la máscara del diagrama medio es el punto en magnitud del diagrama (dB) por debajo de la máxima ganancia donde la forma del diagrama se separa del diagrama teórico ajustándose al diagrama de máscara medio, como indica el Cuadro 3;
- $\theta_3$  es la anchura de haz de la antena a 3 dB (grados);
- $\theta$  es el ángulo en los cortes de plano principal en elevación (vertical) o acimut (horizontal) (grados);
- la máscara media es la máscara de cresta menos unos 4 dB. Obsérvese que los puntos críticos del diagrama de cresta son distintos que los puntos críticos de los diagramas medios.

El Cuadro 3 indica las ecuaciones utilizadas en los cálculos.



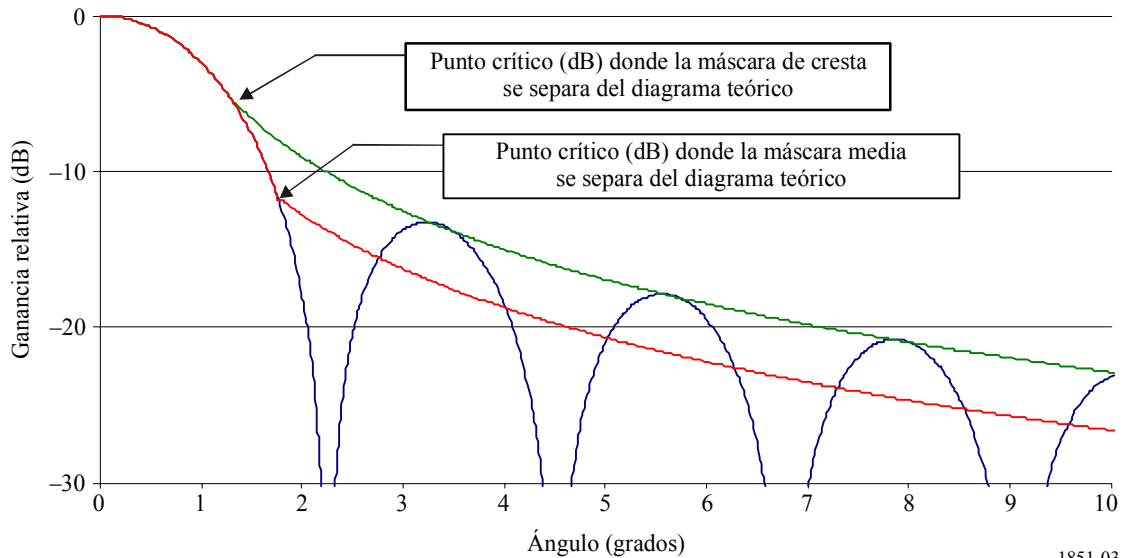
CUADRO 3

Ecuaciones de diagramas de máscara de cresta y medio

Tipo de diagrama	Ecuación de la máscara más allá del punto crítico del diagrama donde la máscara se separa del diagrama teórico (dB)	Punto crítico del diagrama de cresta donde la máscara se separa del diagrama teórico (dB)	Punto crítico del diagrama medio donde la máscara se separa del diagrama teórico (dB)	Constante añadida al diagrama de cresta para convertirlo en máscara media (dB)	Ecuación N.º
SEN	$-8,584 \cdot \ln\left(2,876 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3}\right)$	-5,75	-12,16	-3,72	(5)
COS	$-17,51 \cdot \ln\left(2,33 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3}\right)$	-14,4	-20,6	-4,32	(6)
COS <sup>2</sup>	$-26,882 \cdot \ln\left(1,962 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3}\right)$	-22,3	-29,0	-4,6	(7)
COS <sup>3</sup>	$-35,84 \cdot \ln\left(1,756 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3}\right)$	-31,5	-37,6	-4,2	(8)

La función ln() es la función logarítmica natural. En la Fig. 3 se representa un ejemplo de punto crítico.

FIGURA 3  
Ejemplo de punto crítico



1851-03

El diagrama de cosecante cuadrado es un caso especial. Viene dado por:

$$G(\theta) = G(\theta_1) \cdot \left(\frac{\text{CSC}(\theta)}{\text{CSC}(\theta_1)}\right)^2 \tag{9}$$

donde:

$G(\theta)$ : diagrama de cosecante cuadrado entre los ángulos  $\theta_1$  y  $\theta_{m\acute{a}x}$

$G(\theta_1)$ : ganancia del diagrama en  $\theta_1$

$\theta_1$ : anchura de haz de la antena a potencia mitad donde arranca el diagrama de cosecante cuadrado =  $\theta_3$

$\theta_{m\acute{a}x}$ : máximo ángulo donde se detiene el diagrama de cosecante cuadrado

$\theta$ : ángulo de elevación

$\theta_3$ : anchura de haz de la antena a potencia mitad.

La ganancia del diagrama de antena medio no se considera en el diagrama de cosecante cuadrado. Debe utilizarse para fuentes de interferencia única y múltiples. El diagrama de cosecante se aplica como sigue:

CUADRO 4

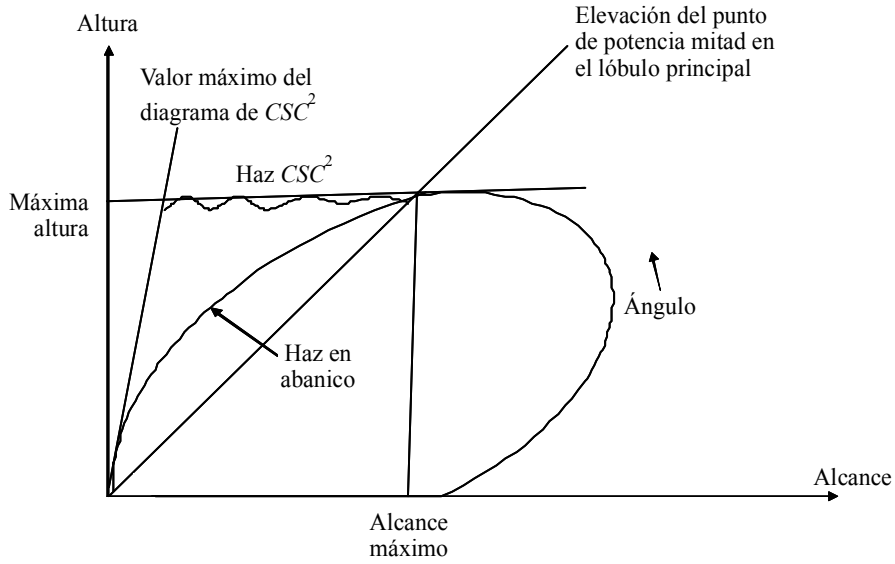
**Ecuaciones del diagrama de antena de cosecante cuadrado**

Ecuación de cosecante cuadrado	Condición	Ecuación N.º
$\frac{\text{sen}(\mu)}{\mu}$ ; $\mu = (\pi \cdot 50,8 \cdot \text{sen}(\theta))/\theta_3$	$\frac{-\theta_3}{0,88} \leq \theta \leq +\theta_3$	(10)
$G(\theta_1) \cdot \left( \frac{\text{CSC}(\theta)}{\text{CSC}(\theta_1)} \right)^2$	$+\theta_3 \leq \theta \leq \theta_{m\acute{a}x}$	(11)
Nivel mínimo de cosecante (ejemplo = -55 dB)	$\theta_{m\acute{a}x} \leq \theta \leq \theta_{90}$	(12)
$G(\theta_1) = \frac{\text{sen}\left(\frac{\pi \cdot 50,8 \cdot \text{sen}(\theta_1)}{\theta_3}\right)}{\frac{\pi \cdot 50,8 \cdot \text{sen}(\theta_1)}{\theta_3}}$	$\theta_1 = \theta_3$	(12a)

Las Figuras que aparecen a continuación representan gráficamente los diagramas.

FIGURA 4

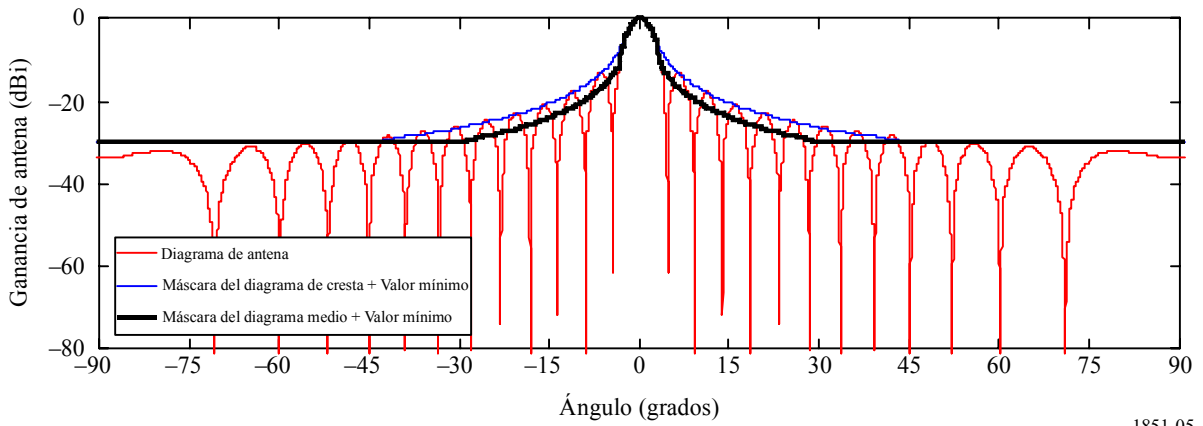
Cobertura del haz en cosecante cuadrado para radar de búsqueda



1851-04

FIGURA 5

Diagrama de antena en SEN, envolvente de cresta y media



1851-05

FIGURA 6  
 Diagrama de antena polar en SEN, envoltorio de cresta y media

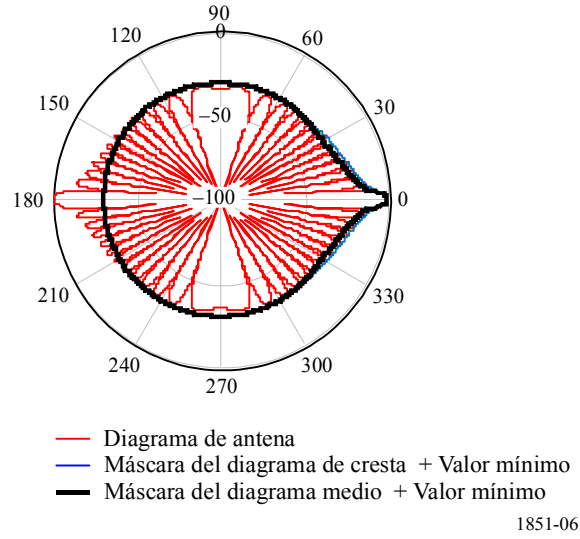


FIGURA 7  
 Diagrama de antena en COS, envoltorio de cresta y media

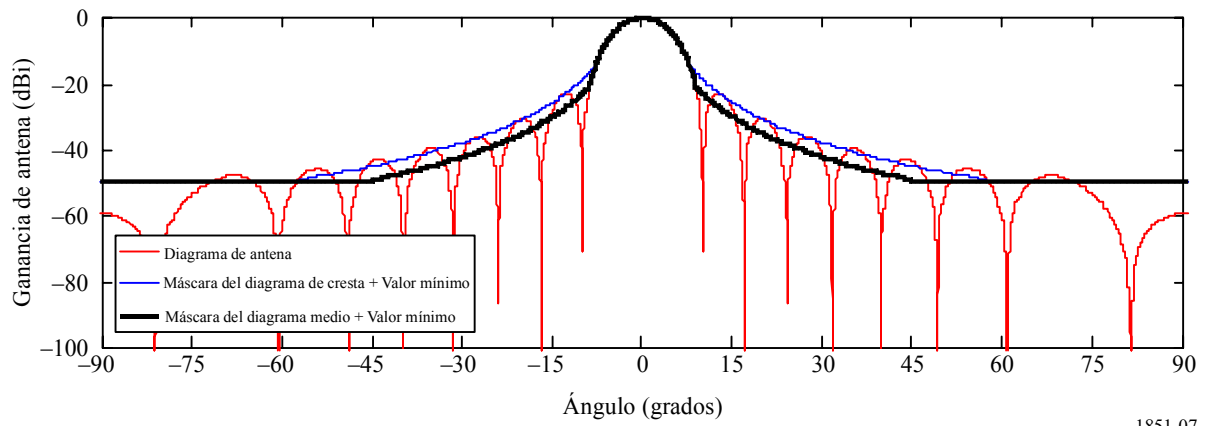


FIGURA 8  
 Diagrama de antena polar en COS, envolvente de cresta y media

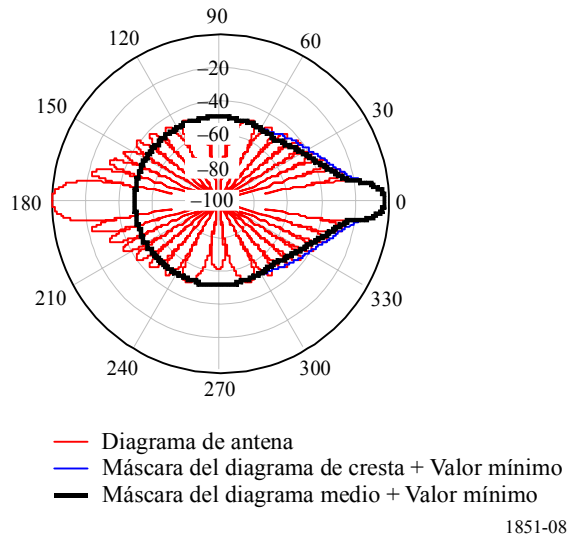


FIGURA 9  
 Diagrama de antena en  $\text{COS}^2$ , envolvente de cresta y media

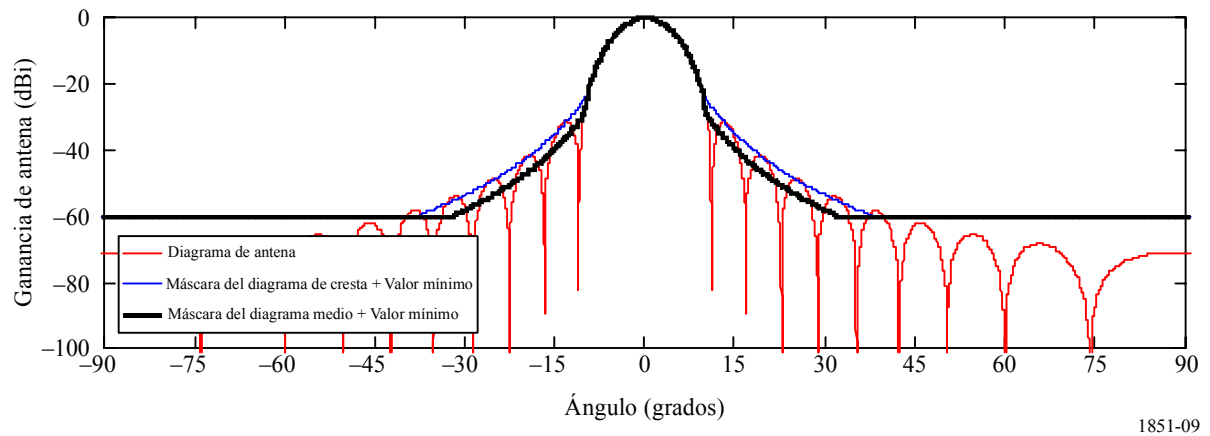


FIGURA 10  
 Diagrama de antena polar en  $\text{COS}^2$ , envoltorio de cresta y media

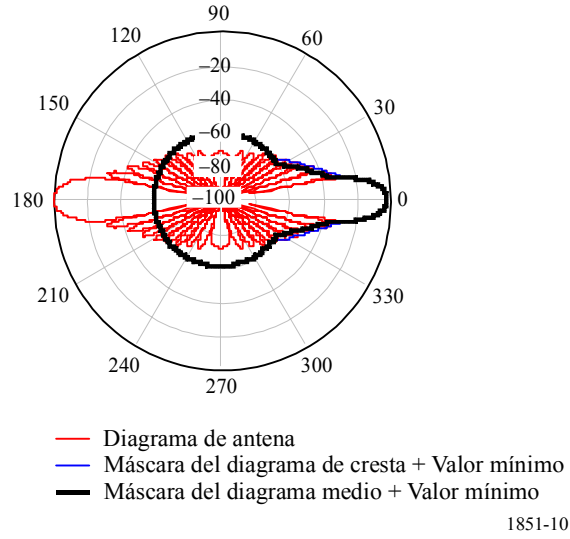


FIGURA 11  
 Diagrama de antena en  $\text{COS}^3$ , envoltorio de cresta y media

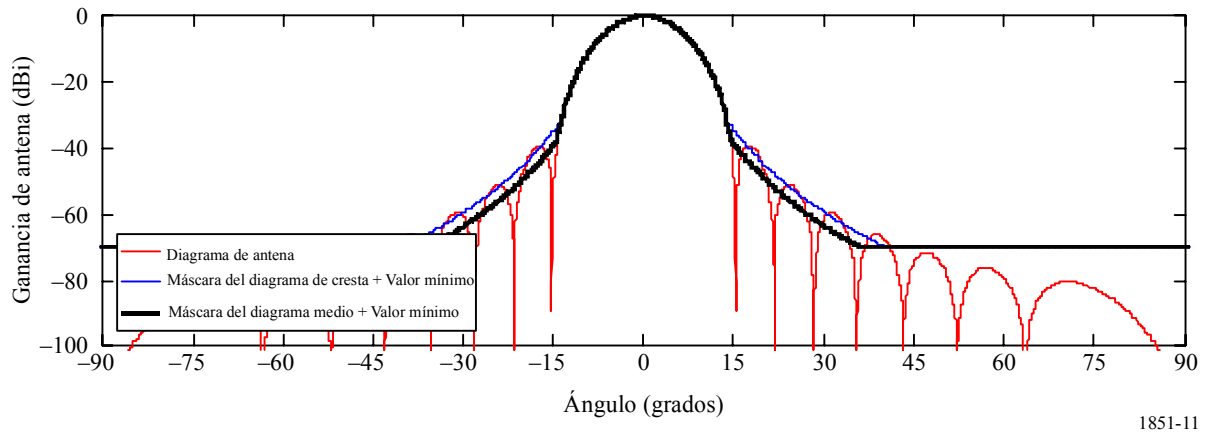


FIGURA 12  
 Diagrama de antena polar en  $\text{COS}^3$ , envoltorio de cresta y media

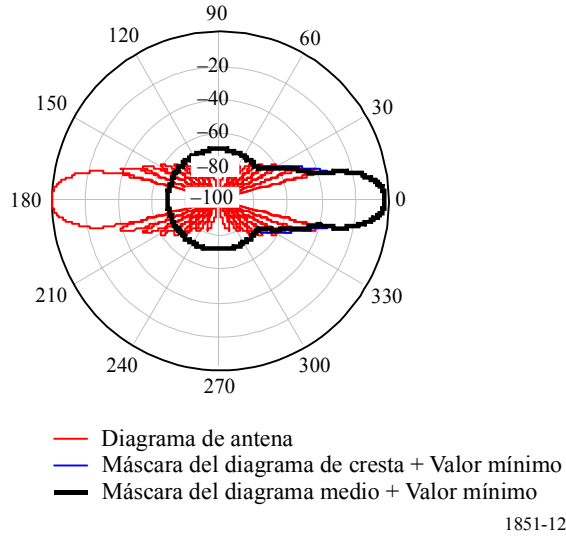
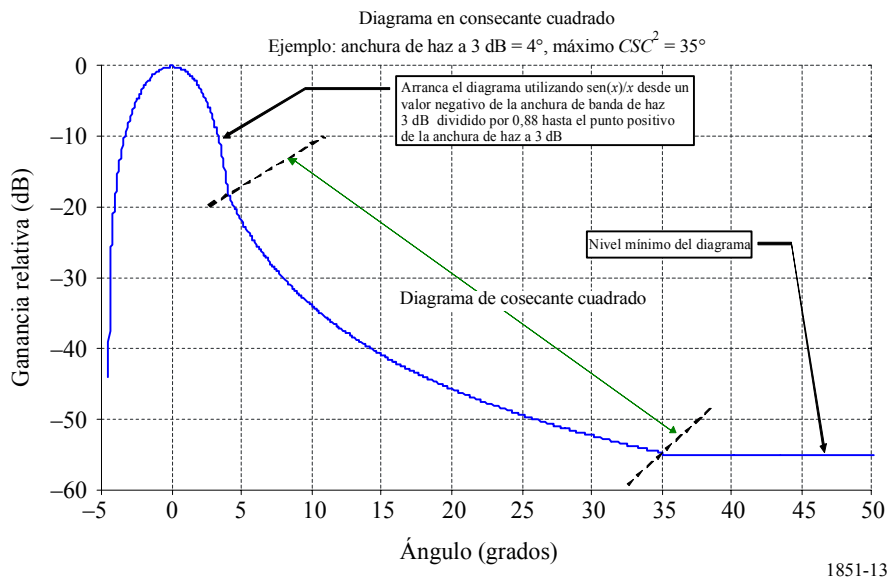


FIGURA 13  
 Envoltorio del diagrama de antena en  $\text{CSC}^2$



### 3 Selección del diagrama de antena

Las sugerencias sobre la forma de seleccionar el diagrama de antena se basan en la información relativa a la anchura de haz a potencia mitad y al nivel de cresta del lóbulo lateral, como se indica en el Cuadro 5.



CUADRO 5

## Cuadro de selección de diagrama

Gama del nivel del primer lóbulo lateral por debajo del valor de cresta normalizado del lóbulo principal (dB)	Posible tipo de distribución de antena	Diagrama de directividad $F(\mu)$	Ecuación de la máscara más allá del punto crítico del diagrama donde la máscara se desvía del diagrama teórico (dB)	Punto crítico del diagrama de cresta donde la máscara se desvía del diagrama teórico (dB)	Punto crítico del diagrama medio donde la máscara se desvía del diagrama teórico (dB)	Constante añadida al diagrama de cresta para convertirlo en máscara media (dB)	Nivel mínimo de máscara propuesto (dB)	Ecuación N.º
-13,2 a -20 dB	Uniforme	$\frac{\text{sen}(\mu)}{\mu}; \mu = (\pi \cdot 50,8 \cdot \text{sen}(\theta))/\theta_3$	$-8,584 \cdot \ln \left( 2,876 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	-5,75	-12,16	-3,72	-30	(13)
-20 a -30 dB	COS	$\frac{\pi}{2} \left[ \frac{\cos(\mu)}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \mu^2} \right]; \mu = (\pi \cdot 68,8 \cdot \text{sen}(\theta))/\theta_3$	$-17,51 \cdot \ln \left( 2,33 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	-14,4	-20,6	-4,32	-50	(14)
-30 a -39 dB	$\text{COS}^2$	$\frac{\pi^2}{2 \cdot \mu} \left[ \frac{\text{sen}(\mu)}{\left(\frac{\pi^2}{2} - \mu^2\right)} \right]; \mu = (\pi \cdot 83,2 \cdot \text{sen}(\theta))/\theta_3$	$-26,882 \cdot \ln \left( 1,962 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	-22,3	-29,0	-4,6	-60	(15)
-39 dB o más	$\text{COS}^3$	$\frac{3 \cdot \pi \cdot \cos(\mu)}{8} \left[ \frac{1}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \mu^2} - \frac{1}{\left(\frac{3 \cdot \pi}{2}\right)^2 - \mu^2} \right]; \mu = (\pi \cdot 95 \cdot \text{sen}(\theta))/\theta_3$	$-35,84 \cdot \ln \left( 1,756 \cdot \frac{ \theta }{\theta_3} \right)$	-31,5	-37,6	-4,2	-70	(16)

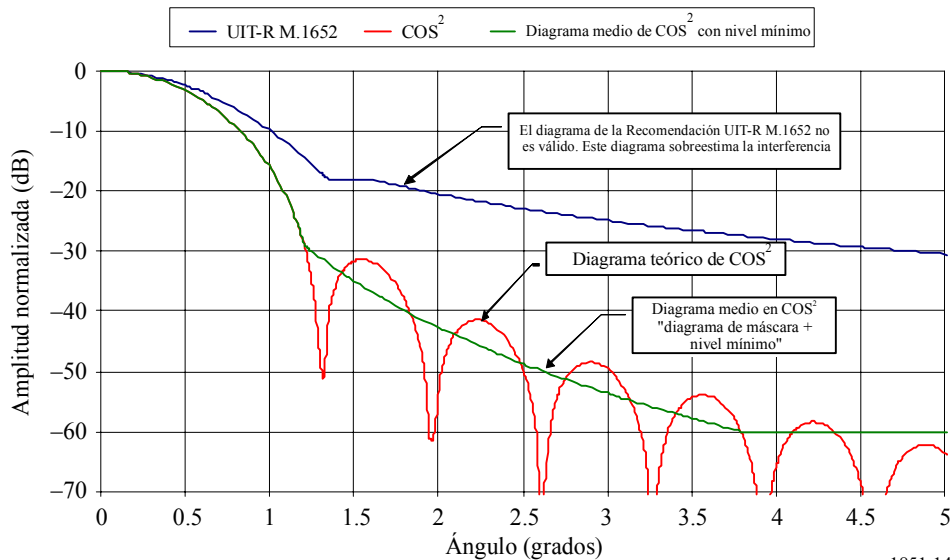
#### 4 Comparación del diagrama de antena

Un modelo matemático para los diagramas de antena de radar del servicio de radiodeterminación utilizado en análisis de interferencia que aparece en la Recomendación UIT-R M.1652 incluye ecuaciones para varios diagramas en función de la ganancia de antena. Una comparación entre los modelos desarrollados en esta Recomendación y el radar C de la Recomendación UIT-R M.1638 demuestra que el diagrama de la Recomendación UIT-R M.1652 no es óptimo. Como muestra la Fig. 14, el diagrama de la citada Recomendación UIT-R M.1652 sobrestima de manera significativa la ganancia de antena fuera del eje de puntería de la antena (0°).

FIGURA 14

#### Comparación de diagramas de antena

Comparación de los diagramas de la Recomendación UIT-R M.1652 con los diagramas de  $\text{COS}^2$   
 (Ejemplo, radar C: ganancia = 44 dBi, anchura de haz en El = Az = 0,95°, nivel del primer lóbulo lateral SLL = -35 dB)



1851-14

#### 5 Diagramas tridimensionales (3-D) aproximados

Los datos obtenidos de las trazas del contorno pueden utilizarse como herramientas de análisis de simulación. Puede aproximarse fácilmente el diagrama de antena tridimensional (3-D) multiplicando los cortes de tensión del plano principal horizontal y vertical. Para ello, se sitúa el diagrama del plano principal vertical en la columna central de una matriz cuadrada y se fija el resto de elementos a cero. Se sitúa el diagrama del plano principal horizontal en la fila central de una matriz cuadrada y se fija el resto de elementos a cero. Se multiplican las dos matrices y se dibuja el gráfico. Obsérvese que todos los diagramas deben estar normalizados.

La ecuación para calcular los diagramas tridimensionales es la siguiente:

$$P_{i,h} = 20 \log \left[ \sum_{k=0}^N |H_{k,i} V_{h,k}| \right] \tag{17}$$

donde las matrices de elevación y acimut, en unidades de voltios, se definen en las ecuaciones (18) y (19).

El diagrama vertical viene dado por:

$$\text{Matriz vertical } (V_{h,k}) = \begin{pmatrix} 0 & \dots & 0 & El_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & El_2 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & 0 & El_3 & 0 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & El_{N-1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & El_N & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad (18)$$

El diagrama horizontal viene dado por:

$$\text{Matriz horizontal } (H_{k,i}) = \begin{pmatrix} 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 \\ Az_1 & Az_2 & & & Az_{N-1} & Az_N & \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad (19)$$

La Fig. 17 muestra un ejemplo de diagrama tridimensional.

FIGURA 15

Diagrama de contorno de antena para BW\_H = 1,2° y BW\_V = 6°

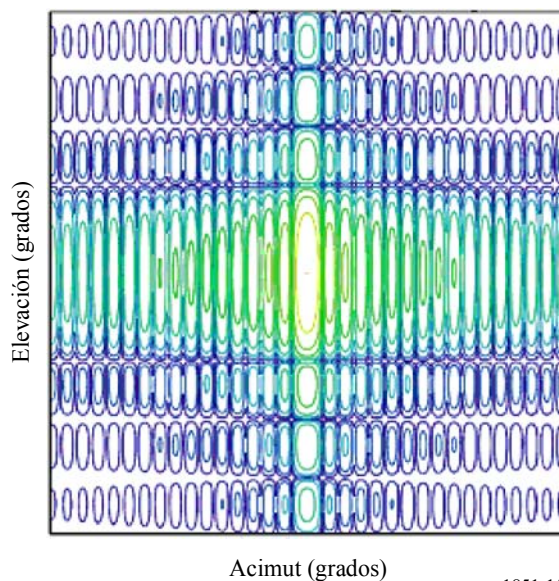
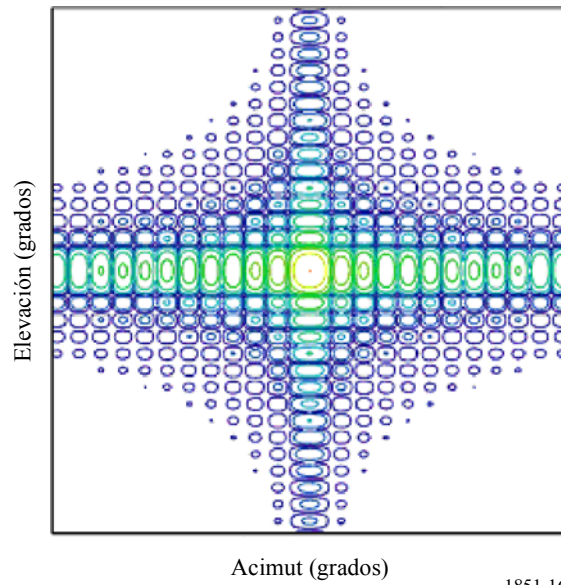


FIGURA 16

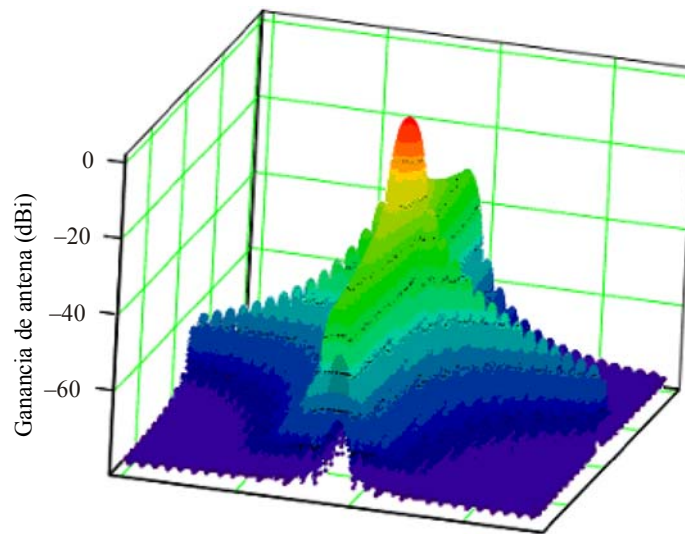
Diagrama de contorno de antena para  $BW_H = BW_V = 1,7^\circ$



1851-16

FIGURA 17

Ejemplo del gráfico de un diagrama de antena tridimensional



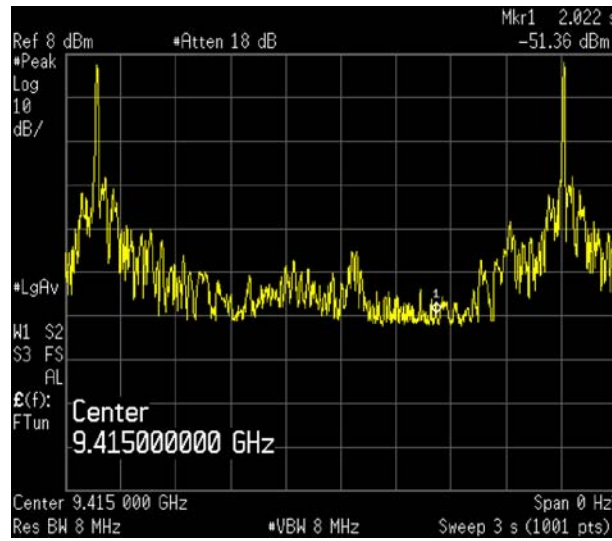
1851-17

## 6 Ejemplo de diagrama medido

A continuación figuran ejemplos de datos de prueba de diagrama de antena de radar, en la banda de 9 GHz, que muestran los valores aproximados del nivel de cresta del lóbulo lateral y el valor mínimo del diagrama.

FIGURA 18

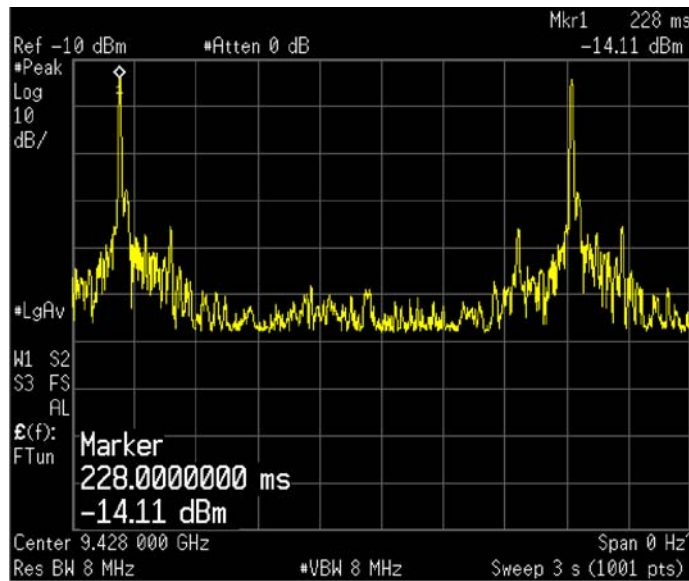
Ejemplo de traza de antena medida



1851-18

FIGURA 19

Ejemplo de traza de antena medida



1851-19