

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1528

Diagramas de radiación de antena de satélite para antenas de satélite no geoestacionario con funcionamiento en el servicio fijo por satélite por debajo de 30 GHz

(Cuestión UIT-R 231/4)

(2001)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la utilización de antenas de estación espacial con los mejores diagramas de radiación disponibles conducirá a la utilización más eficaz del espectro de frecuencias radioeléctricas;
- b) que en las estaciones espaciales operativas se utilizan antenas de haz elíptico y de haz circular;
- c) que aunque se están logrando mejoras en el diseño en las antenas de estación espacial, se requiere aún más información antes de poder adoptar un diagrama de radiación de referencia a los fines de la coordinación;
- d) que la adopción de un objetivo de diseño de diagrama de radiación para antenas espaciales fomentará la fabricación y utilización de antenas eficaces en términos de órbita;
- e) que sólo es necesario especificar las características de radiación de la antena de la estación espacial en las direcciones de interferencia potencial a los fines de la coordinación;
- f) que para lograr una gran aplicabilidad, las expresiones matemáticas deben ser lo más sencillas posible, en congruencia con las predicciones efectivas;
- g) que no obstante, las expresiones deben tener en cuenta las características de los sistemas de antena prácticos y poder adaptarse a las tecnologías emergentes;
- h) que las dificultades de medición dan lugar a imprecisiones en el establecimiento de modelos de antenas de vehículo espacial para ángulos grandes fuera del eje;
- j) que las limitaciones en cuanto a tamaño de los vehículos de lanzamiento dan lugar a limitaciones en los valores de la relación D/λ de las antenas de vehículo espacial;
- k) que una antena de haz múltiple en el satélite no geoestacionario (no OSG) tiene que dar un campo de visión de cobertura de la Tierra con un ángulo semicónico de hasta $\pm 30^\circ$ visto desde un satélite de órbita terrestre media (MEO) y de hasta $\pm 60^\circ$ desde un satélite de órbita terrestre baja (LEO);
- l) que se ha previsto que la mayoría de los satélites no OSG del servicio fijo por satélite (SFS) utilicen un gran número de haces por satélite, ya sean orientables o fijos;
- m) que la ganancia de cresta de una antena de haz múltiple disminuye, mientras que el nivel de los lóbulos laterales aumenta, en función del ángulo de puntería del haz fuera del eje;
- n) que los lóbulos laterales primero y segundo de una antena de haz múltiple pueden refundirse en el haz principal cuando el haz apunta hacia el extremo de la Tierra o en las proximidades de él;
- o) que para una antena práctica el desbordamiento del reflector principal o del subreflector, o la difracción de la estructura de soporte pueden afectar significativamente a la precisión de nuestras estimaciones en las regiones de los lóbulos laterales próximos y alejados;

p) que los diagramas de radiación reales de algunos tipos de antenas de haz múltiple pueden ser significativamente distintos de un haz a otro,

recomienda

1 que para las antenas multihaz de satélite no OSG del SFS que tengan haces circulares o elípticos, se utilicen los diagramas de radiación indicados a continuación como objetivo de diseño o a los efectos de los análisis de interferencia:

1.1 diagramas de antena medidos

Deben utilizarse diagramas de antena medidos, siempre que se disponga de ellos.

Cuando no se disponga de un diagrama medido, puede utilizarse uno de los diagramas de referencia que figuran en los puntos siguientes:

1.2 el diagrama de referencia que viene dado por:

$$G(\psi) = G_m - 3(\psi/\psi_b)^\alpha \quad \text{dBi} \quad \text{para } 0 < \psi \leq a\psi_b \quad (1)$$

$$G(\psi) = G_m + L_N + 20 \log(z) \quad \text{dBi} \quad \text{para } a\psi_b < \psi \leq 0,5 b\psi_b \quad (2a)$$

$$G(\psi) = G_m + L_N \quad \text{dBi} \quad \text{para } 0,5 b\psi_b < \psi \leq b\psi_b \quad (2b)$$

$$G(\psi) = X - 25 \log(\psi) \quad \text{dBi} \quad \text{para } b\psi_b < \psi \leq Y \quad (3)$$

$$G(\psi) = L_F \quad \text{dBi} \quad \text{para } Y < \psi \leq 90^\circ \quad (4a)$$

$$G(\psi) = L_B \quad \text{dBi} \quad \text{para } 90^\circ < \psi \leq 180^\circ \quad (4b)$$

siendo:

$$X = G_m + L_N + 25 \log(b\psi_b) \quad \text{e} \quad Y = b\psi_b 10^{0,04(G_m + L_N - L_F)}$$

ψ_b : mitad de la abertura del haz a 3 dB en el plano de interés (3 dB por debajo de G_m) (grados)

ψ_b : $\sqrt{1200}/(D/\lambda)$ para el eje menor (utilícense valores reales si se conocen) (grados)

ψ_b : (eje mayor/eje menor) $\sqrt{1200}/(D/\lambda)$ para el eje mayor (utilícense valores reales si se conocen) (grados)

$G(\psi)$: ganancia en el ángulo ψ a partir de la dirección del haz principal (dBi)

G_m : ganancia máxima en el lóbulo principal (dBi)

L_N : nivel del lóbulo lateral más próximo (dB) respecto a la ganancia de cresta requerida por el diseño del sistema

L_F : nivel a 0 dBi del lóbulo lateral más alejado (dBi)

L_B : nivel del lóbulo trasero (dBi)

z : (eje mayor/eje menor) para el haz radiado

$L_B = 15 + L_N + 0,25 G_m + 5 \log z$ dBi o 0 dBi, el que sea superior

D : diámetro de la antena (m)

λ : longitud de onda del extremo inferior de la banda de interés (m).

Los valores numéricos de a , b , y α para $L_N = -15$ dB, -20 dB, -25 dB, y -30 dB de lóbulos laterales figuran en el Cuadro 1. Los valores de a y α para $L_N = -30$ dB requieren estudios adicionales. Se invita a las administraciones a facilitar datos que permitan ajustar mejor los valores de a y α para $L_N = -30$ dB.

NOTA 1 – Los diagramas aplicables a los haces elípticos requieren una verificación experimental. Los valores de a y α del Cuadro 1 son provisionales.

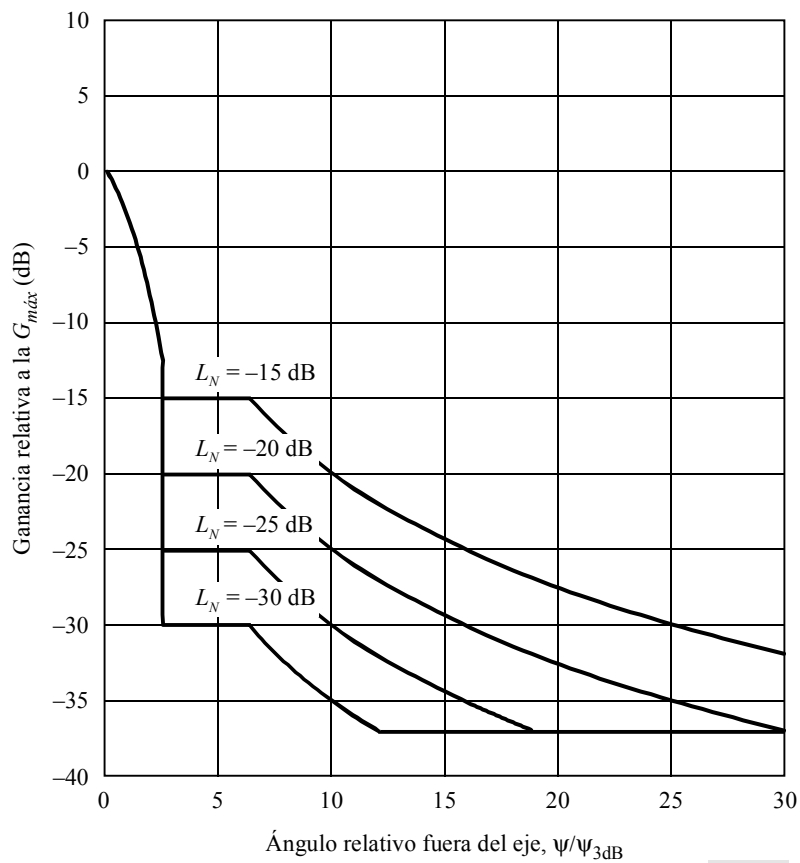
CUADRO 1

L_N (dB)	a	b	α
-15	$2,58\sqrt{1 - 1,4 \log(z)}$	6,32	1,5
-20	$2,58\sqrt{1 - 1,0 \log(z)}$	6,32	1,5
-25	$2,58\sqrt{1 - 0,6 \log(z)}$	6,32	1,5
-30	$2,58\sqrt{1 - 0,4 \log(z)}$	6,32	1,5

La Fig. 1 muestra el diagrama de radiación en términos de ganancia relativa respecto a ψ/ψ_b .

FIGURA 1

Funciones de la envolvente del diagrama de radiación



1528-01

1.3 el diagrama de referencia dado por:

Para $D/\lambda < 35$:

$$\begin{array}{lll}
 G(\psi) = G_m - 3(\psi/\psi_b)^2 & \text{dBi} & \text{para } \psi_b < \psi < Y \\
 G(\psi) = G_m + L_S - 25 \log(\psi/Y) & \text{dBi} & \text{para } Y < \psi < Z \\
 G(\psi) = L_F & \text{dBi} & \text{para } Z < \psi < 180^\circ
 \end{array}$$

Para MEO:

$$L_S = -12; \quad Y = 2 \psi_b$$

$$G(\psi) = 20 \log(D/\lambda) + 3,5 - 25 \log(\psi/\psi_b) \quad \text{dBi} \quad \text{para } 2 \psi_b < \psi < Z$$

Para LEO:

$$L_S = -6,75; \quad Y = 1,5 \psi_b$$

$$G(\psi) = 20 \log(D/\lambda) + 5,65 - 25 \log(\psi/\psi_b) \quad \text{dBi} \quad \text{para } 1,5 \psi_b < \psi < Z$$

siendo:

ψ : ángulo fuera del eje (grados)

$G(\psi)$: ganancia en el ángulo ψ respecto a la dirección del haz principal (dBi)

G_m : ganancia máxima en el lóbulo principal (dBi)

ψ_b : la mitad de la apertura del haz a 3 dB en el plano de interés, en el ángulo máximo fuera del eje

L_S : punto de cruce del contorno del haz principal y del lóbulo lateral adyacente (dB) por debajo de la ganancia de cresta

L_F : nivel del lóbulo lateral más alejado (dBi), ~ 0 dBi para un diagrama ideal

$$Y = \psi_b (-L_S/3)^{1/2}$$

$$Z = Y \times 10^{0,04(G_m + L_S - L_F)}$$

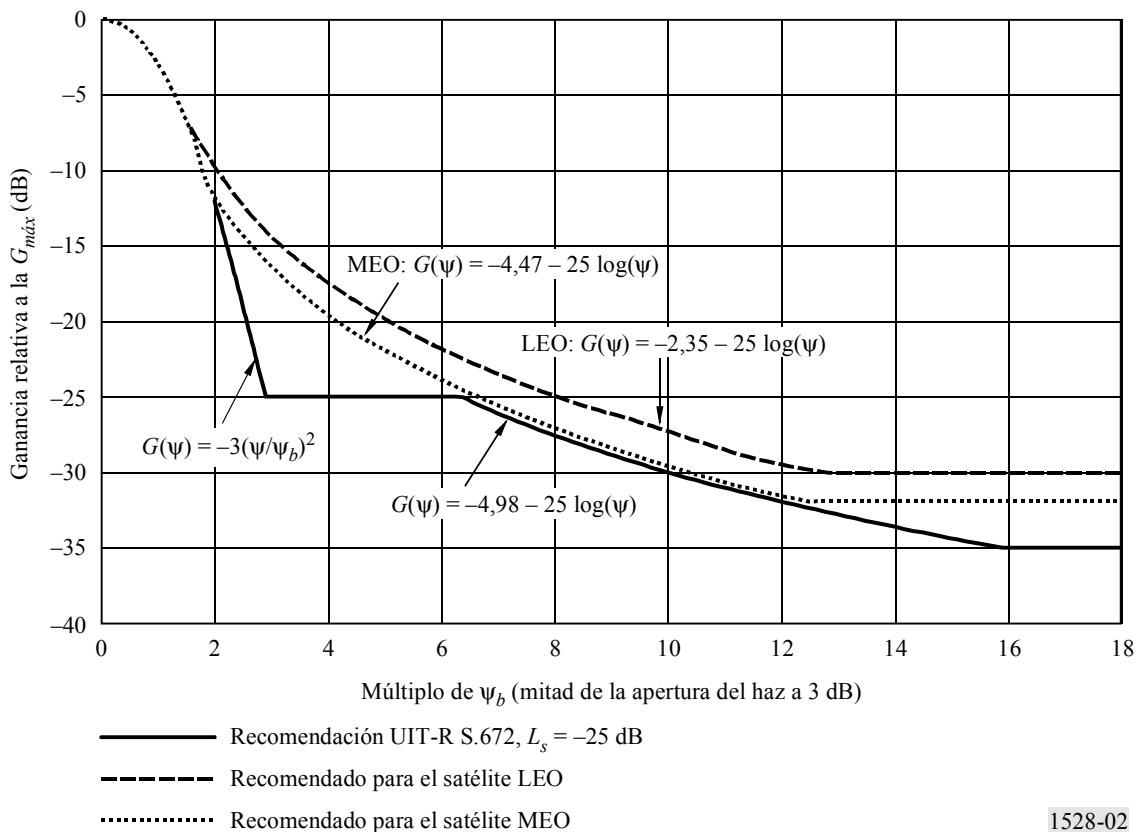
λ : longitud de ondas en el extremo inferior de la banda de interés (m)

D : diámetro de la antena (m).

El diagrama de radiación de referencia se representa en la Fig. 2.

FIGURA 2

Diagramas de radiación de referencia para satélites LEO, MEO y OSG



En el Anexo 1 figuran los diagramas de antena recomendados para antenas de haz múltiple de satélite no OSG que funciona en el SFS por debajo de 30 GHz;

1.4 el diagrama de referencia viene dado por una función analítica que es un modelo de los lóbulos laterales del satélite no OSG.

En el estudio de la compartición de frecuencias entre sistemas no OSG, la adopción de un diagrama de antena de satélite no OSG lo más realista posible permite efectuar un análisis más preciso de la interferencia, al tiempo que se limita la sobreestimación de ésta.

Se propone la utilización de una función de iluminación de Taylor circular que da la flexibilidad máxima para adaptar el diagrama teórico al real. Esta función tiene en cuenta el efecto de los lóbulos laterales de un diagrama de antena.

A fin de simplificar la función, se ha considerado que las crestas de los lóbulos laterales son simétricas, lo que es una hipótesis moderada en el análisis de la interferencia.

$$G(u) = G_{m\acute{a}x} - 20 \log \left(\left| \frac{2 J_1(u)}{u} \cdot \prod_{i=1}^3 \frac{\left[1 - \frac{u^2}{\pi^2 \cdot \sigma^2 \cdot [A^2 + (i - 1/2)^2]} \right]}{\left[1 - \left(\frac{u}{\pi \cdot \mu_i} \right)^2 \right]} \right| \right)$$

siendo:

$G(u)$: ganancia en la dirección del punto considerado (dB)

$G_{m\acute{a}x}$: ganancia máxima del diagrama (dB)

μ_1, μ_2, μ_3 : tres raíces primarias de la función de Bessel J_1 (rad).

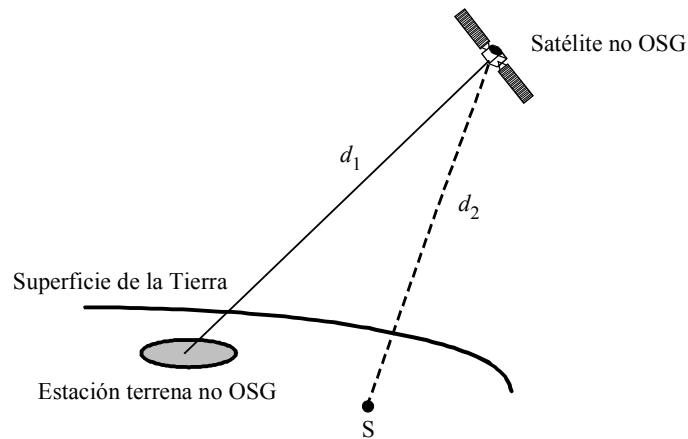
$$A = \frac{1}{\pi} \cdot \arccos h \left(10^{\frac{SLR}{20}} \right)$$

en la que SLR es la relación de lóbulos laterales del diagrama (dB), la diferencia en ganancia entre la ganancia máxima y la ganancia de cresta del primer lóbulo lateral.

$$\sigma = \frac{J_0(l)}{\sqrt{A^2 + (l - 1/2)^2}}$$

donde l es el número de lóbulos secundarios que han de considerarse en el diagrama; $J_0()$ es la función de Bessel.

FIGURA 3



1528-03

u es función de las características de la antena y del ángulo entre el punto subsatelital, S, y el haz iluminado, visto desde el satélite no OSG.

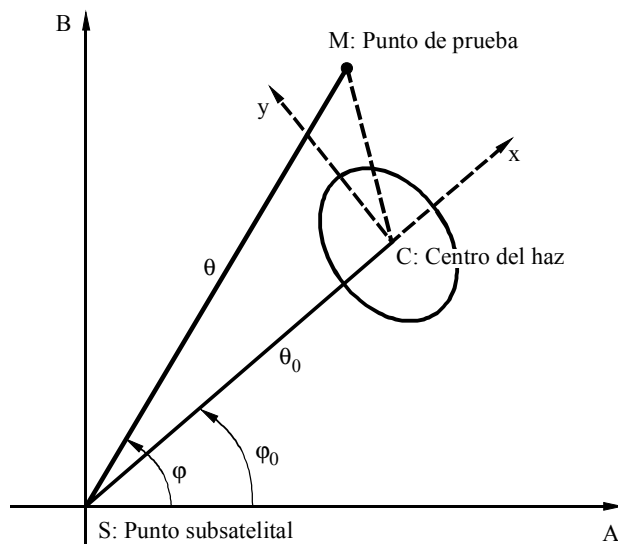
$$u = \frac{\pi}{\lambda} \cdot \sqrt{(L_r \operatorname{sen} \theta \cos \varphi)^2 + (L_t \operatorname{sen} \theta \operatorname{sen} \varphi)^2}$$

siendo:

(θ, φ) : coordenadas del punto de prueba respecto al centro del haz iluminado en la referencia del satélite (véase la Fig. 4),

L_r y L_t : tamaños radial y transversal de la zona de radiación efectiva de la antena de transmisión del satélite (m).

FIGURA 4



1528-04

El sistema no OSG debe facilitar los parámetros L_r y L_t , como parámetros de entrada.

En el Anexo 2 figura un ejemplo de diagrama obtenido con esta función analítica.

Se necesitan nuevos estudios para definir los límites de la ganancia de la antena en los nulos que aparecen al utilizar una función de tipo Bessel.

ANEXO 1

Ejemplos para el recomienda 1.3

Ejemplo:

Antenas de satélite LM-MEO (USAMEO-1)

Una antena típica no orientable de satélite MEO tiene un campo de visión de la Tierra $> \pm 22,5^\circ$

Diámetro de la lente, D/λ : longitudes de onda a 18,8 GHz

Apertura del haz a potencia mitad, $2 \psi_b$: $3,2^\circ$ a 18,8 GHz, con exploración a 21° fuera del eje

Ganancia a 21° fuera del eje, G_m : 35 dBi

Diagrama de radiación de referencia del satélite MEO

$\psi_b = 1,6^\circ$		$G_m = 35$
$L_s = -12$		$Y = 2 \psi_b = 3,2^\circ$
$L_F = 3$		$Z = 20,0^\circ$
$G(\psi) = G_m - 3(\psi/\psi_b)^2$	dBi	para $\psi_b < \psi \leq Y$
$= 35 - 3(\psi/1,6)^2$		$1,6^\circ < \psi \leq 3,2^\circ$
$G(\psi) = G_m + L_s - 25 \log(\psi/Y)$	dBi	para $Y < \psi \leq Z$
$= 23 - 25 \log(\psi/3,2)$		$3,2^\circ < \psi \leq 20,0^\circ$
$= 35,6 - 25 \log(\psi)$		
$G(\psi) = 3$	dBi	para $20,0^\circ < \psi \leq 180^\circ$

Diagrama de radiación de referencia del satélite LEO

$\psi_b = 1,6^\circ$		$G_m = 35$
$L_s = -6,75$		$Y = 1,5 \psi_b = 2,4^\circ$
$L_F = 5$		$Z = 20,4^\circ$
$G(\psi) = G_m - 3(\psi/\psi_b)^2$	dBi	para $\psi_b < \psi \leq Y$
$= 35 - 3(\psi/1,6)^2$		
$G(\psi) = G_m + L_s - 25 \log(\psi/Y)$	dBi	para $Y < \psi \leq Z$
$= 28,25 - 25 \log(\psi/2,4)$		$2,4^\circ < \psi \leq 20,4^\circ$
$= 37,76 - 25 \log(\psi)$		
$G(\psi) = 5$	dBi	para $20,4^\circ < \psi \leq 180^\circ$

Utilizando la Recomendación UIT-R S.672

$$\psi_b = 1,6^\circ$$

$$L_s = -25$$

$$L_F = 0$$

$$G(\psi) = G_m - 3(\psi/\psi_b)^2 \quad \text{dBi}$$

$$= 35 - 3(\psi/1,6)^2$$

$$G(\psi) = G_m + L_s \quad \text{dBi}$$

$$= 10$$

$$G(\psi) = G_m + L_s + 20 - 25 \log(\psi/\psi_b) \quad \text{dBi}$$

$$= 35,1 - 25 \log \psi$$

$$G(\psi) = 0 \quad \text{dBi}$$

$$G_m = 35$$

$$Y = 2,887 \psi_b = 4,62^\circ$$

$$Z = 25,4^\circ$$

para $\psi_b < \psi \leq Y$

$$1,6^\circ < \psi \leq 4,62^\circ$$

para $Y < \psi \leq 6,32 \psi_b$

$$4,62^\circ < \psi \leq 10,1^\circ$$

para $6,32 \psi_b < \psi \leq Z$

$$10,1^\circ < \psi \leq 25,4^\circ$$

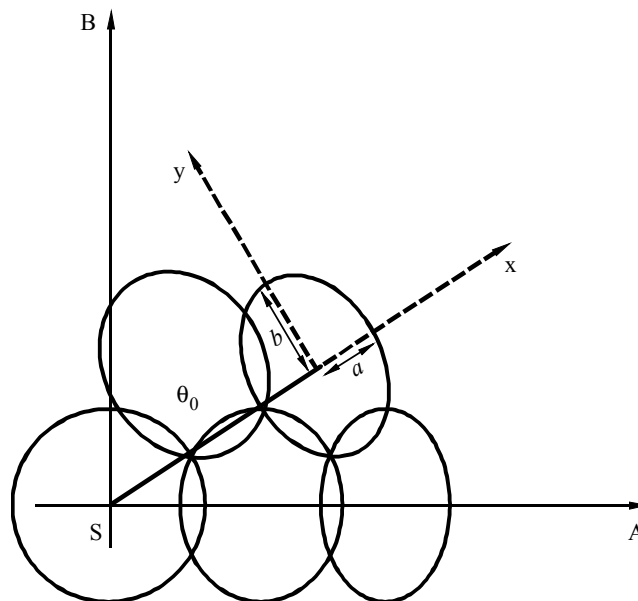
para $25,4^\circ < \psi \leq 180^\circ$

ANEXO 2

Ejemplos para el recomendación 1.4

El diagrama de antena presentado es aplicable a un sistema de satélite no OSG en una altitud de 1469 km, que genere haces con una cobertura en el suelo de célula de radio 350 km (véase la Fig. 5).

FIGURA 5



1528-05

El estudio se realiza a una frecuencia de 12 GHz.

Las tres raíces primarias de la función de Bessel J_1 son:

$$\mu_1 = 1,22$$

$$\mu_2 = 2,233$$

$$\mu_3 = 3,238$$

En cada caso, la relación de lóbulos laterales considerada es de 20 dB, y el número de lóbulos secundarios es de cuatro. Con estos dos parámetros se obtiene $A = 0,95277$ y $\sigma = 1,1692$.

L_r y L_t están separados en el suelo y dependen de la función de caída del haz (diferencia entre la ganancia máxima y la ganancia en el extremo del haz iluminado). El cálculo ha de utilizarse utilizando la caída de 7 dB, 5 dB y 3 dB.

Los parámetros L_r y L_t que han de utilizarse están indicados en el Cuadro 2:

CUADRO 2*

Caída	7	5	3
$\frac{L_r}{\lambda}$	$\frac{0,74}{\text{sen } a}$	$\frac{0,64}{\text{sen } a}$	$\frac{0,51}{\text{sen } a}$
$\frac{L_t}{\lambda}$	$\frac{0,74}{\text{sen } b}$	$\frac{0,64}{\text{sen } b}$	$\frac{0,51}{\text{sen } b}$

* Los coeficientes dependen de la relación de lóbulos laterales escogida en este caso particular, así como de la caída en el extremo de la cobertura. Los valores de L_r y L_t obtenidos van en metros.

a : distancia del semieje radial del haz iluminado (grados, subtendidos en el satélite);

b : distancia del semieje transversal del haz iluminado (grados, subtendidos en el satélite).

Para un ángulo de puntería θ_0 de 0° relativa al punto subsatelital S (véase la Fig. 5), los resultados se representan en el gráfico de la Fig. 6.

FIGURA 6

Curva de radiación del diagrama de antena de referencia

