

## RECOMENDACIÓN UIT-R SF.1484\*

**MÁXIMOS VALORES ADMISIBLES DE LA DENSIDAD DE FLUJO DE POTENCIA EN LA SUPERFICIE DE LA TIERRA PRODUCIDA POR SATÉLITES NO GEOESTACIONARIOS DEL SERVICIO FIJO POR SATÉLITE QUE FUNCIONAN EN LAS BANDAS 37,5-40,5 GHz Y 40,5-42,5 GHz PARA PROTEGER AL SERVICIO FIJO**

(Cuestiones UIT-R 217/9 y UIT-R 250/4)

(2000)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que la banda 37,5-40,5 GHz está atribuida al servicio fijo y al servicio fijo por satélite (SFS) (espacio-Tierra) a título igualmente primario;
- b) que la banda 40,5-42,5 GHz está atribuida al servicio fijo y al SFS (espacio-Tierra) a título igualmente primario en las Regiones 2 y 3 y en algunos países de la Región 1;
- c) que es necesario asegurar que las emisiones procedentes de los satélites no provocan interferencia inaceptable a los sistemas del servicio fijo en las bandas 37,5-40,5 GHz y 40,5-42,5 GHz;
- d) que los sistemas del servicio fijo pueden protegerse adecuadamente contra las emisiones combinadas procedentes de varios satélites imponiendo límites adecuados a la densidad de flujo de potencia (dfp) en una anchura de banda de referencia producidas por satélites individuales en la superficie de la Tierra;
- e) que las características actuales y previstas de los sistemas del servicio fijo en la banda 37,5-40,5 GHz son distintas de las de la banda 40,5-42,5 GHz;
- f) que cualquier limitación en la dfp producida en la superficie de la Tierra no debe imponer excesivas restricciones al diseño de los sistemas del SFS con satélites geoestacionarios (OSG) y no OSG;
- g) que la Resolución 133 (CMR-97) pidió al UIT-R que determine a tiempo para la CMR-2000 si los límites de dfp incluidos en el artículo S21 del RR para la gama 37-40 GHz protegen adecuadamente a los servicios terrenales contra las redes del SFS;
- h) que la Resolución 129 (CMR-97) invitó al UIT-R a emprender con carácter de urgencia estudios sobre los criterios y métodos adecuados para la compartición entre el SFS y otros servicios con atribuciones en la banda 40,5-42,5 GHz;
- j) que algunos sistemas del servicio fijo que utilizan pequeños márgenes contra el desvanecimiento neto puede que no estén completamente protegidos contra la interferencia causada por los sistemas del SFS sin imponer excesivas restricciones a estos sistemas;
- k) que varios sistemas de satélites no OSG han recibido publicación anticipada en las bandas 37,5-40,5 GHz y 40,5-42,5 GHz y el número más elevado de vehículos espaciales en cualquiera de los sistemas de satélites no OSG publicados es de 99,

*recomienda*

**1** que en las bandas 37,5-40,5 GHz y 40,5-42,5 GHz, la máxima dfp admisible en la superficie de la Tierra producida por cualquier satélite no OSG no rebase en cualquier banda de 1 MHz los siguientes valores:

**1.1** para la banda 37,5-40,5 GHz:

-120	dB(W/m <sup>2</sup> )	para	$\theta \leq 5^\circ$
$-120 + 0,75(\theta - 5)$	dB(W/m <sup>2</sup> )	para	$5^\circ < \theta \leq 25^\circ$
-105	dB(W/m <sup>2</sup> )	para	$25^\circ < \theta \leq 90^\circ$

siendo  $\theta$  el ángulo de llegada (grados por encima de la horizontal);

\* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 3 (Grupo de Trabajo (GT) 3M), 4 (GT 4A) y 9 (GT 9B y GT 9A) de Radiocomunicaciones.

1.2 para la banda 40,5-42,5 GHz:

-115	dB(W/m <sup>2</sup> )	para	$\theta \leq 5^\circ$
$-115 + 0,5(\theta - 5)$	dB(W/m <sup>2</sup> )	para	$5^\circ < \theta \leq 25^\circ$
-105	dB(W/m <sup>2</sup> )	para	$25^\circ < \theta \leq 90^\circ$

siendo  $\theta$  el ángulo de llegada (grados por encima de la horizontal);

2 que estos límites se refieran a la dfp que se obtendría en condiciones de propagación en espacio libre;

3 que se utilice la información contenida en el Anexo 1 como orientación en el empleo de esta Recomendación para la banda 37,5-40,5 GHz;

4 que se utilice la información contenida en el Anexo 2 como orientación en el empleo de esta Recomendación para la banda 40,5-42,5 GHz;

5 que se realicen nuevos estudios antes de aplicar los valores que figuran en el *recomienda* 1 a cualquier sistema del SFS con satélites no OSG que tenga un número de vehículos espaciales mayor que el indicado en el *considerando* k).

## ANEXO 1

### Possible interferencia causada por los sistemas del SFS no OSG a los sistemas del servicio fijo en la banda 37,5-40,5 GHz

#### 1 Introducción

Este Anexo presenta la posible interferencia provocada por sistemas del SFS no OSG a sistemas del servicio fijo punto a punto y punto a multipunto. En este estudio, las redes de satélites LEO V1 (órbita terrestre baja (LEO)), LEO V2 (órbita terrestre media (MEO)) y LEO V3 (MEO) se utilizan como sistemas del SFS no OSG. El estudio se refiere a la banda 37,5-40,5 GHz.

#### 2 Características técnicas de los sistemas del SFS no OSG

En el Cuadro 1 figuran los parámetros de los sistemas de satélites LEO V1, LEO V2 y LEO V3.

CUADRO 1

Parámetros orbitales de los sistemas del SFS no OSG

Parámetros	LEO V1	LEO V2	LEO V3
Número de satélites	72	15	32
Número de planos orbitales	12	3	4
Número de satélites por plano	6	5	8
Altitud (km)	1 350	10 355	10 355
Ángulo de inclinación (grados)	47	50	50
Periodo de la órbita	6 761 s	6 h	6 h

### 3 Parámetros del sistema del servicio fijo y criterios de interferencia

#### 3.1 Parámetros del sistema del servicio fijo

Los parámetros del sistema del servicio fijo se han extraído de la Recomendación UIT-R F.758.

- Sistemas del servicio fijo punto a punto: en la simulación se utilizan los siguientes parámetros:
  - ganancia de la antena del receptor del servicio fijo: 44 dBi y 45 dBi;
  - factor de ruido del receptor: 6 dB a 8 dB;
  - ángulo de elevación del servicio fijo: 0° a 60°;
  - diagramas de radiación de la antena del servicio fijo: Recomendaciones UIT-R F.1245 y UIT-R F.699;
  - ángulo acimutal del servicio fijo: simulaciones basadas en el acimut de caso más desfavorable.
- Sistemas punto a multipunto:
  - ganancia de la antena del receptor del servicio fijo (estación central o principal): 16 dBi;
  - ángulo de elevación de la antena del servicio fijo (estación central o principal): 0°;
  - temperatura del ruido del receptor: 1 740 K;
  - terminal de usuario final: las anteriores características de los sistemas del servicio fijo punto a punto se consideran representativas.

#### 3.2 Criterios de interferencia

##### 3.2.1 Criterio a largo plazo

El criterio de la relación  $I/N$  a largo plazo para la interferencia combinada causada por las estaciones espaciales del SFS al sistema del servicio fijo es:

Criterio C1:  $I/N$  no debe rebasar el valor de -10 dB durante más del 20% del tiempo.

##### 3.2.2 Criterio a corto plazo

Se han considerado las siguientes gamas de criterios de la relación  $I/N$  a corto plazo:

Criterio C2:  $I/N$  no debe rebasar el valor de 9 dB durante más del 0,01% del tiempo.

Criterio C3:  $I/N$  no debe rebasar el valor de 13 dB durante más del 0,0003% del tiempo.

Los anteriores criterios a corto plazo se basan en un supuesto margen de desvanecimiento de 14 dB. Para sistemas del servicio fijo con márgenes de desvanecimiento superiores, pueden utilizarse criterios a corto plazo menos estrictos.

Para sistemas con un margen de desvanecimiento superior a 20 dB, es aceptable el siguiente criterio a corto plazo:

Criterio C4:  $I/N$  no debe rebasar el valor de 20 dB durante más del 0,001% del tiempo.

Para sistemas del servicio fijo que funcionan con un margen de desvanecimiento inferior a 14 dB, debe hacerse más estricto el anterior criterio a corto plazo.

Para sistemas del servicio fijo con un margen de desvanecimiento de 10 dB, el criterio de interferencia es:

Criterio C5:  $I/N$  no debe rebasar el valor de 5 dB durante más del 0,012% del tiempo.

## 4 Interferencia causada por sistemas del SFS no OSG a receptores del sistema del servicio fijo

### 4.1 Análisis de interferencia

La relación  $I/N$ , en el receptor del sistema del servicio fijo puede calcularse de la forma siguiente:

$$\frac{I}{N}(\text{dB}) = 10 \log \left( \sum_{i=1}^n 10^{\left( \frac{dfp_i + G_{SF}(\alpha_i)}{10} \right)} \right) - 10 \log \left( \frac{4\pi}{\lambda^2} \right) - 60 - L_{atm} - N_0 - L_{pol}$$

siendo:

- $n$ : número total de satélites en la constelación de satélites no OSG del SFS
- $dfp_i$ : densidad de flujo de potencia (dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz))) producida por el satélite  $i$ -ésimo
- $G_{SF}(\alpha)$ : ganancia de la antena receptora del servicio fijo en dirección del satélite no OSG del SFS
- $L_{atm}$ : pérdidas atmosféricas
- $N_0$ : densidad de ruido térmico (dB(W/Hz))
- $L_{pol}$ : aislamiento por polarización.

En las simulaciones, se supone que cada sistema del SFS no OSG funciona con unos niveles de dfp de  $-115/-105$  dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)) hasta ángulos de llegada de 0°. Además, se supone también que en el receptor del servicio fijo aparecen múltiples fuentes de interferencia procedente de todos los satélites a la vista en un instante determinado.

Para frecuencias por encima de 20 GHz, la atenuación debida a los gases atmosféricos cada vez es más significativa. Dicha atenuación se ha considerado en la Recomendación UIT-R SF.1395 que define la siguiente fórmula para la atenuación a 37,5 GHz en altitudes superiores a 45°:

$$L_{atm} = 14,44 / \left[ 1 + 0,7365\theta + 0,01542\theta^2 + h(0,2202 + 0,2754\theta) + 0,07416h^2 \right]$$

siendo:

- $h$ : altitud de la antena sobre el nivel del mar (km)
- $\theta$ : ángulo de elevación por encima del horizonte (grados).

### 4.2 Resultados de la simulación

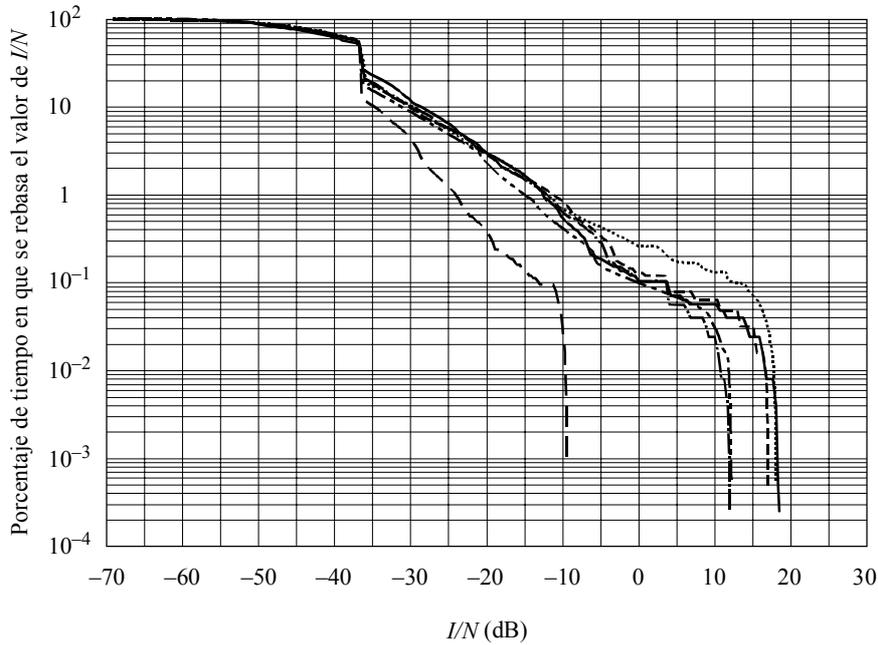
Se llevó a cabo una simulación durante un periodo de 48 h para 15 satélites no OSG del sistema LEO V2, 72 satélites no OSG del sistema LEO V1 y 32 satélites no OSG del sistema LEO V3 con intervalos de tiempo de 1 s. En las simulaciones, el nivel de interferencia,  $I$ , calculado se basó en el ángulo acimutal de caso más desfavorable de los sistemas LEO V2 y LEO V3. Dicho acimut se eligió de manera que se asegurase que el satélite no OSG pasaba a través del haz principal causando interferencia en línea en el receptor del servicio fijo.

#### 4.2.1 Interferencia causada por el sistema LEO V2 al receptor del servicio fijo punto a punto

En esta simulación, el contorno de dfp de  $-115/-105$  dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)) se aplicó a todos los satélites no OSG del sistema LEO V2. Se supuso que este sistema funcionaba hasta con ángulos de elevación de 0°. Se supuso además que los terminales de tierra del SFS no OSG con varias antenas, o más de un usuario del SFS no OSG, se comunicaban con todos los satélites del SFS no OSG a la vista y utilizaban la misma frecuencia. Los resultados aparecen en la Fig. 1.

FIGURA 1

Porcentaje de tiempo en que se rebasa el valor de la relación  $I/N$  en el receptor del servicio fijo para el acimut de caso más desfavorable ( $G_{SF} = 44$  dBi, Recomendación UIT-R F.699, factor de ruido = 8 dB)



Ángulo de elevación del servicio fijo:

- — — — — 5°
- — — — — 15°
- ..... 25°
- - - - - 30°
- · - · - · 35°
- 60°

1484-01

Cada criterio se considera con respecto a los anteriores resultados:

Criterio C1 (a largo plazo): El criterio se satisface en todos los casos.

Criterio C2 (a corto plazo): El criterio se satisface para ángulos de elevación inferiores a unos 15°.

Criterio C3 (a corto plazo): El criterio se satisface para ángulos de elevación inferiores a unos 15°.

Criterio C4 (a corto plazo): El criterio se satisface en todos los casos.

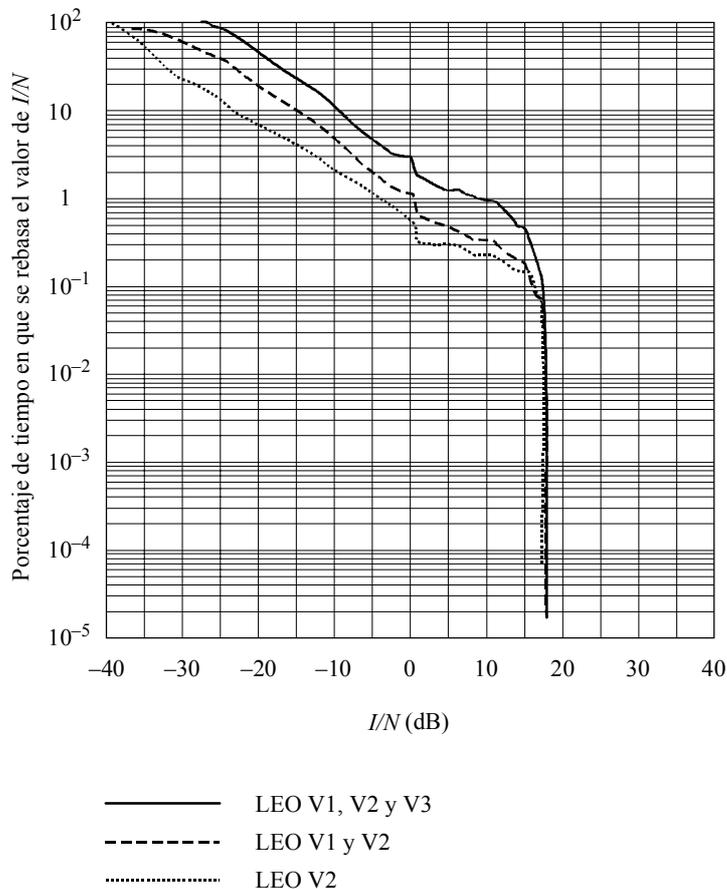
Criterio C5 (a corto plazo): El criterio se satisface para ángulos de elevación inferiores a unos 10°.

#### 4.2.2 Interferencia causada por tres sistemas del SFS no OSG a un receptor del servicio fijo punto a punto

Este caso analiza las contribuciones de un solo sistema y de varios sistemas (dos y tres) de satélites no OSG a la relación  $I/N$  de un receptor del servicio fijo. Se utiliza el diagrama de radiación de la antena del servicio fijo que aparece en la Recomendación UIT-R F.1245 y se considera un ángulo de elevación de 30°. Los resultados se representan en la Fig. 2, que muestra la distribución acumulativa de la relación  $I/N$ , en el receptor del servicio fijo con un factor de ruido de 8 dB.

FIGURA 2

Porcentaje de tiempo en que se rebasa el valor de la relación  $I/N$  en el receptor del servicio fijo para el acimut de caso más desfavorable (los diagramas de la antena del servicio fijo son los de la Recomendación UIT-R F.1245; factor de ruido = 8 dB,  $G_{SF} = 44$  dBi, ángulo de elevación =  $30^\circ$ )



1484-02

Cada criterio se considera con respecto a los resultados que aparecen en la Fig. 2:

- Criterio C1 (a largo plazo): El criterio se satisface.  
 Criterio C2 (a corto plazo): El criterio se rebasa unos 9 dB.  
 Criterio C3 (a corto plazo): El criterio se rebasa unos 5 dB.  
 Criterio C4 (a corto plazo): El criterio se satisface.  
 Criterio C5 (a corto plazo): El criterio se rebasa unos 13 dB.

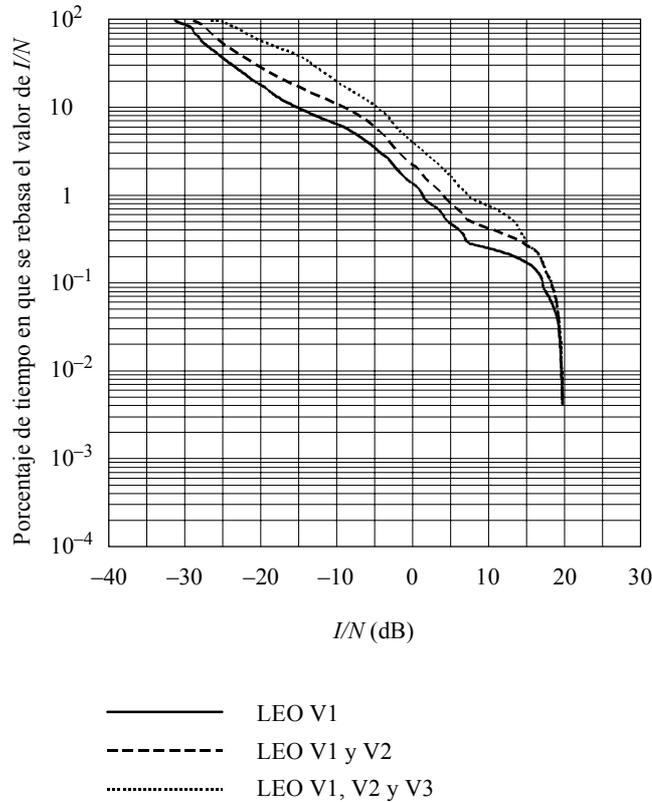
#### 4.2.3 Interferencia causada por tres sistemas del SFS no OSG a un receptor del servicio fijo punto a punto

Este caso también analiza las contribuciones de un solo sistema y de varios sistemas de satélites no OSG (dos y tres) a la relación  $I/N$  de un receptor del servicio fijo. Se utiliza el diagrama de radiación de la antena del servicio fijo que figura en la Recomendación UIT-R F.699 y se considera un ángulo de elevación del servicio fijo de  $30^\circ$ . Los resultados se muestran en la Fig. 3, que representa la distribución acumulativa de la relación,  $I/N$ , en el receptor del servicio fijo con un factor de ruido de 6 dB.

Cada criterio se considera con respecto a los resultados mostrados en la Fig. 3.

FIGURA 3

Porcentaje de tiempo en que se rebasa el valor de la relación  $I/N$  en el receptor del servicio fijo para el acimut de caso más desfavorable (los diagramas de la antena del servicio fijo son los de la Recomendación UIT-R F.699;  $G_{SF} = 44$  dBi, factor de ruido = 6 dB; ángulo de elevación =  $30^\circ$ )



1484-03

Cada criterio se compara con los resultados mostrados en la Fig. 3.

Criterio C1 (a largo plazo): El criterio se satisface.

Criterio C2 (a corto plazo): El criterio se rebasa unos 11 dB.

Criterio C3 (a corto plazo): El criterio se rebasa unos 7 dB.

Criterio C4 (a corto plazo): El criterio se satisface.

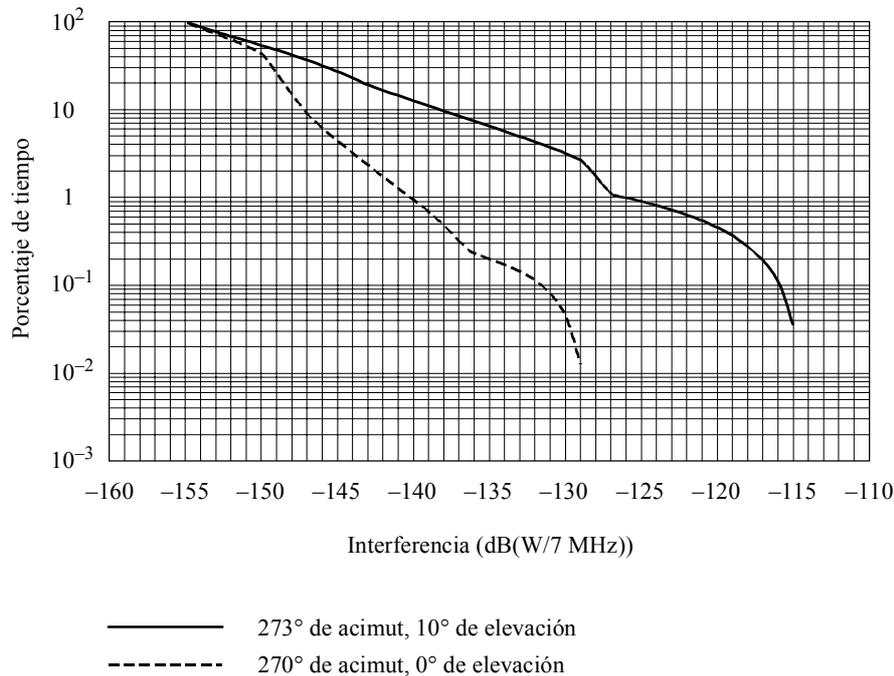
Criterio C5 (a corto plazo): El criterio se rebasa unos 15 dB.

#### 4.2.4 Interferencia causada por un sistema LEO V1 a un receptor del servicio fijo punto a punto

En este ejemplo, se determina la interferencia provocada por el sistema LEO V1 a un receptor del servicio fijo punto a punto. El receptor del servicio fijo se encuentra en una latitud de  $52^\circ$  N y se consideran ángulos de elevación de  $0^\circ$  y  $10^\circ$ , con un diagrama de antena como el de la Recomendación UIT-R F.699 y una ganancia máxima de 45 dBi. Los resultados se representan en la Fig. 4 y la potencia de interferencia se refiere a una anchura de banda de referencia de 7 MHz.

FIGURA 4

**Discriminación acumulativa de la interferencia provocada por un sistema LEO V1 a un receptor del servicio fijo punto a punto ( $G_{SF} = 45$  dBi; factor de ruido = 7 dB; Recomendación UIT-R F.699)**



1484-04

Cada criterio se compara con los resultados mostrados en la citada Fig. 4.

Todos los criterios para el caso de un ángulo de elevación de 0° se satisfacen. Para el caso de un ángulo de elevación de 10°, cada criterio se considera con respecto a los resultados mostrados en la Fig. 4 (para un sistema del servicio fijo con un factor de ruido de 7 dB).

	Criterio de la potencia interferente con referencia a una anchura de banda de 7 MHz	
Criterio C1 (a largo plazo)	-138,5 (20% del tiempo)	El criterio se satisface
Criterio C2 (a corto plazo)	-119,5 (0,01% del tiempo)	El criterio se rebasa unos 5 dB
Criterio C3 (a corto plazo)	-115,5 (0,0003% del tiempo)	El criterio se satisface
Criterio C4 (a corto plazo)	-108,5 (0,001% del tiempo)	El criterio se satisface
Criterio C5 (a corto plazo)	-123,5 (0,012% del tiempo)	El criterio se rebasa unos 8 dB

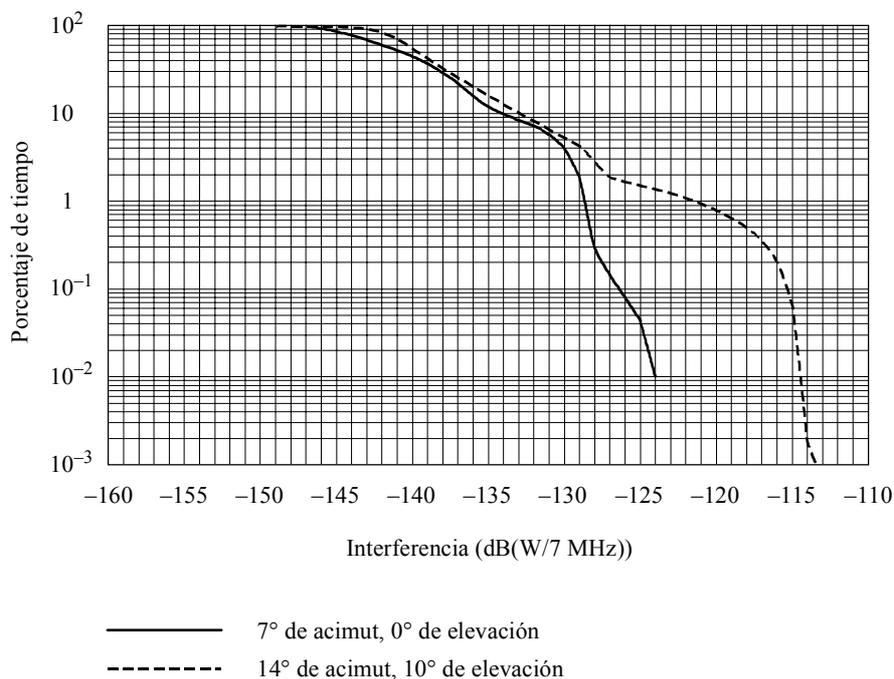
Los criterios C2 y C5 se rebasan 5 dB y 8 dB, respectivamente. Sin embargo, la ventaja de la polarización no se ha considerado en esta simulación. Sustrayendo la ventaja de 3 dB que se obtiene por polarización y ajustando los resultados para una antena de 44 dBi de ganancia, los criterios se rebasan aproximadamente 1 dB y 4 dB, respectivamente.

#### 4.2.5 Interferencia causada por 288 satélites de una constelación de satélites no OSG

Para considerar el efecto de los sistemas del SFS no OSG con grandes constelaciones de satélites, mediante otra simulación se estudió la interferencia causada por una constelación de 288 satélites. Se consideraron unos ángulos de elevación del receptor del enlace del servicio fijo punto a punto de 0° y 10°. Se utilizó el diagrama de radiación de antena de la antena del servicio fijo que figura en la Recomendación UIT-R F.699. Los resultados se representan en la Fig. 5.

FIGURA 5

**Interferencia causada por 288 satélites de una constelación de satélites no OSG a un receptor del servicio fijo ( $G_{SF} = 45$  dBi; Recomendación UIT-R F.699; factor de ruido = 7 dB)**



1484-05

Para el caso del ángulo de elevación de 10°, cada criterio se consideró con respecto a los resultados mostrados en la Fig. 5 (para un sistema del servicio fijo con un factor de ruido de 7 dB).

	Criterio de la potencia interferente con referencia a una anchura de banda de 7 MHz	
Criterio C1 (a largo plazo)	-138,5 (20% del tiempo)	Se rebasa unos 2 dB
Criterio C2 (a corto plazo)	-119,5 (0,01% del tiempo)	Se rebasa unos 5 dB
Criterio C3 (a corto plazo)	-115,5 (0,0003% del tiempo)	El criterio se satisface
Criterio C4 (a corto plazo)	-108,5 (0,001% del tiempo)	El criterio se satisface
Criterio C5 (a corto plazo)	-123,5 (0,012% del tiempo)	Se rebasa unos 8 dB

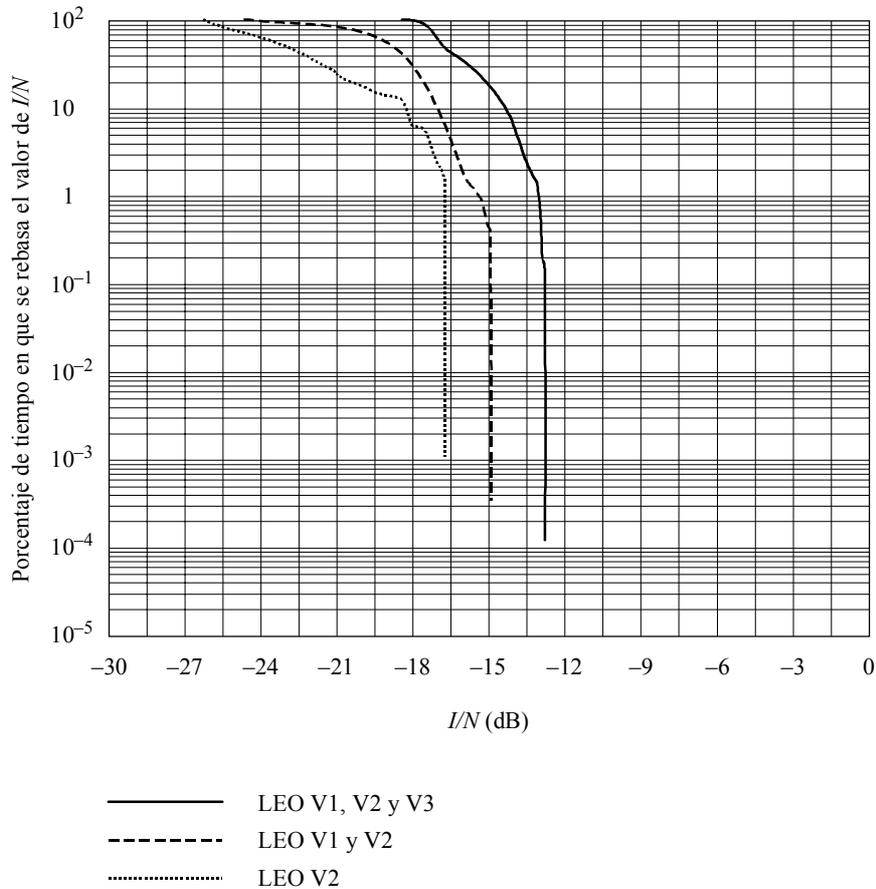
**4.2.6 Posible interferencia causada por tres sistemas del SFS no OSG a los receptores del servicio fijo punto a multipunto**

La Fig. 6 muestra la distribución acumulativa de la relación  $I/N$ , causada a los receptores de estaciones centrales del servicio fijo por un solo sistema del SFS no OSG, por dos sistemas del SFS no OSG y por tres sistemas del SFS no OSG. En la interferencia de caso más desfavorable, la relación  $I/N$  en el receptor del servicio fijo es inferior a -13 dB. Si se utiliza un factor de ruido del receptor del servicio fijo de 6 dB, la relación  $I/N$  de caso más desfavorable es aún inferior a -12 dB, valor muy por debajo del criterio de interferencia del servicio fijo provisional.

Por regla general, el ángulo de elevación de los receptores de las estaciones centrales del servicio fijo punto a multipunto es menor de 0° (inclinación hacia abajo). Por lo tanto, los niveles de interferencia real en el receptor son muy inferiores a los que aparecen en la Fig. 6, en la cual todos los criterios se satisfacen.

FIGURA 6

Porcentaje de tiempo en que se rebasa el valor de la relación  $I/N$  en el receptor de la estación central del servicio fijo debido a 1, 2 y 3 sistemas del SFS no OSG ( $G_{SF} = 45$  dBi; Recomendación UIT-R F.1245)



1484-06

La susceptibilidad a la interferencia de las estaciones de abonado punto a multipunto considerada en esta simulación se supone igual a la de las estaciones punto a punto pues las características de los equipos son similares. Por consiguiente, la simulación del § 4.2.1 también se aplica a los receptores de abonado punto a multipunto.

## 5 Conclusiones

Los actuales límites de dfp ( $-115/-105$  dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz))) aplicados a los sistemas del SFS no OSG son adecuados para proteger los sistemas del servicio fijo que funcionan en la banda 37,5-40,5 GHz con un margen de desvanecimiento superior a 20 dB, basándose en una antena de alta ganancia (44 dBi).

Debido a la baja ganancia de la antena, los actuales límites de dfp son adecuados para proteger las estaciones centrales punto a multipunto, incluso con márgenes de desvanecimiento bajos.

En el caso de sistemas del servicio fijo punto a punto con un margen de desvanecimiento de 14 dB y antenas de alta ganancia, los actuales límites de dfp protegen únicamente al servicio fijo cuando éste funciona con un ángulo de elevación inferior a 15°.

Para los sistemas del servicio fijo punto a punto con un margen de desvanecimiento de 10 dB y antena de alta ganancia, los actuales límites de dfp sólo protegen a los receptores que funcionan con ángulos de elevación bajos (inferiores a 10°). Haciendo 5 dB más estrictos los límites de dfp para ángulo de llegada bajo (a  $-120/-105$  dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz))) se protegerían la mayoría de los enlaces del servicio fijo con margen de desvanecimiento de 10 dB y ángulos de elevación altos ( $\geq 10^\circ$ ) y además no se impondrían restricciones excesivas a los sistemas del SFS no OSG.

Los siguientes niveles máximos de  $d_{fp}$  proporcionarían un equilibrio aceptable entre la necesidad de proteger a los sistemas del servicio fijo y la obligación de no restringir excesivamente a los sistemas del SFS no OSG (véase la Nota 1):

-120	dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz))	para	$\theta \leq 5^\circ$
$-120 + 0,75(\theta - 5)$	dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz))	para	$5^\circ < \theta \leq 25^\circ$
-105	dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz))	para	$25^\circ < \theta \leq 90^\circ$

Sin embargo, en el caso de sistemas del SFS no OSG con constelaciones de satélites de gran tamaño (por ejemplo, más de 80 satélites), algunos estudios previos han demostrado que los sistemas del servicio fijo pueden requerir protección adicional.

NOTA 1 – Algunos sistemas del servicio fijo que emplean márgenes de desvanecimiento netos pequeños y que funcionan con ángulos de elevación superiores a 10° podrían no estar plenamente protegidos de la interferencia de los sistemas del SFS, sin restringir excesivamente esos sistemas del SFS.

## ANEXO 2

### Posible interferencia causada por sistemas del SFS no OSG a sistemas del servicio fijo en la banda 40,5-42,5 GHz

#### 1 Introducción

Este Anexo presenta la posible interferencia causada por sistemas del SFS no OSG a sistemas del servicio fijo en la banda 40,5-42,5 GHz.

#### 2 Características técnicas entre los sistemas del SFS no OSG

En el Cuadro 2 aparecen los parámetros de los sistemas LEO V2 y LEO V4.

CUADRO 2

Parámetros orbitales de los sistemas de satélites no geoestacionarios

Parámetros	LEO V2	LEO V4
Número de satélites	15	99
Número de planos orbitales	3	11
Número de satélites por plano	5	9
Altitud (km)	10 355	1 600
Ángulo de inclinación (grados)	50	55
Periodo de la órbita	6 h	No disponible

Además, se han realizado estudios para determinar la interferencia causada por grandes constelaciones de sistemas de satélites no OSG. Se han llevado a cabo simulaciones utilizando una constelación de 288 satélites.

#### 3 Parámetros del sistema del servicio fijo y criterios de interferencia

##### 3.1 Parámetros del servicio fijo

En los análisis se utilizaron las siguientes características del sistema del servicio fijo.

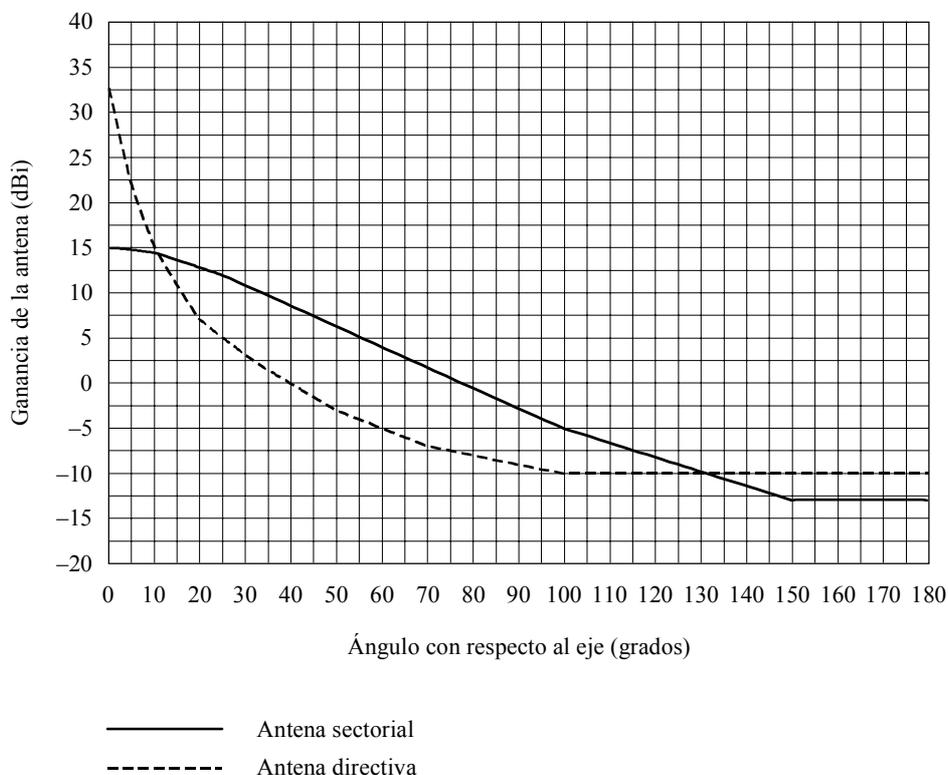
- Sistemas del servicio fijo con antenas directivas:
  - ganancia de la antena directiva del servicio fijo: 33 dBi;

- factor de ruido del receptor: 7 dB y 8 dB;
- ángulo de elevación del servicio fijo: 0° a 60°;
- ángulo acimutal del servicio fijo: simulaciones basadas en el acimut de caso más favorable.
- Sistemas del servicio fijo con antenas sectoriales:
  - ganancia de la antena del receptor del servicio fijo: 15 dBi;
  - anchura de haz a 3 dB: 60° en el plano acimutal, 18° en el plano de elevación;
  - ángulo de elevación de la antena del servicio fijo: 0° a 20°;
  - temperatura de ruido del receptor: 1 740 K.

En la Fig. 7 aparecen los diagramas de radiación de la antena.

FIGURA 7

Envolventes del diagrama de radiación de la antena del servicio fijo



1484-07

Los márgenes de desvanecimiento del enlace varían de 10 dB a 30 dB. Para los enlaces de red a abonado puede suponerse un margen entre 10 dB y 30 dB. Sin embargo, en el trayecto de retorno del usuario final a la estación central puede utilizarse control automático de potencia transmitida (CAPT).

## 3.2 Criterios de interferencia

### 3.2.1 Criterio a largo plazo

El criterio de la relación  $I/N$  a largo plazo para la interferencia combinada causada por las estaciones espaciales del SFS a sistemas del servicio fijo es:

Criterio C1:  $I/N$  no debe rebasar el valor de -10 dB durante más del 20% del tiempo.

### 3.2.2 Criterio a corto plazo

Se ha considerado la siguiente gama de criterios de la relación  $I/N$  combinada a corto plazo:

Criterio C2:  $I/N$  no debe rebasar el valor de 9 dB durante más del 0,01% del tiempo.

Criterio C3:  $I/N$  no debe rebasar el valor de 3 dB durante más del 0,0003% del tiempo.

Los anteriores criterios a corto plazo se basan en un margen de desvanecimiento supuesto de 14 dB. Para sistemas del servicio fijo con un margen de desvanecimiento más elevado pueden utilizarse criterios a corto plazo menos estrictos.

Para sistemas del servicio fijo con un margen de desvanecimiento superior a 20 dB, es aceptable el siguiente criterio a corto plazo:

Criterio C4:  $I/N$  no debe rebasar el valor de 20 dB durante más del 0,001% del tiempo.

Para sistemas del servicio fijo que funcionan con un margen de desvanecimiento inferior a 14 dB, el criterio a corto plazo debe ser más estricto.

Para sistemas del servicio fijo con un mínimo margen de desvanecimiento de 10 dB, el límite de interferencia debe determinarse por el siguiente criterio:

Criterio C5:  $I/N$  no debe rebasar el valor de 5 dB durante más del 0,012% del tiempo.

Para la interferencia a corto plazo en antenas sectoriales del servicio fijo, se supone que el desvanecimiento de las señales deseadas e interferente puede estar correlado y puede aplicarse CAPT a la señal deseada. Por lo tanto, no puede suponerse ningún margen de desvanecimiento y el límite de la interferencia a corto plazo es consecuentemente el mismo que el límite a largo plazo, es decir:

Criterio C6:  $I/N$  no debe rebasar el valor de -10 dB durante más del 0,06% del tiempo.

## 4 Interferencia causada por sistemas del SFS no OSG a los receptores del servicio fijo

### 4.1 Análisis de interferencia

La relación  $I/N$  en el receptor del servicio fijo puede calcularse de la forma siguiente:

$$\frac{I}{N} \text{ (dB)} = 10 \log \left( \sum_{i=1}^n 10^{\left( \frac{dfp_i + G_{SF}(\alpha_i)}{10} \right)} \right) - 10 \log \left( \frac{4\pi}{\lambda^2} \right) - 60 - L_{atm} - N_0 - L_{pol}$$

siendo:

- $n$ : número total de satélites en la constelación de satélites no OSG del SFS
- $dfp_i$ : densidad de flujo de potencia (dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz))) producida por el satélite  $i$ -ésimo
- $G_{SF}(\alpha)$ : ganancia de la antena receptora del servicio fijo en dirección del satélite no OSG del SFS
- $L_{atm}$ : pérdidas atmosféricas
- $N_0$ : densidad de ruido térmico (dB(W/Hz))
- $L_{pol}$ : aislamiento por polarización.

En las simulaciones, se supone que cada sistema del SFS no OSG funciona con unos niveles de densidad de flujo de potencia de -115/-105 dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)) hasta ángulos de elevación de 0°. Además, se supone también que el receptor del servicio fijo es víctima de múltiples fuentes de interferencia procedente de todos los satélites a la vista en un instante determinado.

Para frecuencias por encima de 20 GHz, la atenuación debida a los gases atmosféricos cada vez es más significativa. Dicha atenuación se considera en la Recomendación UIT-R SF.1395 que define la siguiente fórmula para la atenuación a 40,5 GHz en latitudes superiores a 45°:

$$A = 18,92 / \left[ 1 + 0,6577\theta + 0,04678\theta^2 - 0,001484\theta^3 + 0,1139 \times 10^{-4} \theta^4 + h(0,22 + 0,2811\theta) + 0,06507h^2 \right]$$

siendo:

- $h$ : altitud de la antena sobre el nivel del mar (km)
- $\theta$ : ángulo de elevación por encima del horizonte (grados).

Los sistemas del servicio fijo pueden utilizar polarización lineal o circular y se supone que los sistemas del SFS emplearán únicamente polarización circular. Por lo tanto, si se supone polarización lineal para el servicio fijo, el aislamiento es de 3 dB y si se supone polarización circular para el servicio fijo, el aislamiento por polarización varía de 0 dB a 30 dB. El aislamiento por polarización puede suponerse únicamente para el acoplamiento del haz principal.

## 4.2 Resultados de la simulación

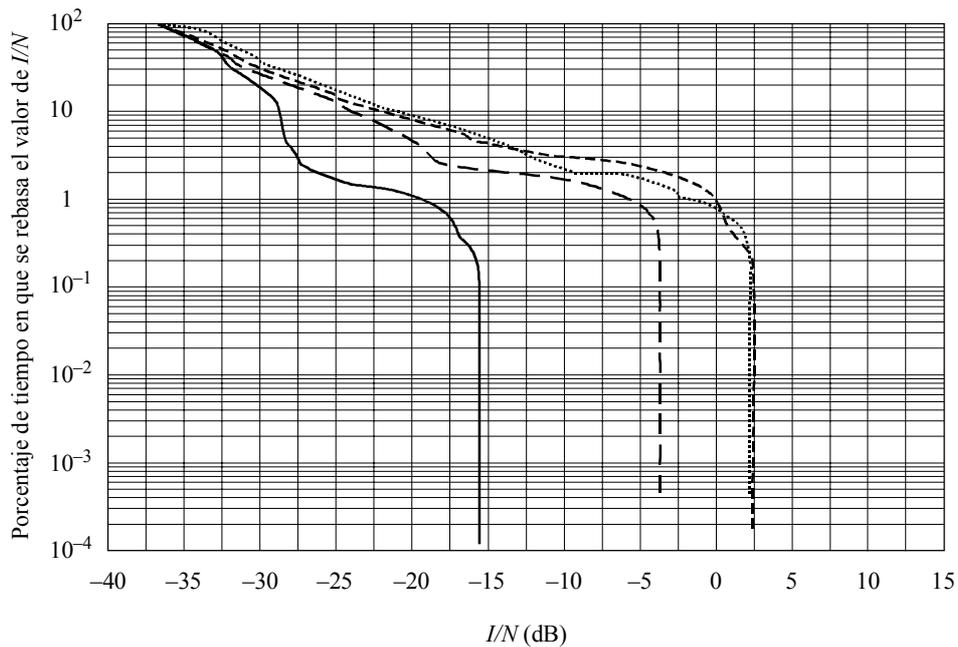
Se han realizado simulaciones para los sistemas LEO V2 y LEO V4. Se eligió el acimut de caso más desfavorable para asegurar que el satélite no OSG pasaba a través del haz principal provocando interferencia en línea al receptor del servicio fijo.

### 4.2.1 Interferencia causada por el sistema LEO V2 al receptor del servicio fijo con una ganancia de antena de 33 dBi

En esta simulación, se aplicó un contorno de dfp de  $-115/-105$  dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)) a todos los satélites no OSG del sistema LEO V2. Se supuso que dicho sistema funcionaba con ángulos de elevación de hasta 0° y se supuso igualmente que el terminal de tierra del SFS no OSG con múltiples antenas, o más de un usuario del SFS no OSG, se comunicaba con todos los satélites del SFS no OSG a la vista y utilizaba la misma frecuencia. Cuando se produjo alineamiento entre los ejes de puntería se supuso un aislamiento por polarización de 3 dB. Los resultados se muestran en la Fig. 8.

FIGURA 8

Porcentaje de tiempo en que se rebasa el valor de la relación  $I/N$  en el receptor del servicio fijo para el acimut de caso más desfavorable (aislamiento por polarización = 3 dB)



Ángulo de elevación:

- 0°
- - - 10°
- · - · 20°
- 60°

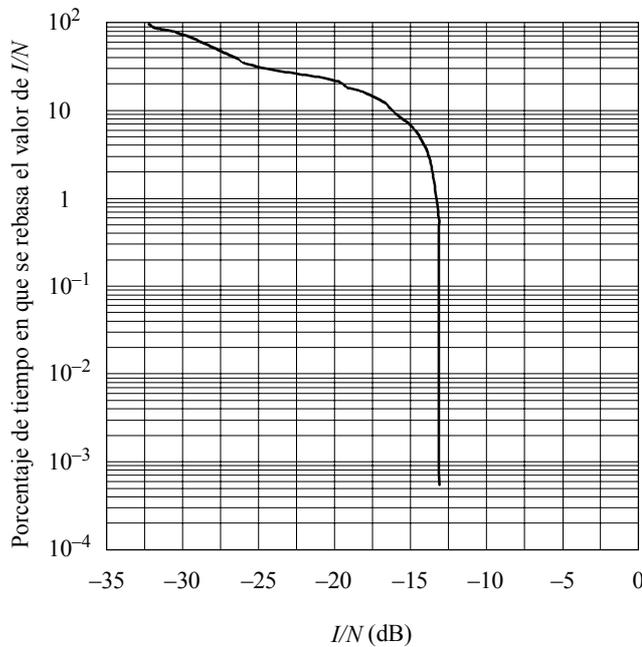
1484-08

En este caso, se satisfacen todos los criterios pertinentes.

**4.2.2 Interferencia causada por un sistema LEO V2 a un receptor del servicio fijo con antena sectorial**

La Fig. 9 muestra la distribución acumulativa de la interferencia causada por la constelación de satélites del sistema LEO V2 a una antena del receptor del servicio fijo. Se supone un ángulo de elevación de la antena del servicio fijo de 20° y un factor de ruido de 10 dB.

FIGURA 9  
**Porcentaje de tiempo en que se rebasa el valor de la relación  $I/N$  en el receptor del servicio fijo para el acimut de caso más desfavorable (ganancia de la antena = 15 dB; factor de ruido = 10 dB; aislamiento por polarización = 3 dB; ángulo de elevación = 20°)**



1484-09

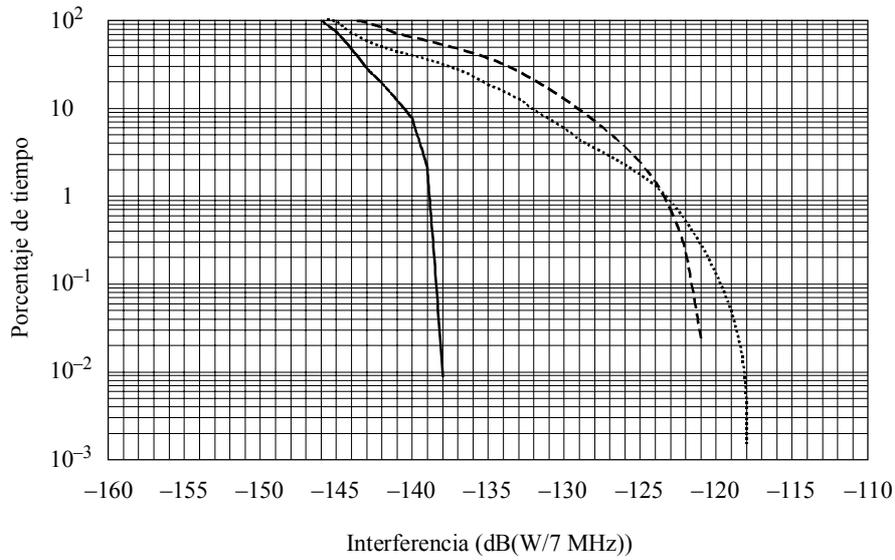
En este ejemplo se satisfacen todos los criterios pertinentes.

**4.2.3 Interferencia causada por un sistema LEO V4 a un receptor directivo del servicio fijo**

La Fig. 10 muestra la distribución acumulativa de la interferencia causada por el sistema LEO V4 a un receptor del servicio fijo para ángulos de elevación de 0°, 20° y 60°.

FIGURA 10

**Interferencia causada por un sistema LEO V4 a un receptor del servicio fijo con antena directiva (aislamiento por polarización = 0 dB)**



Ángulo de elevación:

- 0°
- - - 20°
- ..... 60°

1484-10

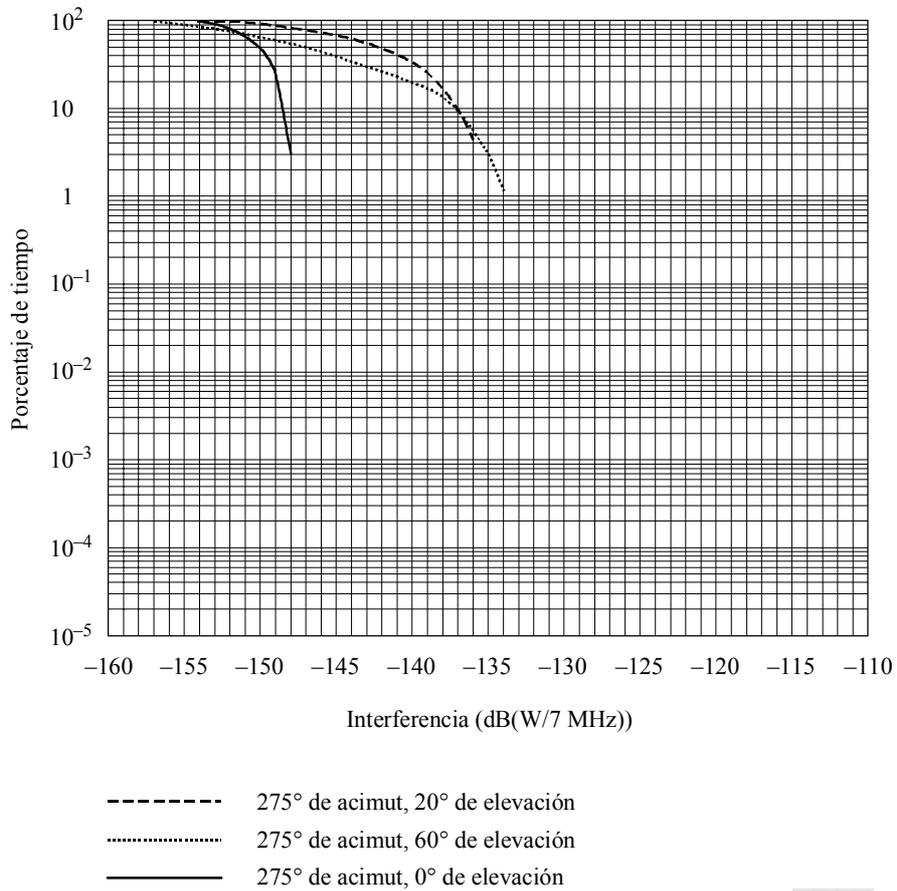
Cada criterio se considera con respecto a los resultados mostrados en la Fig. 10 para un receptor con un factor de ruido supuesto de 8 dB.

	Criterio de potencia de interferencia con referencia a una anchura de banda de 7 MHz	Ángulo de elevación de 0°	Ángulo de elevación de 20°	Ángulo de elevación de 60°
Criterio C1 (a largo plazo)	-137,5 (20% del tiempo)	El criterio se satisface	Se rebasa unos 5 dB	Se rebasa unos 2 dB
Criterio C2 (a corto plazo)	-118,5 (0,01% del tiempo)	El criterio se satisface	El criterio se satisface	El criterio se satisface
Criterio C3 (a corto plazo)	-114,5 (0,0003% del tiempo)	El criterio se satisface	El criterio se satisface	El criterio se satisface
Criterio C4 (a corto plazo)	-107,5 (0,001% del tiempo)	El criterio se satisface	El criterio se satisface	El criterio se satisface
Criterio C5 (a corto plazo)	-122,5 (0,012% del tiempo)	El criterio se satisface	Se rebasa aproximadamente 1 dB	Se rebasa unos 2 dB

**4.2.4 Interferencia causada por una constelación de satélites no OSG del sistema LEO V4 del SFS a un receptor del servicio fijo con una antena sectorial**

La Fig. 11 muestra la distribución acumulativa de la interferencia causada por una constelación de satélites LEO V4 a un receptor del servicio fijo con una antena sectorial.

**FIGURA 11**  
**Interferencia causada por una constelación de satélites no OSG del sistema LEO V4 del SFS a un receptor del servicio fijo con antena sectorial (aislamiento por polarización = 0 dB)**

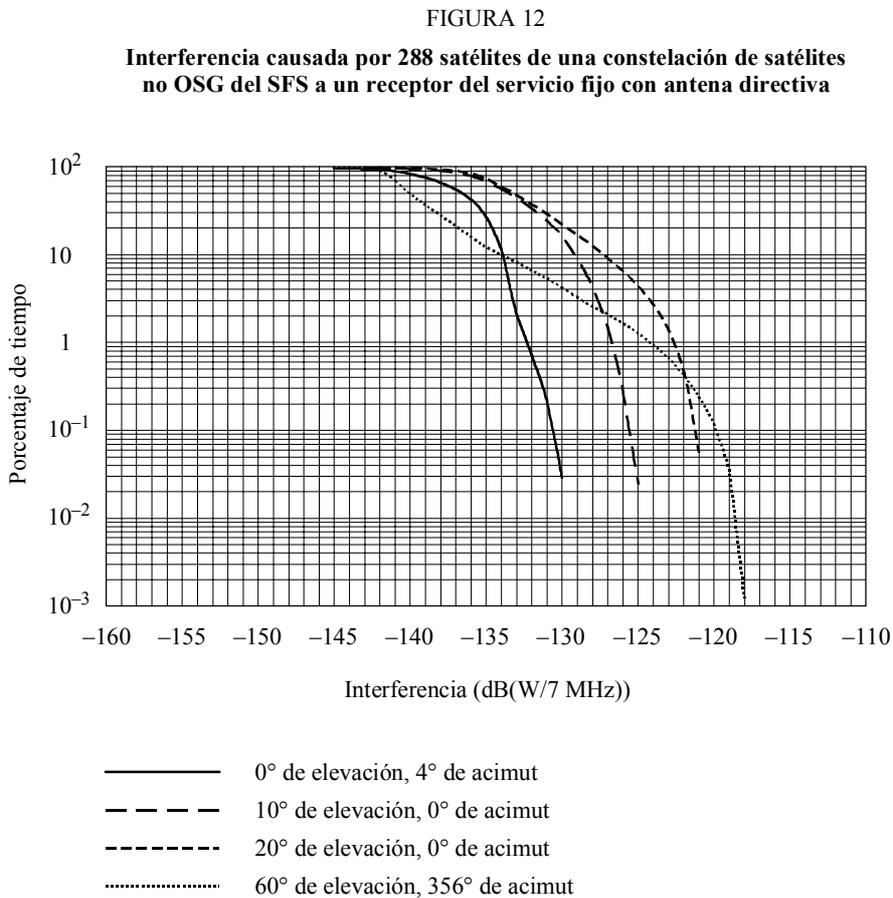


Cada criterio se considera con respecto a los resultados mostrados en la Fig. 11 para un receptor con un factor de ruido supuesto de 8 dB.

	Criterio de potencia de interferencia con referencia a una anchura de banda de 7 MHz	Ángulo de elevación de 0°	Ángulo de elevación de 20°	Ángulo de elevación de 60°
Criterio C1 (a largo plazo)	-137,5 (20% del tiempo)	El criterio se satisface	El criterio se satisface	El criterio se satisface
Criterio C2 (a corto plazo)	-118,5 (0,01% del tiempo)	El criterio se satisface	El criterio se satisface	El criterio se satisface
Criterio C3 (a corto plazo)	-114,5 (0,0003% del tiempo)	El criterio se satisface	El criterio se satisface	El criterio se satisface
Criterio C4 (a corto plazo)	-107,5 (0,001% del tiempo)	El criterio se satisface	El criterio se satisface	El criterio se satisface
Criterio C5 (a corto plazo)	-122,5 (0,012% del tiempo)	El criterio se satisface	El criterio se satisface	El criterio se satisface
Criterio C6 (a corto plazo)	-137,5 (0,012% del tiempo)	El criterio se satisface	Se rebasa aproximadamente 1 dB	Se rebasa unos 3 dB

**4.2.5 Interferencia causada por 288 satélites de una constelación de satélites no OSG del SFS a un receptor del servicio fijo con antena directiva**

La Fig. 12 muestra la distribución acumulativa de la interferencia causada por 288 satélites de una constelación en un receptor del servicio fijo con antena directiva para un ángulo de elevación comprendido entre 0° y 60°.

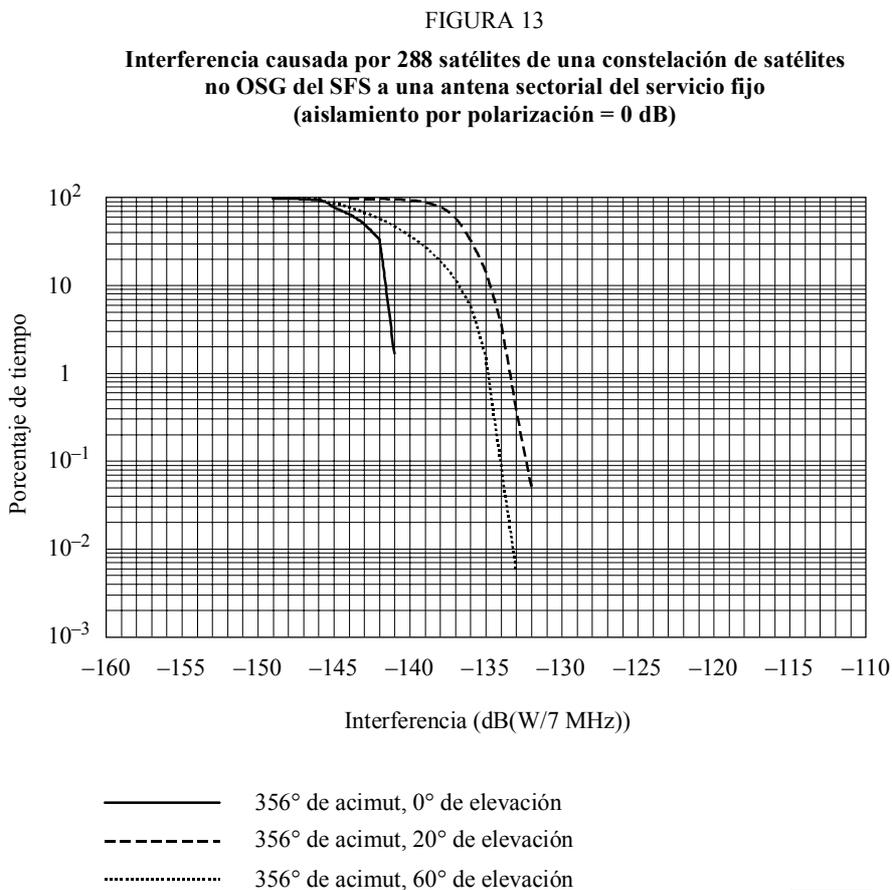


Cada criterio se considera con respecto a los resultados mostrados en la Fig. 12 para un receptor con un factor de ruido supuesto de 8 dB.

	Criterio de potencia de interferencia con referencia a una anchura de banda de 7 MHz	Ángulo de elevación de 0°	Ángulo de elevación de 10°	Ángulo de elevación de 20°	Ángulo de elevación de 60°
Criterio C1 (a largo plazo)	-137,5 (20% del tiempo)	Se rebasa unos 3 dB	Se rebasa unos 7 dB	Se rebasa unos 7,5 dB	Se rebasa aprox. 1 dB
Criterio C2 (a corto plazo)	-118,5 (0,01% del tiempo)	Se satisface	Se satisface	Se satisface	Se satisface
Criterio C3 (a corto plazo)	-114,5 (0,0003% del tiempo)	Se satisface	Se satisface	Se satisface	Se satisface
Criterio C4 (a corto plazo)	-107,5 (0,001% del tiempo)	Se satisface	Se satisface	Se satisface	Se satisface
Criterio C5 (a corto plazo)	-122,5 (0,012% del tiempo)	Se satisface	Se satisface	Se rebasa aprox. 1 dB	Se rebasa unos 3,5 dB

**4.2.6 Interferencia causada por 288 satélites de una constelación de satélites no OSG del SFS a un receptor del servicio fijo con antena sectorial**

La Fig. 13 muestra la interferencia causada por 288 satélites de una constelación de satélites no OSG del SFS a una antena sectorial del servicio fijo.



Cada criterio se considera con respecto a los resultados mostrados en la Fig. 13 para un receptor con un factor de ruido supuesto de 8 dB.

	Criterio de potencia de interferencia con referencia a una anchura de banda de 7 MHz	Ángulo de elevación de 0°	Ángulo de elevación de 20°	Ángulo de elevación de 60°
Criterio C1 (a largo plazo)	-137,5 (20% del tiempo)	Se satisface	Se rebasa unos 2 dB	Se satisface
Criterio C2 (a corto plazo)	-118,5 (0,01% del tiempo)	Se satisface	Se satisface	Se satisface
Criterio C3 (a corto plazo)	-114,5 (0,0003% del tiempo)	Se satisface	Se satisface	Se satisface
Criterio C4 (a corto plazo)	-107,5 (0,001% del tiempo)	Se satisface	Se satisface	Se satisface
Criterio C5 (a corto plazo)	-122,5 (0,012% del tiempo)	Se satisface	Se satisface	Se satisface
Criterio C6 (a corto plazo)	-137,5 (0,012% del tiempo)	Se satisface	Se rebasa unos 5,5 dB	Se rebasa unos 4,5 dB

## 5 Conclusiones

Se han examinado los siguientes niveles de dfp a fin de determinar su idoneidad para proteger sistemas del servicio fijo en la banda 40,5-42,5 GHz:

-115	dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz))	para	$\theta \leq 5^\circ$
-115 + 0.5( $\theta - 5$ )	dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz))	para	$5^\circ < \theta \leq 25^\circ$
-105	dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz))	para	$25^\circ < \theta \leq 90^\circ$

Cuando se considera la interferencia causada por un sistema del SFS no OSG LEO V2 a las antenas directivas y sectoriales, se satisfacen todos los criterios pertinentes.

Cuando se considera la interferencia causada por un sistema del SFS no OSG LEO V4 a las antenas directivas y sectoriales, se satisfacen todos los criterios cuando el ángulo de elevación de la antena es de 0°. Cuando los ángulos de elevación de la antena directiva son de 20° y de 60°, el criterio de interferencia a largo plazo C1 se rebasa de 2 a 5 dB y el criterio de interferencia a corto plazo C6 se rebasa en 1 ó 2 dB. Con respecto al criterio de interferencia a corto plazo, la interferencia puede ser tolerable debido a que en la mayoría de las circunstancias los receptores del servicio fijo con ángulos de elevación altos tendrán márgenes de desvanecimiento mayores. Con respecto al criterio C1 a corto plazo, la interferencia será tolerable porque en la mayoría de las circunstancias los receptores del servicio fijo con ángulos de elevación altos tendrán mayores niveles de C/N a largo plazo que los receptores situados en el borde de la zona de servicio.

Cuando se considera la interferencia causada por un sistema del SFS no OSG LEO V4 a una antena sectorial del servicio fijo, el criterio a corto plazo C6 se rebasa en 1 dB y 3 dB para ángulos de elevación de 20° y 60°, respectivamente. La interferencia será tolerable porque en la práctica habrá un margen adicional debido a la longitud del trayecto más corto.

Para sistemas del SFS no OSG con constelaciones de satélites de gran tamaño (es decir, más de 99 satélites), algunos estudios previos han demostrado que el servicio fijo puede necesitar más protección.

Los anteriores límites de dfp aplicados a los sistemas del SFS no OSG son adecuados para proteger a los sistemas del servicio fijo del tipo presentado en el § 3.1 de este Anexo 2.