

## RECOMENDACIÓN UIT-R S.1781

**Posible metodología para la compartición de frecuencias entre redes de satélites geostacionarios del servicio fijo por satélite bidireccionales que comprenden estaciones terrenas con instalación masiva**

(Cuestión UIT-R 209/4)

(2007)

**Cometido**

Esta Recomendación proporciona una metodología para definir la compatibilidad de frecuencias, basada en una coordinación de zona, entre dos sistemas del servicio fijo por satélite (SFS) cuando uno o ambos implican la existencia de un gran número de terminales en tierra instalados por doquier, y los terminales de un sistema transmiten, mientras que los del otro sistema reciben en las mismas bandas de frecuencia atribuidas bidireccionalmente al SFS.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que existe cada vez más interés creciente en la instalación por doquier de estaciones terrenas del servicio fijo por satélite (SFS) de tipo terminal de apertura muy pequeña (VSAT); es decir, en la instalación y funcionamiento de estaciones terrenas sin licencias individuales, pero bajo la licencia general para el sistema en el que funcionan;
- b) que en tales casos, las ubicaciones exactas de estaciones terrenas concretas no se conocerían en el momento en que se lleve a cabo la coordinación de frecuencias para el sistema;
- c) que la necesidad de instalar un gran número de estaciones terrenas dificultaría su coordinación en cada emplazamiento concreto;
- d) que determinadas bandas de frecuencias en las que dicha instalación sería deseable están atribuidas al SFS bidireccionalmente;
- e) que algunas bandas atribuidas bidireccionalmente al SFS están también sujetas a disposiciones normativas específicas, como por ejemplo las relativas al Plan de adjudicaciones del SFS, o al Plan del Apéndice 30A del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR);
- f) que quizás algunas administraciones opten por un determinado tipo de coordinación de zona en el que las estaciones terrenas del SFS de tipo VSAT pueden funcionar en un único sentido de transmisión;
- g) que en tales casos, como se describe en el *considerando* f), podría ser útil para las administraciones disponer de metodologías para determinar la zona de coordinación general basándose en criterios técnicos propios,

*observando*

- a) que el contorno de coordinación alrededor de la región en la que una administración desea implementar la coordinación de zona podría colindar con otras zonas de coordinación pertenecientes al territorio de la misma administración, o con fronteras internacionales;

b) que las administraciones podrían precisar dar los pasos necesarios para identificar las bandas de frecuencias y las zonas geográficas asociadas en las que se implementaría cualquier método de coordinación que implicase un gran número de terminales funcionando en la misma banda,

*reconociendo*

- a) que las administraciones son libres de adoptar acuerdos bilaterales fuera del ámbito del RR;
- b) que las administraciones son libres de escoger el nivel de protección que van a ofrecer a las estaciones terrenas del SFS de tipo VSAT instaladas en su territorio;
- c) que, en el caso de coordinación internacional, las administraciones tendrían que llegar a un acuerdo sobre las características de las estaciones terrenas y de protección a considerar;
- d) que factores tales como la protección de estaciones terrenas receptora con respecto a estaciones terrenas transmisoras de mayor potencia situadas en el territorio de las administraciones no incluidas en un acuerdo bilateral pueden indicar la conveniencia de inscribir las estaciones terrenas receptoras en la Oficina de Radiocomunicaciones, tanto si forman parte de un acuerdo bilateral como si no;
- e) que para el caso de estaciones terrenas diseñadas para funcionar en bandas atribuidas al SFS con carácter bidireccional sujetas a disposiciones reglamentales específicas, éstas también deben ser tenidas en cuenta por las administraciones al planificar su instalación,

*recomienda*

**1** que las administraciones que tengan la intención de conceder licencias en su territorio, basándose en la coordinación de zona, a estaciones terrenas SFS de tipo VSAT instaladas masivamente que funcionen en bandas atribuidas bidireccionalmente al SFS, consideren la aplicación de las directrices contenidas en el Anexo 1 a la presente Recomendación.

## **Anexo 1**

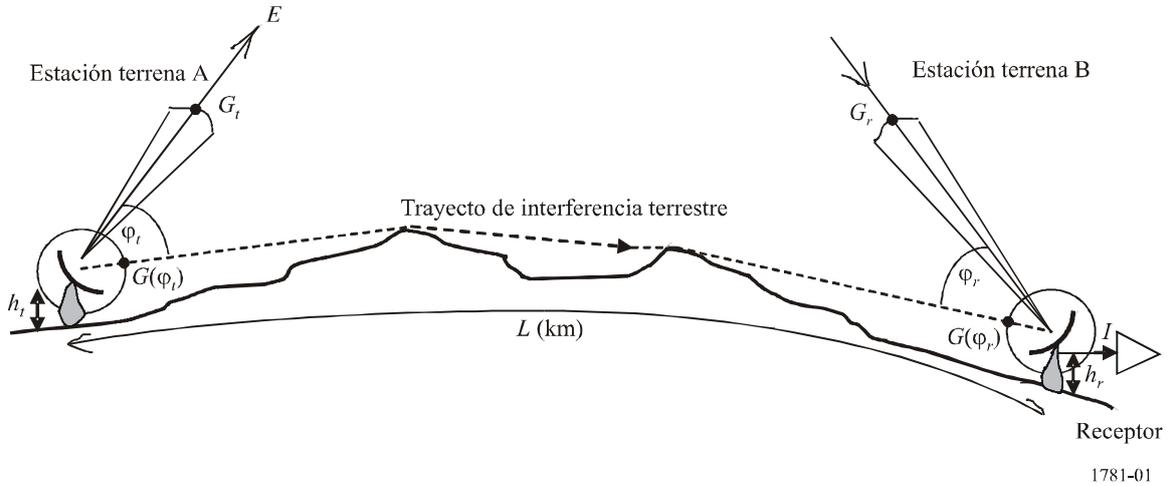
### **1 Introducción**

El Anexo 1 contiene los elementos de una metodología para determinar la compatibilidad de frecuencias entre dos sistemas del SFS cuando uno o ambos constan de un gran número de terminales en tierra instalados por doquier, y los terminales de un sistema están transmitiendo mientras los del otro sistema están recibiendo.

El análisis desarrollado en este Anexo se basa en parámetros de sistema utilizados en la banda 12,5-12,75 GHz. Como las atribuciones al SFS bidireccionales se aplican sólo en la Región 1 en esa banda, es necesario emplear los países de dicha Región como base para los ejemplos. Sin embargo, la metodología tiene carácter general y puede aplicarse a cualquier banda en la que exista compartición con el SFS bidireccional.

2 Metodología

FIGURA 1



En este ejemplo ilustrado en la Fig. 1, la estación terrena A funciona con un satélite geostacionario diseñado para utilizar la atribución de 12,5-12,75 GHz (Tierra-espacio), mientras que la estación B funciona con otro satélite geostacionario que hace uso de la atribución al SFS 12,5-12,75 GHz (espacio-Tierra). La estación terrena A transmite una portadora MDP centrada en 12,625 GHz, con densidad espectral de p.i.r.e. de  $E$  dB(W/MHz), e interfiere por trayecto terrestre a la recepción por la estación terrena B de otra modulación por desplazamiento de fase portadora (MDP) centrada en 12,625 GHz. La densidad espectral de interferencia,  $I$ , a la entrada del receptor en la estación terrena B se obtiene por tanto a partir de:

$$I = E - G_t + G(\varphi_t) - pl + G(\varphi_r) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (1)$$

donde:

- $G_t$ : ganancia en el eje de la antena en la estación terrena A (dBi)
- $G(\varphi_t)$ : ganancia de la antena de la estación terrena A hacia el horizonte en dirección de la estación terrena B (dBi)
- $pl$ : pérdidas de trayecto entre las dos estaciones (dB)
- $G(\varphi_r)$ : ganancia de antena de la estación B hacia el horizonte en dirección de la estación terrena A (dBi)
- $\varphi_t$ : ángulo con respecto al eje en la estación terrena A hacia el horizonte en dirección de la estación terrena B (grados), y
- $\varphi_r$ : ángulo con respecto al eje en la estación terrena B hacia el horizonte en la dirección de la estación terrena A (grados).

En lugar de hacer hipótesis de caso absoluto, es posible generar contornos dentro de los cuales la instalación de estaciones del SFS que funcionan en direcciones de transmisión opuestas en las mismas bandas sería compatible para cualquier porcentaje de casos mediante una selección apropiada de los parámetros utilizados en la ecuación (1).

Por ejemplo, durante 2002, un estudio del UIT-R sobre estaciones terrenas del SFS existentes y planificadas produjo estadísticas sobre los diámetros de antenas, las p.i.r.e., y la anchura de banda de las portadoras transmitidas. El estudio incluyó casi 127 000 terminales con antenas de diámetro comprendido entre 1,5 y 2,1 m. Aunque se concentró principalmente en estaciones terrenas

diseñadas para transmitir en la banda 14-14,5 GHz, puede suponerse que otro estudio que se concentrase en la banda 12,5-12,75 GHz produciría resultados estadísticos similares, aunque a partir de una base de datos menor. Dichos resultados podrían emplearse para realizar hipótesis razonables sobre los parámetros  $E$  y  $G_t$  en la ecuación (1).

Los valores de  $\varphi_t$  o  $\varphi_r$  dependen de la latitud y longitud de la estación terrena, de la longitud del satélite con el que ésta funciona y del ángulo acimutal con la otra estación terrena. La variación de  $\varphi$  con estos parámetros se calcula en el Apéndice 1, que muestra asimismo cómo se pueden desarrollar funciones de distribución acumulativa de los ángulos con respecto al eje para las interferencias entre las estaciones terrenas que funcionan en sentidos de transmisión opuestos, de modo que se puedan escoger valores adecuados de  $\varphi_t$  y  $\varphi_r$  para utilizarlos en la ecuación (1).

## 2.1 Metodología aplicada a un ejemplo internacional

El estudio del UIT-R sobre estaciones terrenas del SFS existentes y planificadas en 2002 reveló que el diámetro más habitual de las antenas instaladas hasta entonces funcionando en la banda 14-14,5 GHz era de aproximadamente 1,8 m, y que el 98% de dichas antenas transmitían portadoras de p.i.r.e. no superior a 52 dBW y anchura de banda inferior a 1 MHz. Se seleccionaron por tanto para el presente ejemplo valores de  $E = 52 \text{ dB(W/MHz)}$  y  $G_t = 10 \log((0,65)\{\pi.(1,8)/\lambda\}^2) = 45,7 \text{ dBi}$ .

Como se muestra en el Apéndice 1 al presente Anexo, para el 96% aproximadamente de las estaciones terrenas,  $\varphi_t$  y  $\varphi_r$  no serán inferiores a  $25^\circ$  y, por consiguiente,  $G(\varphi_t)$  y  $G(\varphi_r)$  no serán superiores a  $-3 \text{ dBi}$ . El Apéndice 1 también muestra que si  $G(\varphi_t) \cong -3 \text{ dBi}$ , entonces es lo suficientemente conservador como para suponer que  $G(\varphi_r) \cong -10 \text{ dBi}$ , y viceversa.

Tomando estos valores para  $E$ ,  $G_t$ ,  $G(\varphi_t)$  y  $G(\varphi_r)$  como representativos del caso cuasi más desfavorable, la ecuación (1) se transforma en:

$$I = -6,7 - pl \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (2)$$

Con arreglo a la Recomendación UIT-R S.1323, un enlace del SFS OSG debe diseñarse sobre la base de que *«la potencia de interferencia combinada procedente de las emisiones de estaciones terrenas y espaciales del resto de redes del SFS OSG... no rebose, a la entrada del demodulador, ...»*. Para el ejemplo actual, se supone que la interferencia combinada comprende contribuciones iguales de las emisiones de enlaces ascendente y descendente de todos los sistemas del SFS OSG codireccionales y bidireccionales en una banda de 1 MHz centrada en 12,625 MHz. De ahí que la interferencia combinada recibida en la estación terrena B procedente de todas las estaciones terrenas que emplean dicha banda de 1 MHz en sentido Tierra-espacio esté limitada aquí a un máximo del 5% del balance del ruido del enlace.

A excepción de las redes con AMDC, sólo una estación terrena puede transmitir hacia un satélite dado, con una determinada frecuencia de portadora y en un sentido de polarización, simultáneamente, dentro de la cobertura de un haz receptor dado, puesto que los enlaces ascendentes de varias portadoras cofrecuencia en el mismo haz, se interferirían mucho entre sí. (Aunque el AMDC permite a las citadas  $n$  portadoras coexistir en dichas circunstancias, la p.i.r.e. de portadora de cada estación terrena en este caso es sólo aproximadamente  $1/n$ -ésimo de la p.i.r.e. de una única estación terrena que hace uso de AMDF.) En latitudes cercanas a los  $50^\circ$ , la OSG supera la elevación de  $10^\circ$  en cualquier punto de la superficie terrestre en una gama de longitudes de aproximadamente  $120^\circ$  (es decir,  $\pm 60^\circ$ ). La mínima separación entre satélites que hacen uso de la misma frecuencia y con la misma cobertura en las Regiones 1 y 3 del UIT es de unos  $3^\circ$ , y en la Región 2 de unos  $2^\circ$ . Se concluye que, en el caso límite, entre 40 y 60 estaciones terrenas en una

zona de cobertura determinada podrían transmitir con la misma frecuencia de portadora y polarización a diferentes satélites en la OSG, manteniéndose dentro de unos límites aceptables la interferencia entre sus enlaces ascendentes debido a la discriminación proporcionada por los diagramas de sus antenas de transmisión.

Sin embargo, incluso si en la banda de la portadora considerada el recurso del espectro de la OSG se utilizase plenamente de esta manera, es poco probable que todas las estaciones terrenas que transmiten en la zona de cobertura común estén localizadas lo suficientemente cerca de una estación terrena concreta que recibe una portadora cofrecuencia como para producir interferencias significativas a la citada estación terrena. Por una razón, es probable que el recurso se dividiese entre varios países, dado que un haz de satélite típico funcionando en la banda 14-14,5 GHz se dimensiona para dar cobertura continental, en lugar de nacional. De ahí que el margen de diez estaciones terrenas transmitiendo en la banda de 1 MHz a 12,625 GHz e interfiriendo con la misma estación terrena que reciba a dicha frecuencia se considere lo suficientemente conservador para los fines actuales. En este estudio el máximo nivel de interferencia causada por una sola estación terrena A a la estación terrena B en condiciones de cielo despejado se limita al 0,5% del balance de ruido del sistema.

Como las interferencias en trayectos terrestres se ven afectadas por las condiciones de propagación, es preciso conocer el porcentaje de tiempo durante el que pueden aplicarse las condiciones de «cielo despejado». En la Recomendación UIT-R S.1062, se permite que los requisitos de la BER a largo plazo se superen durante no más del 10% del mes más desfavorable, lo que corresponden al 4% del año medio. De ahí que el nivel de interferencia provocada por la estación terrena A a la estación terrena B no deba superar el 0,5% del ruido del sistema B durante más del 4% del tiempo, es decir:

$$I \leq 10 \log ((0,05)(k T B)) \quad \text{dBW} \quad (3)$$

donde:

$10 \log (k)$ :  $-228,6 \text{ dB(W/Hz)}$  por Kelvin (constante de Boltzmann)

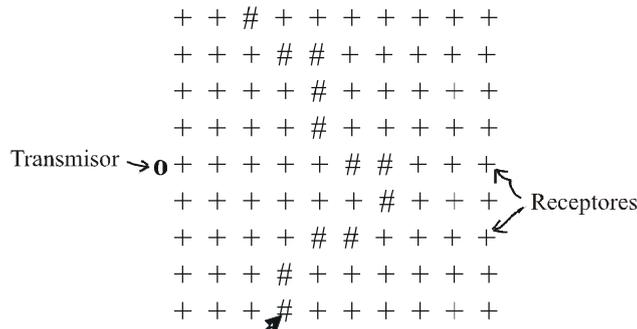
$T$ : temperatura de ruido del sistema ( $> 200 \text{ K}$  para la mayoría de enlaces ascendentes en 14-14,5 GHz)

$B$ : 1 MHz, como se ha definido anteriormente.

Combinando las ecuaciones (2) y (3) puede deducirse que, para que redes del SFS bidireccionales puedan compartir la banda, las pérdidas en el trayecto de interferencia entre las estaciones terrenas A y B deben ser 162 dB o superiores durante al menos el 96% del tiempo.

Si se dispone de una base de datos del terreno, es decir una base de datos con las alturas sobre el nivel del mar de la tierra en puntos uniformemente distribuidos en una zona determinada, puede utilizarse la información y los algoritmos de las Recomendaciones UIT-R P.452 y UIT-R P.526 para calcular las pérdidas de propagación rebasadas durante cualquier porcentaje de tiempo dado a lo largo del trayecto de círculo máximo entre dos puntos de datos cualesquiera dentro de dicha zona. Estas Recomendaciones cubren tanto los trayectos con visibilidad directa como los transhorizonte, incluyendo tanto la absorción atmosférica y la difracción como los modos de propagación por conductos y dispersión troposférica según corresponda. De esa forma, si se desarrolla un modelo informático que comprenda un solo transmisor y un gran número de receptores distribuidos uniformemente, es posible calcular las pérdidas que se rebasan durante un porcentaje de tiempo determinado en los trayectos entre el transmisor y cada receptor nuevo, e identificar por tanto todos los trayectos en los que las pérdidas se aproximan a un valor en concreto (véase la Fig. 2).

FIGURA 2

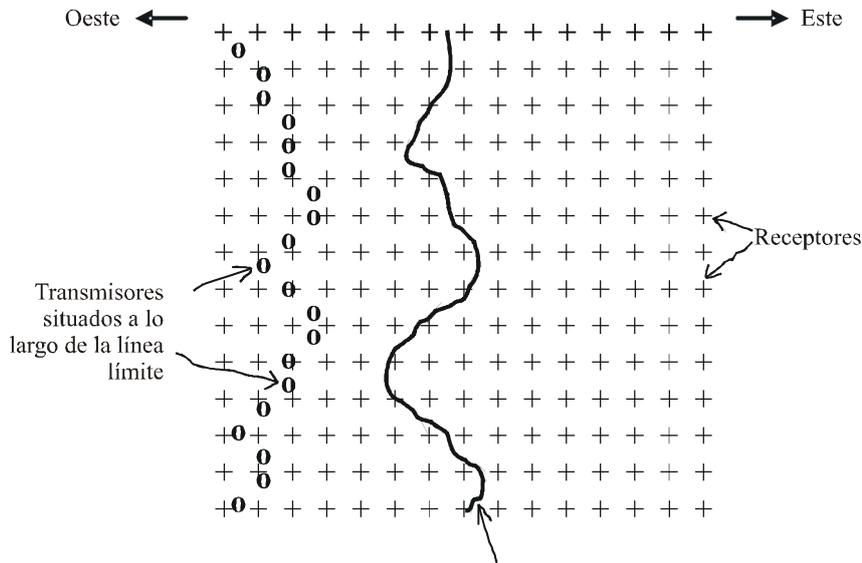


Receptores para los que las pérdidas rebasadas durante el 96% del tiempo en el trayecto desde el transmisor se aproximan más a 162 dB

1781-02

Añadiendo más transmisores al modelo, situados a pequeños intervalos a lo largo de cualquier línea límite dentro de la zona geográfica en cuestión, y seleccionando luego la máxima longitud de trayecto ( $L$ ) desde cada transmisor correspondiente a las pérdidas de trayecto de que se trata, puede trazarse un contorno a partir del cual las pérdidas rebasarán el valor dado para el porcentaje de tiempo determinado para una transmisión en cualquier punto a lo largo de la citada línea límite. El área entre la misma y dicho contorno será la máxima en la que las pérdidas de trayecto podrían no ser adecuadas para la compartición de frecuencias. La exactitud del contorno podría mejorarse mediante interpolación lineal entre los pares adecuados de receptores adyacentes (véase la Fig. 3).

FIGURA 3



En cualquier parte al Este de este contorno las pérdidas de trayecto desde cualquier punto situado a lo largo de la línea límite rebasarán por ejemplo, los 162 dB durante más del 96% del tiempo

1781-03

La forma del contorno depende por una parte de la forma de la línea límite y por otra de la naturaleza del terreno entre el contorno y dicha línea límite.

A partir de este análisis está claro que, en este ejemplo, una estación terrena con una antena de 1,8 m o mayor, transmitiendo una p.i.r.e. de hasta 52 dB(W/MHz) en la banda 12,5-12,75 GHz, podría situarse en cualquier punto al Oeste de la línea límite sin rebasar un criterio de interferencia procedente de una sola fuente del 0,5% del ruido de sistema en una estación terrena que recibe a la misma frecuencia en cualquier parte al este del contorno.

Utilizando un paquete de programas informáticos patentados, se desarrolló un modelo como el descrito anteriormente para un ejemplo en el que el límite era la frontera entre Francia y Alemania. La base de datos del terreno utilizada posee una resolución horizontal de unos 900 m y una resolución vertical de aproximadamente 1 m. Consecuentemente, se adoptó un intervalo entre estaciones terrenas receptoras adyacentes de 5 km situadas a lo largo de Este de Francia y del Oeste de Alemania, con una resolución similar entre estaciones terrenas transmisoras adyacentes ubicadas a lo largo de la frontera entre los dos países. La altura de la antena por encima del nivel del suelo local para cada estación terrena receptora y cada estación terrena transmisora ( $h_r$  y  $h_t$  de la Fig. 1) se fijó en 5 m.

Los resultados aparecen en la Fig. 4, que muestra los contornos tanto en Francia como en Alemania. Se ilustran dos casos; a saber:

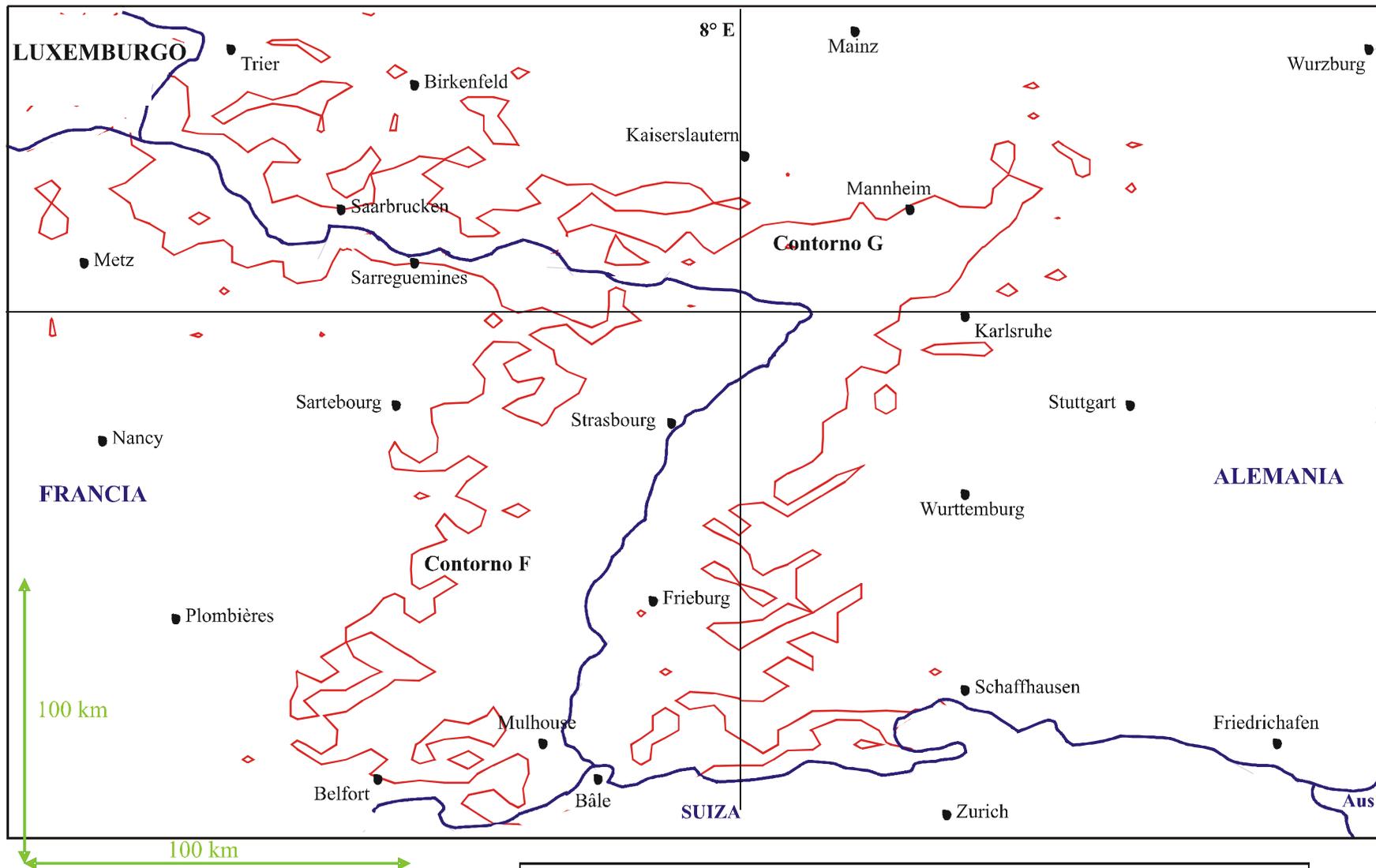
- cuando las estaciones terrenas transmisoras se instalan en Francia hasta la frontera internacional, el criterio de interferencia se cumplirá en cualquier estación terrena en Alemania situada en el contorno G, o al Este del mismo; y
- cuando las estaciones terrenas transmisoras se instalan en Alemania hasta la frontera internacional, el criterio de interferencia se cumplirá en cualquier estación terrena de Francia situada en el contorno F, o al Oeste del mismo.

Con objeto de aprovechar al máximo las atribuciones de los enlaces ascendentes y descendentes en la banda mientras se garantiza un acceso equitativo para ambos países, sería técnicamente posible para Francia utilizar la totalidad de la banda en cualquier lugar al Oeste del contorno F, y la mitad de la banda en cualquier lugar entre el contorno F y la frontera con Alemania, mientras que Alemania podría utilizar la totalidad de la banda en cualquier lugar al Este del contorno G, y la otra mitad de la banda en cualquier lugar entre el contorno G y la frontera con Francia. Este arreglo estaría supeditado obviamente a la conclusión de un acuerdo previo entre las administraciones de ambos países. Las zonas en las que se aplicarían las restricciones de banda pueden considerarse bastante modestas en relación a la superficie total de Francia y Alemania, respectivamente, y no tienen en cuenta el apantallamiento por el terreno local en ningún extremo de los trayectos de interferencia.

Podrían calcularse los contornos con más exactitud si se utilizase una base datos del terreno con mejor resolución y/o reduciendo el intervalo entre estaciones terrenas adyacentes en el modelo informático, aumentando los números apropiadamente. En la mayoría de los casos, esto disminuiría algo las zonas de «restricción». Asimismo, y estudiando caso por caso, mediante el apantallamiento por el terreno pueden lograrse reducciones locales en las zonas de «restricción».

FIGURA 4

Contornos para compartición entre estaciones terrenas masivamente instaladas de dos redes del SFS en sentidos de transmisión opuestos; Internacional

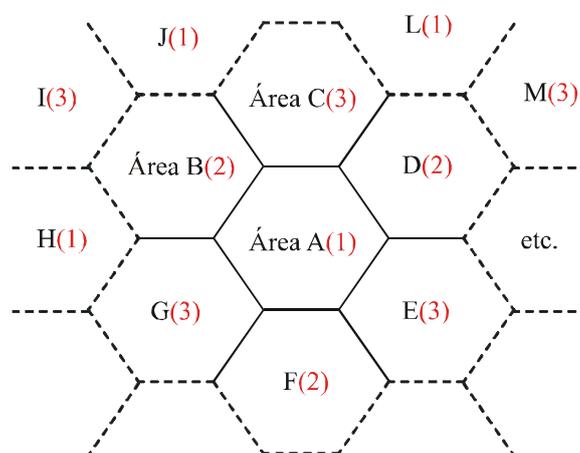


Los contornos corresponden a pérdidas de trayecto mínimas desde la frontera internacional  $\geq 162$  dB excepto durante 4% del tiempo

## 2.2 Metodología aplicada a un ejemplo nacional

En este caso, evidentemente es inadecuado utilizar la frontera entre un país y otro como límite a efectos de compartición bidireccional de frecuencias. Dentro de cualquier país, es preciso definir el límite dentro del cual las estaciones terrenas podrían transmitir a determinados satélites en la misma frecuencia mientras las estaciones terrenas situadas fuera del límite, pero aún dentro del país del que se trata, estuviesen recibiendo de otros satélites. Teóricamente es posible utilizar límites geográficos locales para este propósito (por ejemplo, fronteras de condado en Inglaterra o de cantones en Suiza), pero ello no resultaría útil porque no es probable que exista correlación entre la instalación de sistemas VSAT y dichos límites geográficos. Un esquema más adecuado es definir un límite hexagonal, de modo que zonas adyacentes puedan compartir las frecuencias bidireccionalmente en todo el país (de modo similar a un sistema terrenal celular, pero con «células» más grandes), como se ilustra en la Fig. 5.

FIGURA 5



1781-05

En esta disposición, si el área del hexágono es suficientemente grande, la mayor parte del área A puede utilizarse para las estaciones terrenas que transmiten (a diferentes satélites) en la misma frecuencia que la de recepción en las estaciones terrenas B, C y D, y viceversa. Como en el ejemplo internacional, existirá una franja de tierra irregular situada inmediatamente dentro del límite hexagonal de cada área en la que se restringirá la transmisión. El tipo exacto de restricción dependerá de los operadores de que se trate y de la autoridad nacional que concede la licencia. El Cuadro 1 muestra una posibilidad que contempla acceso equitativo al espectro en la parte restringida de cada área hexagonal.

CUADRO 1

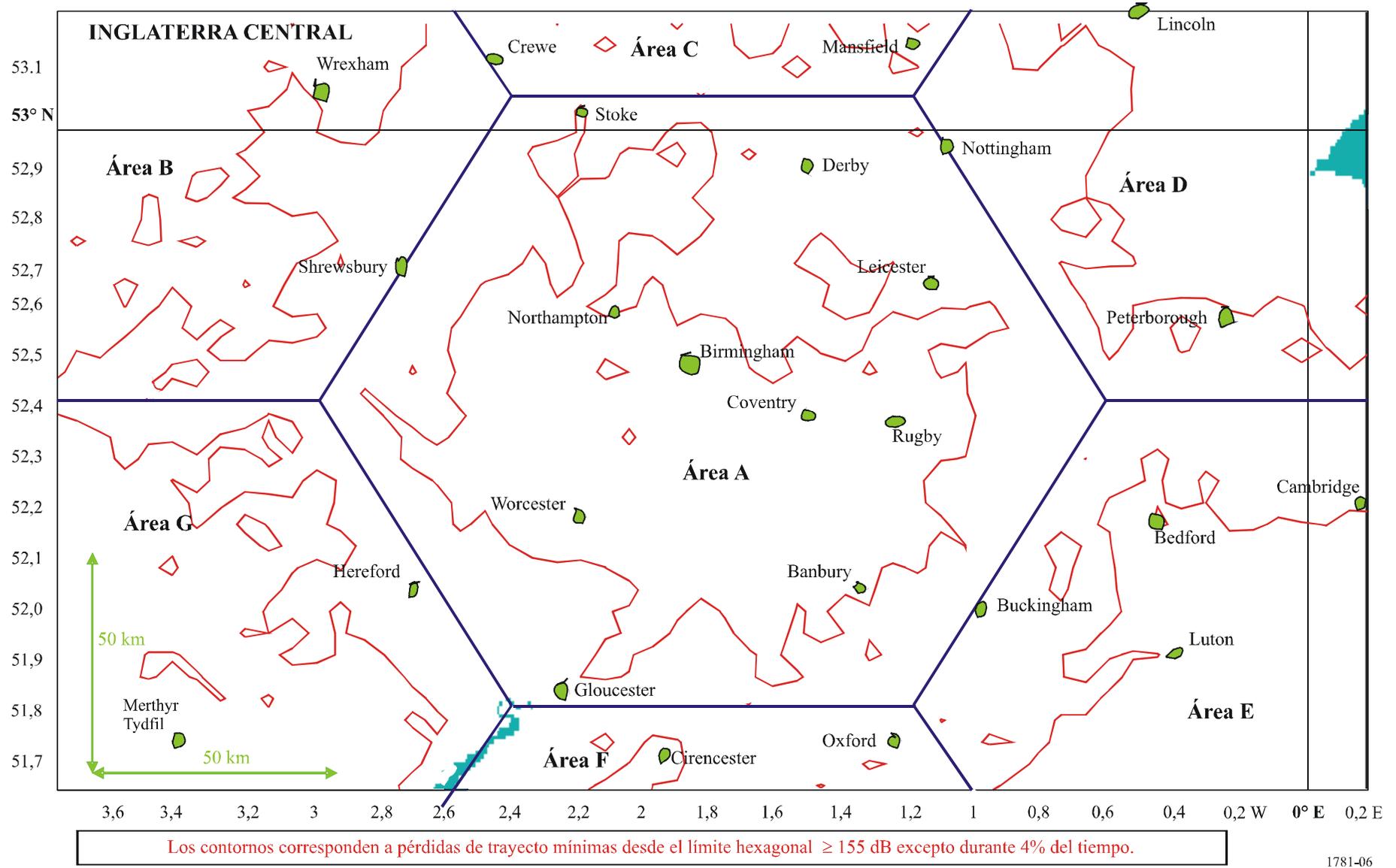
**Posibilidad para dividir la banda equitativamente**

<----- 12,5-12,75 GHz ----->		
<b>f1 = 12,5-12,583 GHz (1) en la Fig. 5</b>	<b>f2 = 12,583-12,667 GHz (2) en la Fig. 5</b>	<b>f3 = 12,667-12,75 GHz (3) en la Fig. 5</b>
Parte restringida de A transmitiendo en f1	Parte restringida de B transmitiendo en f2	Parte restringida de C transmitiendo en f3
Parte restringida de H transmitiendo en f1	Parte restringida de D transmitiendo en f2	Parte restringida de E transmitiendo en f3
Parte restringida de J transmitiendo en f1	Parte restringida de F transmitiendo en f2	Parte restringida de G transmitiendo en f3
Parte restringida de L transmitiendo en f1		Parte restringida de I transmitiendo en f3
		Parte restringida de M transmitiendo en f3

Se ha modelado un ejemplo de dicha disposición mediante el paquete informático patentado de la manera descrita en el § 3 para un área hexagonal en el centro de Inglaterra. El resultado se muestra en la Fig. 6. De nuevo, la separación entre estaciones terrenas receptoras adyacentes, y también entre estaciones terrenas transmisoras adyacentes, fue de 5 km, con una altura para la antena de todas las estaciones de 5 m. Las estaciones terrenas transmisoras se emplazaron alrededor del límite hexagonal central y también a lo largo de cada una de las seis líneas rectas que separan las áreas adyacentes de igual tamaño. La «rejilla» de estaciones terrenas receptoras se dimensionó de manera que cubriese la totalidad de la zona rectangular abarcada en la Fig. 6. Ello permitió trazar el contorno que define la zona restringida en el área hexagonal etiquetada como «Área A», así como las partes de los contornos correspondientes en las áreas adyacentes B, C, D, E, F y G que quedan dentro de la región modelada.

FIGURA 6

Contornos para compartición entre estaciones terrenas masivamente instaladas de dos redes del SFS en sentidos de transmisión opuestos; Nacional



Para la compartición de frecuencias dentro de un país, especialmente si éste es relativamente pequeño, puede ser adecuado utilizar un criterio de interferencia menos conservador, con objeto de que no aparezcan con zonas de «restricción» en una proporción excesivamente grande de sus áreas hexagonales. Por consiguiente, para el ejemplo nacional actual, se revisaron las hipótesis que determinan las ecuaciones (2) y (3), realizándose los siguientes cambios:

- En primer lugar, una revisión de la base de datos recopilada a partir de las respuestas al Cuestionario de 2002 para VSAT funcionando en la banda 14-14,5 GHz y con antenas de diámetro comprendido entre 1,5 y 2,1 m, reveló que aunque el 98% de las estaciones terrenas no transmiten más de 52 dBW (en anchura de banda de 1 MHz), el porcentaje comienza a decaer significativamente únicamente para niveles de p.i.r.e. inferiores a unos 49 dBW. De hecho, el 97% de las estaciones terrenas transmiten p.i.r.e. no superiores a 50 dBW.
- En segundo lugar, como la compartición de frecuencia en este caso estaría en el ámbito de una administración única, es posible que hubiese un mayor control sobre el entorno de interferencia que en el ejemplo internacional. Asimismo, en comparación con el caso internacional, es menos probable que existan diez estaciones terrenas a distancia «interferente» de una estación terrena dada y transmitiendo a la misma frecuencia que con la que recibe la estación terrena. De ahí, que, para este ejemplo, se considere razonable un margen procedente de una sola fuente del 1% del balance de ruido del sistema (en lugar del 0,5% indicado en el § 2).
- En tercer lugar, puede deducirse de la Fig. 11 que para aproximadamente el 92% de los trayectos interferentes los ángulos con respecto al eje en la estación terrena transmisora o receptora serán superiores a unos 30° (en lugar de los 25° supuestos en el § 2). Para 30° con respecto al eje, la ganancia del lóbulo lateral de la antena será de -5 dBi. De ahí que la ganancia sea inferior a -5 dBi para aproximadamente el 92% de los trayectos de interferencia, suponiendo en este ejemplo  $G(\varphi_r) = -5$  dBi y  $G(\varphi_r) = -10$  dBi.

Teniendo en cuenta estos factores en las ecuaciones (2) y (3), las pérdidas de trayecto que deben rebasarse durante al menos durante el 96% del tiempo, pasan a ser de 155 dB, con objeto de obtener los contornos.

La Fig. 6 sugiere que, al igual que en el caso internacional, la compartición con el SFS bidireccional de la totalidad de la banda 12,5-12,75 GHz sería posible en un caso nacional para estaciones terrenas de la mayor parte del país. Dentro del Área A en la Fig. 6, por ejemplo, no habría restricción alguna en materia de utilización de la banda para la transmisión de las estaciones terrenas situadas dentro del contorno, que comprende más del 50% del área, existiendo indicaciones que muestran que esto también es posible que sea cierto en las áreas B, C, D, E y H. La utilización de una base de datos del terreno de resolución superior a la utilizada aquí, incluyendo «ecos» locales (es decir, edificios, árboles, etc.), tendría el efecto de «desplazar» el contorno hacia el área limítrofe en muchos casos. Entre el contorno y el límite hexagonal, se necesitarían medios adicionales para facilitar la compartición de la banda; por ejemplo, restringiendo la transmisión a un tercio de la banda en cada área hexagonal como se ha explicado anteriormente.

## Apéndice 1 al Anexo 1

### Variación del ángulo con respecto al eje hacia el trayecto de interferencia

El ángulo de elevación de una estación terrena que funciona con un satélite en órbita geoestacionaria puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$E_s = \arctan \left( \frac{\cos(\alpha_E - \alpha_S) \cdot \cos(\lambda_E) - 0,1513}{\left(1 - \cos^2(\alpha_E - \alpha_S) \cdot \cos^2(\lambda_E)\right)^{1/2}} \right) \quad (4)$$

donde:

- $E_s$ : ángulo de elevación de la antena de la estación terrena
- $\alpha_E$ : longitud de la estación terrena
- $\alpha_S$ : longitud del satélite
- $\lambda_E$ : latitud de la estación terrena.

El acimut de la estación terrena en dirección al satélite puede determinarse mediante la siguiente expresión:

$$A_s = 180 + \arctan \left( \frac{\tan(\alpha_E - \alpha_S)}{\sin(\lambda_E)} \right) \quad (5)$$

donde  $A_s$  es el ángulo acimutal, medido en grados a partir del Norte verdadero, hacia la estación espacial con la que funciona la estación terrena.

El ángulo con respecto al eje de una estación terrena que funcione según los valores de  $E_s$  y  $A_s$  determinados anteriormente, en dirección a cualquier otra estación terrena hacia la que el acimut, también medido en grados desde el Norte verdadero, es  $A_E$ , puede determinarse mediante la siguiente expresión, suponiendo una elevación de cero grados con respecto al horizonte<sup>1</sup>:

$$\alpha = \arccos(\cos(E_s) \cdot \cos(A_E - A_s)) \quad (6)$$

donde:

- $\varphi$ : ángulo con respecto al eje de la antena de la estación terrena en dirección a la otra estación terrena
- $A_E$ : ángulo acimutal, medido en grados a partir del Norte verdadero, hacia la otra estación terrena.

En un ejemplo internacional, en el texto principal de esta Recomendación, la latitud media es aproximadamente 49° N, y en las Figs. 7 a 10, las ecuaciones (4) a (6), se han utilizado para representar  $\varphi$ , con  $\lambda_E = 49^\circ$ , como función de  $A_E$  para cuatro valores de separación entre las longitudes de la estación terrena y el satélite geoestacionario con el que opera ( $\alpha_E - \alpha_S$ ). A partir de la Fig. 7 puede deducirse que, como cabría esperar, cuando la estación terrena y su satélite están en la misma longitud, la variación del ángulo con respecto al eje es simétrica para ángulos de acimut

---

<sup>1</sup> Los resultados de este Apéndice serían ligeramente diferentes si se supusiese una elevación sobre el horizonte distinta de cero, si bien la diferencia sería pequeña porque son raros los emplazamientos de la estación terrena en los que la elevación sobre el horizonte rebasa los 2° o 3°.

hacia el Este y el Oeste. De manera similar, las Figs. 8, 9 y 10 muestran variaciones simétricas hacia el Este y el Oeste, con el valor mínimo de  $\varphi$  produciéndose cuando  $A_E$  corresponde al acimut de la estación terrena transmisora. Si las Figs. 8, 9 y 10 se dibujasen nuevamente para los casos correspondientes en que el satélite se sitúa al Oeste de la estación terrena, se producirían imágenes especulares (sobre  $A_E = 0^\circ$ ) de las tres representaciones.

De nuevo como cabría esperar, el valor mínimo de  $\varphi$  es en cada caso igual al ángulo de elevación del satélite «visto» por la estación terrena. Esto puede verificarse evaluando la ecuación (4) y comparando el resultado con los puntos mínimos de las curvas de las Figs. 7 a 10.

$\alpha_E - \alpha_S$ (grados)	0	20	40	60
$E_S$ (grados)	33,78	30,58	22,11	10,60

Puesto que la mayoría de las redes del SFS OSG que funcionan en la banda 14-14,5 GHz no lo hacen con ángulos de elevación inferiores a aproximadamente  $10^\circ$ , puede considerarse que las Figs. 7 a 10 abarcan la gama completa de ángulos con respecto al eje para interferencia entre estaciones terrenas que utilizan sentidos de transmisión opuestos.

Como las estaciones terrenas pueden situarse en cualquier parte, el trayecto de interferencia entre una estación terrena que utiliza la atribución al SFS de 12,5-12,75 GHz (Tierra-espacio) y una estación terrena que utiliza la atribución de 12,5-12,75 GHz (espacio-Tierra) puede situarse en cualquier dirección sobre la superficie de la Tierra. De ahí que todos los ángulos acimutales,  $A_E$ , en cualquier estación terrena, tanto si transmite como si recibe en la banda, pueden considerarse igualmente probables. De manera similar, a efectos del presente ejercicio, todos los diferentes ángulos (practicables) entre la estación terrena y la longitud del satélite ( $\alpha_E - \alpha_S$ ) se consideran igualmente probables (en la práctica, las pequeñas diferencias de longitud son más comunes que las grandes, pero la hipótesis actual simplifica el análisis y produce errores de índole conservador, es decir, da a lugar a resultados ligeramente pesimistas). Por tanto, produciendo resultados como los mostrados en las Figs. 7, 8, 9 y 10 para valores de  $\alpha_E - \alpha_S$  a intervalos de  $10^\circ$  desde  $0^\circ$  a  $60^\circ$ , fue posible generar una función de distribución acumulativa (FDA) de interferencia para ángulos con respecto al eje que abarca todas las circunstancias geográficas, basándose en las hipótesis de igual probabilidad y latitud media de  $49^\circ$ . Dicha FDA se representa mediante la curva superior de la Fig. 11.

Por conveniencia se ha añadido a la Fig. 11 (curva inferior) el diagrama de ganancia con respecto al eje para una antena de 1,8 m a 12,625 GHz (como se incluye en el ejemplo del texto principal de esta Recomendación) introduciendo un eje vertical a la derecha con una escala adecuada. Este diagrama de ganancia con respecto al eje se calculó utilizando las fórmulas de la Recomendación UIT-R S.580. Así puede apreciarse, por ejemplo, que un ángulo con respecto al eje de  $25^\circ$  es rebasado al menos por el 96% de los trayectos de interferencia, y que la ganancia de antena es inferior a  $-3$  dBi aproximadamente para todos los ángulos con respecto al eje superiores a  $25^\circ$ . Como la máxima ganancia (es decir, con respecto al eje) de dicha antena es de 45,7 dBi suponiendo un 65% de eficiencia, se concluye que la discriminación de la antena en ambos extremos del trayecto de interferencia es de al menos 48,7 dB en el 96% de dichos casos. Además, la probabilidad de la ganancia de la antena en dirección al trayecto de interferencia próximo a  $-3$  dBi para las antenas de ambas estaciones terrenas es muy baja, en torno a  $(0,04)^2$  ó 0,16%; por consiguiente, para los propósitos del texto principal una hipótesis suficientemente conservadora es suponer que la ganancia con respecto al eje vertical es  $-3$  dBi en un extremo del trayecto de interferencia y  $-10$  dBi en el otro.

FIGURA 7

**Interferencia en el ángulo con respecto al eje en función del ángulo acimutal a partir del Norte verdadero en una estación terrena a 49° N  
Satélite a la misma longitud que la estación terrena**

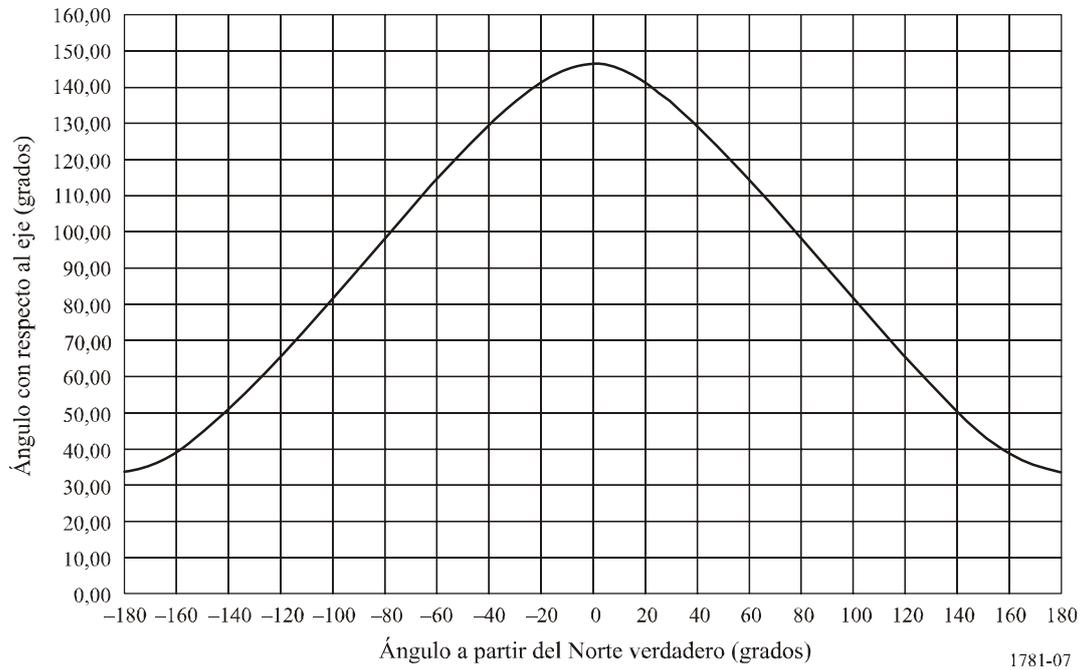


FIGURA 8

**Interferencia en el ángulo con respecto al eje en función del ángulo acimutal a partir del Norte verdadero en una estación terrena a 49° N  
Satélite 20° E de la estación terrena**

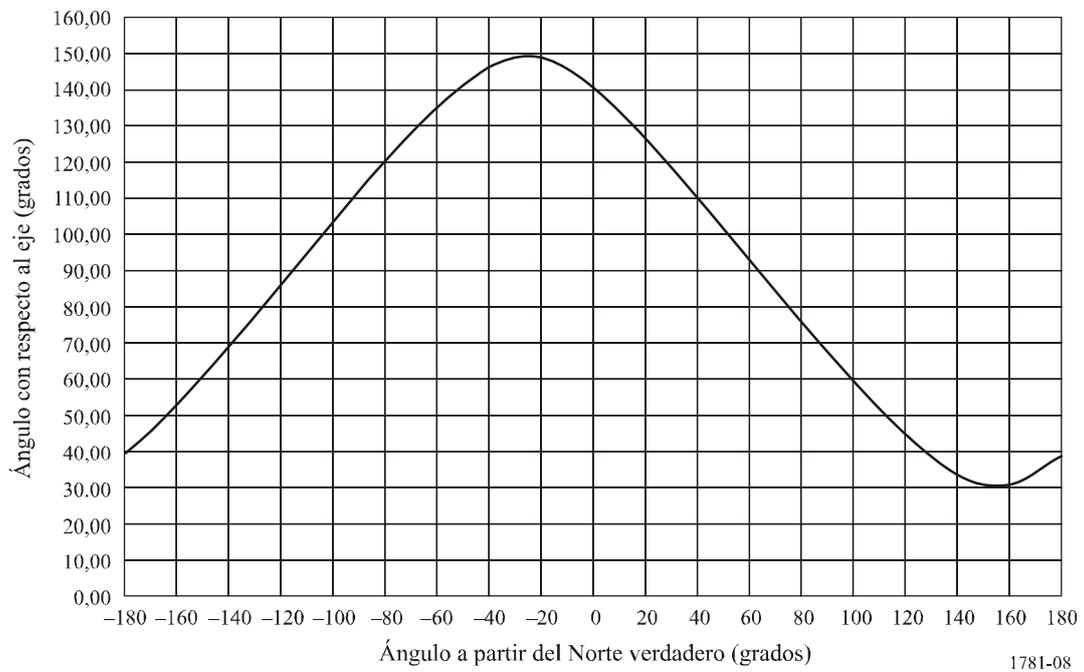
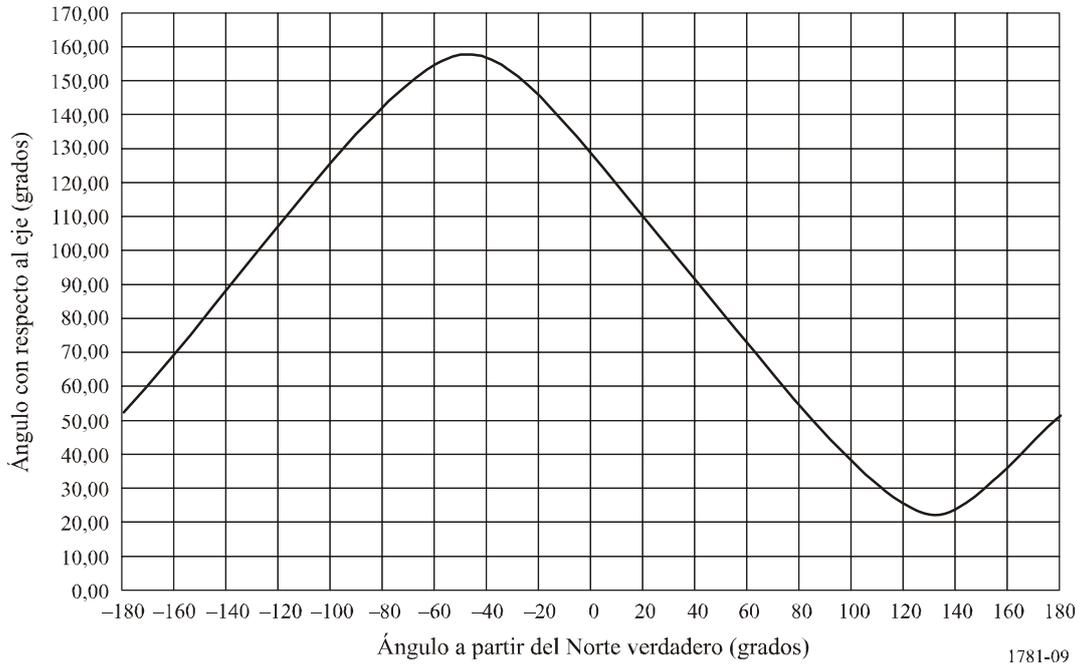


FIGURA 9

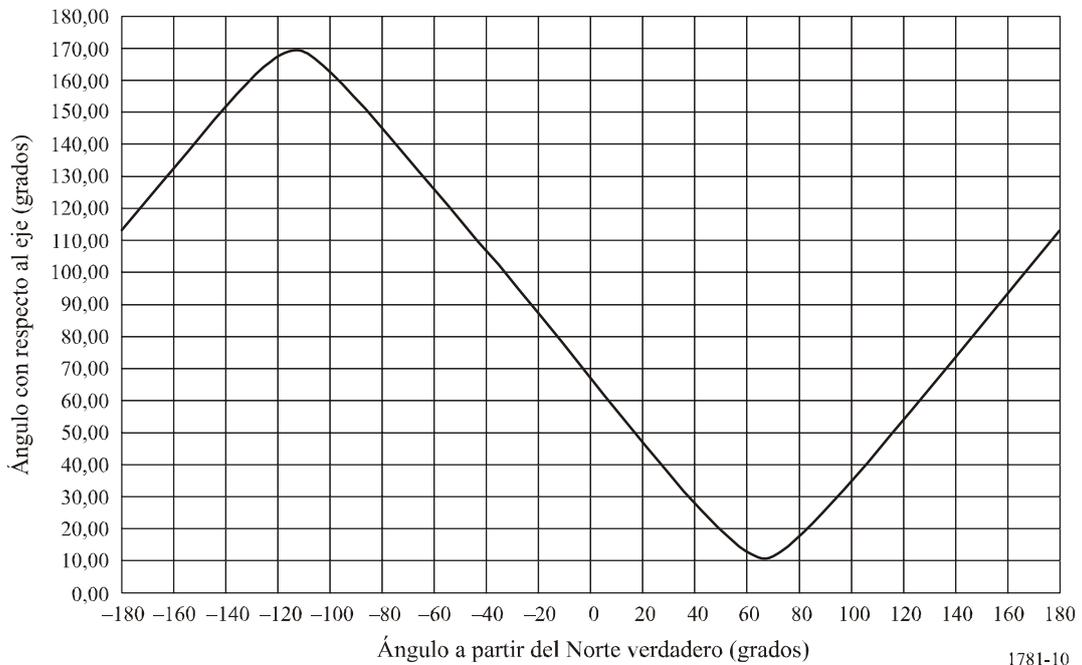
**Interferencia en el ángulo con respecto al eje en función del ángulo acimutal a partir del Norte verdadero en una estación terrena a 49° N  
Satélite 40° E de la estación terrena**



1781-09

FIGURA 10

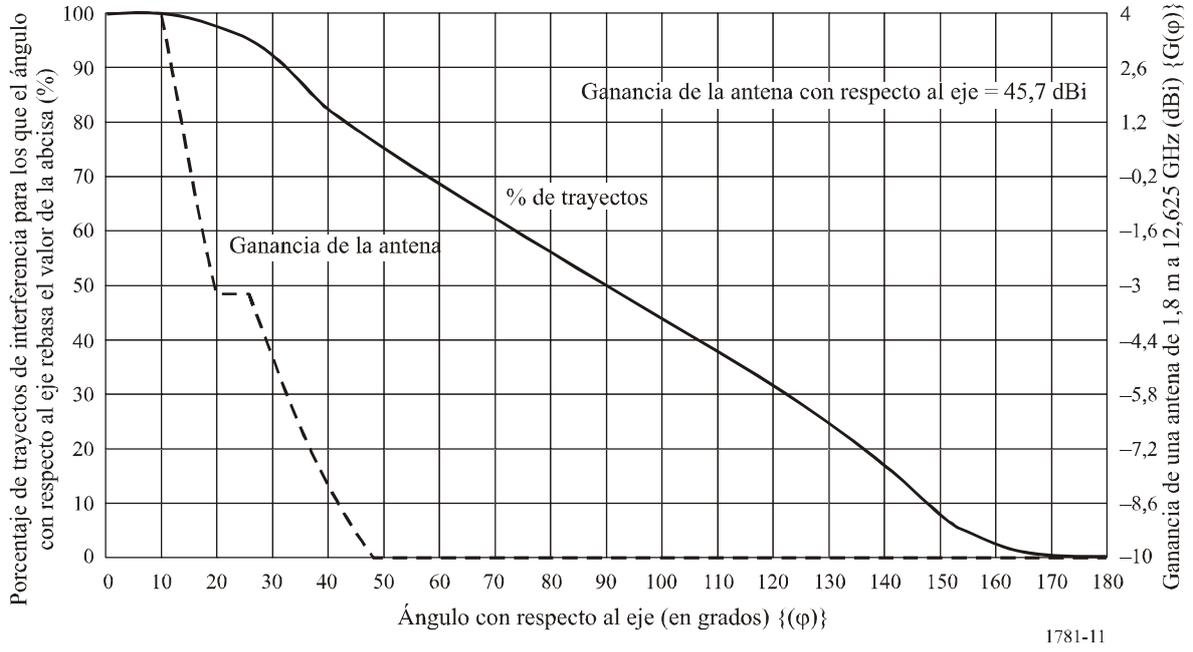
**Interferencia en el ángulo con respecto al eje en función del ángulo acimutal a partir del Norte verdadero en una estación terrena a 49° N  
Satélite 60° E de la estación terrena**



1781-10

FIGURA 11

**FDA de los ángulos con respecto al eje para la interferencia entre estaciones terrenas que funcionan en sentido de transmisión opuestos en comparación con el diagrama del ángulo con respecto al eje de la Recomendación UIT-R S.580**



1781-11