

## RECOMENDACIÓN UIT-R S.1712

**Metodologías para determinar si una estación terrena del SFS  
en un emplazamiento determinado puede transmitir en la  
banda 13,75-14 GHz sin rebasar los límites de la  
dfp del número 5.502 del Reglamento de  
Radiocomunicaciones y directrices  
para reducir el exceso**

(2005)

**Cometido**

La CMR-03 adoptó la Resolución 144 en la que se invita al UIT-R a que elabore Recomendaciones para establecer los métodos técnicos u operacionales que faciliten la compartición y permitan lograr una mayor flexibilidad en la instalación de estaciones terrenas del SFS con antenas menores de 4,5 m de diámetro en la banda 13,75-14 GHz, de conformidad con el número 5.502 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), y que también puedan utilizarse como base para el establecimiento de acuerdos bilaterales entre las administraciones.

Esta Recomendación propone tres métodos para determinar si las estaciones terrenas del SFS en un emplazamiento determinado pueden transmitir en la banda 13,75-14 GHz sin rebasar el límite de dfp número 5.502 del RR. También indica medidas adicionales que podrían ser consideradas por las administraciones de países pequeños y estrechos cuando realicen la instalación de estaciones terrenas del SFS.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que la CMR-03 revisó las restricciones de compartición del servicio fijo por satélite (SFS) (Tierra-espacio) en la banda 13,75-14 GHz;
- b) que esta banda del SFS se comparte con los servicios de radiolocalización y radionavegación;
- c) que las condiciones revisadas de compartición aprobadas en la CMR-03 permiten la explotación de estaciones terrenas geoestacionarias del SFS en la banda 13,75-14 GHz con antenas de diámetro  $D$ , siendo  $1,2 \text{ m} \leq D < 4,5 \text{ m}$ ;
- d) que el número 5.502 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) exige a una administración que prevea explotar en su país una estación terrena del SFS con una antena de diámetro  $D$  inferior a 4,5 m, y que transmita a un satélite OSG en la banda 13,75-14 GHz, asegurarse de que la densidad de flujo de potencia (dfp) que dicha estación terrena produce en cualquier punto sobre la frontera de un país vecino a una altura de 3 m sobre el suelo y/o en cualquier punto de sus límites marítimos (de haberlos) a una altura de 36 m sobre la marca de la bajamar, no excede de  $-115 \text{ dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot 10 \text{ MHz}))$  durante más del 1% del tiempo;
- e) que, como las pérdidas de propagación aumentan con la distancia y los trayectos sobre tierra experimentan una intensa influencia de la naturaleza del terreno, las estaciones terrenas situadas suficientemente lejos de la frontera del país vecino o de una marca de la bajamar pueden cumplir el límite de la dfp sin la aplicación de técnicas de reducción de la interferencia (por ejemplo, el apantallamiento a nivel local), y que por tanto los métodos para identificar las zonas de

un país en las que esto sea así ayudarían a las administraciones a cumplir los requisitos del *considerando d*);

f) que el apantallamiento natural o artificial puede atenuar la señal transmitida por una estación terrena en la dirección de la frontera terrestre de un país vecino y/o de la marca de la bajamar;

g) que la utilización de tipos específicos de estaciones terrenas con características mejoradas de lóbulos laterales puede reducir la señal producida por una estación terrena del SFS en la frontera terrestre de un país vecino y/o en la marca de la bajamar;

h) que es mejor utilizar como base para los métodos mencionados en el *considerando e*) la información pertinente de las Recomendaciones del UIT-R, y que puede ser adecuado utilizar un banco de datos del terreno en el que se haya previsto explotar estaciones terrenas del SFS con diámetros de antena  $D$ , inferiores a 4,5 m en la banda 13,75-14 GHz;

j) que la Resolución 144 (CMR-03) decide que las administraciones de los países geográficamente pequeños o estrechos pueden exceder los límites de densidad de flujo de potencia de la estación terrena del SFS en la línea de bajamar señalada en el número 5.502 del RR si dicha operación se efectúa con arreglo a los acuerdos bilaterales concertados con las administraciones que implantan sistemas de radiolocalización marítima en la banda 13,75-14 GHz;

k) que en la Resolución 144 (CMR-03) se decide además que se establecerán disposiciones técnicas u operacionales que facilitarán aún más la compartición y podrán permitir una mayor flexibilidad en la implantación de estaciones terrenas del SFS en la banda 13,75-14 GHz, de conformidad con el número 5.502 del RR, y que podrán ser utilizadas además como base para el establecimiento de acuerdos bilaterales entre las administraciones,

*observando*

a) que el número 5.503 del RR impone restricciones adicionales a la explotación de las estaciones terrenas del SFS en la banda de 10 MHz, entre 13,77 y 13,78 GHz,

*recomienda*

**1** que las administraciones concernidas, incluyendo las de los países a los que se refiere el *considerando j*), utilicen el método del Anexo 1, el del Anexo 2 o el del Anexo 3, o una combinación de ellos que se juzgue adecuada, para determinar si una estación terrena que se propone funcionar en la banda 13,75-14 GHz cumplirá los límites de la d<sub>fp</sub> del número 5.502 del RR;

**2** que además, en el caso de países pequeños o estrechos, se utilice la información del Anexo 4 de la presente Recomendación para ayudar a cumplir los límites de la d<sub>fp</sub> del número 5.502 del RR, y/o como base para el establecimiento de acuerdos bilaterales entre administraciones que busquen dicho acuerdo como paliativo del cumplimiento de los límites de la d<sub>fp</sub> del número 5.502 del RR.

## Anexo 1

### **Método 1: Curvas de la distancia mínima de separación basadas en la Recomendación UIT-R P.452, utilizando la altura de la estación terrena del SFS y la densidad de la p.i.r.e. hacia el horizonte, la latitud y posiblemente las alturas del terreno<sup>1</sup>**

Este método produce dos curvas, utilizando un modelo de Tierra lisa, en las que se muestra la distancia mínima de separación desde la línea de la bajamar o la frontera en tierra de un país vecino que tendrá que respetar una estación terrena del SFS para cumplir los límites de la dfp del número 5.502 del RR, en función de la densidad de la p.i.r.e. hacia el horizonte de la estación terrena. La curva principal da la distancia de separación con visibilidad directa (LoS). La curva secundaria da la distancia de separación transhorizonte. Se supone que una estación terrena del SFS situada a una distancia superior o igual a la distancia mínima de separación cumple los criterios del límite de la dfp. Además de la determinación de si el trayecto hasta la línea de la bajamar o la frontera es de LoS o transhorizonte, no se requieren análisis adicionales. Véase que la instalación en zonas excluidas de este método sigue siendo posible, siempre que se demuestre que un emplazamiento potencial cumple los criterios del límite de la dfp al aplicar el Método 2 o el 3 (Anexos 2 y 3). A fin de tener en cuenta plenamente la variabilidad del terreno en la situación real, este método se divide en tres pasos de complejidad creciente. El Paso A es con mucho el más sencillo y no tiene en cuenta el terreno. De hecho, en este paso se supone una Tierra *plana* en la que todos los trayectos son de LoS. En el Paso B se supone una Tierra esférica con un horizonte radioeléctrico nominal, pero no se consideran los efectos del terreno. Al igual que en el Paso B, en el Paso C se supone una Tierra esférica, aunque a diferencia del Paso B, se tiene en cuenta el efecto del terreno. Siguiendo en orden cada paso se aumenta el tamaño de la zona potencial de despliegue del SFS (se llega a la zona posible más amplia utilizando el Paso C). Se supone que si con el Paso A o el B un emplazamiento de posible instalación cumple los límites de la dfp, no es necesario aplicar los pasos siguientes. A discreción del utilizador, pueden emplearse los Pasos B o C sin implementar el Paso A.

A fin de calcular el valor de la distancia, es preciso adoptar ciertas hipótesis básicas y modelos de propagación. La Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones ha elaborado múltiples modelos de propagación para este fin específico, y se ha utilizado la Recomendación UIT-R P.452-11 en muchas situaciones similares de compartición, por lo que parece la más adecuada para esta situación de propagación.

A continuación se describe con detalle el Método 1.

*Paso A:* Se supone que todos los trayectos son de LoS. Se utiliza la curva de LoS de la Fig. 4 para determinar la distancia mínima de separación en función de la p.i.r.e./10 MHz de la estación terrena radiada hacia la línea de la bajamar (o la frontera). Véase que esta curva se obtiene a partir de los valores de las pérdidas con LoS de la Recomendación UIT-R P.452-11 ( $p = 1,0\%$ ). Como se trata de un modelo de Tierra plana, la curva es independiente de factores tales como el valor de  $\Delta N$  local y la altura de la antena sobre el terreno. Si el emplazamiento de la posible instalación está más alejado de la línea de la bajamar (o la frontera) que la distancia requerida de separación desde la

---

<sup>1</sup> Con el Método 2 se hace máxima la zona en que pueden efectuarse los despliegues sin necesidad de un análisis del emplazamiento individual. Si no se dispone de datos digitales del terreno de un país, o si se desea efectuar un enfoque más sencillo, el Método 1 permitirá elaborar contornos que son algo más prudentes que los del enfoque de datos digitales del terreno del Método 2.

curva de visibilidad directa, se supone que la estación cumple los criterios del límite de la dfp del número 5.502 del RR. Si la longitud del trayecto es inferior a la distancia requerida de separación, se va al Paso B.

*Paso B:* En este paso se supone una Tierra esférica, por lo que es preciso determinar un horizonte radioeléctrico nominal. En primer lugar, se halla el radio equivalente de la Tierra,  $a_e$ , utilizando el valor de  $\Delta N$  local y las ecuaciones (5) y (6) de la Recomendación UIT-R P.452-11 (conversión (m)). Puede calcularse entonces el horizonte radioeléctrico a partir de la ecuación siguiente:

$$R\text{Horizon}_{\text{nominal}} = \sqrt{2 \cdot a_e} \cdot (\sqrt{h_0} + \sqrt{h_{es}}) / 1\,000 \quad \text{km}$$

donde:

$h_0 = 36$  m para un trayecto de la línea de la bajamar o 3 m para un trayecto de la frontera terrestre

$h_{es}$ : altura de la estación terrena (m) sobre el nivel medio del mar.

Si el emplazamiento de la estación terrena cae dentro del horizonte radioeléctrico nominal de la marca de la bajamar (o frontera en tierra) la distancia de separación requerida se halla utilizando la curva de LoS de la Fig. 4. Si el emplazamiento de la estación terrena está más allá del horizonte radioeléctrico nominal, se determina la distancia de separación requerida utilizando la curva transhorizonte de la Fig. 4. Si el desplazamiento de posible instalación está más alejado de la marca de la bajamar (o frontera) que la distancia de separación requerida desde la curva aplicable, se supone que la estación cumple el criterio del límite de la dfp del número 5.502 del RR. Si la longitud del trayecto es inferior a la distancia de separación requerida, se va al Paso C.

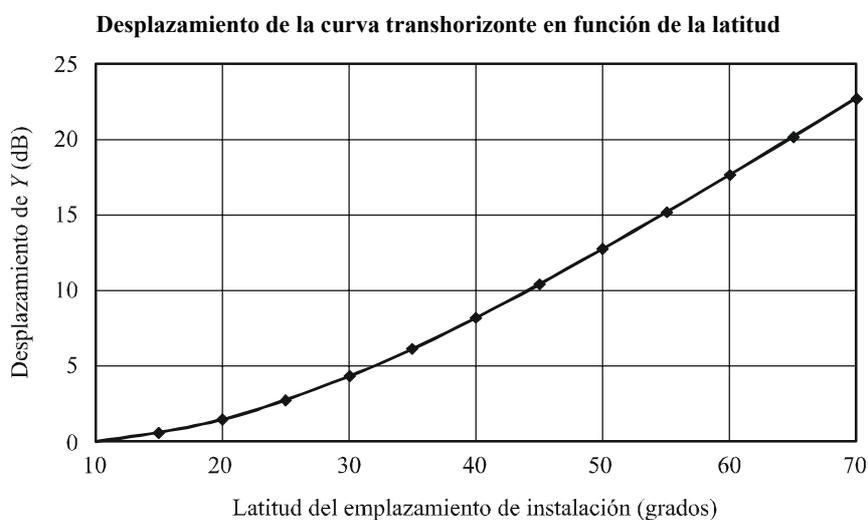
*Paso C:* En este paso se supone también una Tierra esférica. Además, se requiere un análisis más detallado de los trayectos hacia la marca de la bajamar (o de la frontera). Se utiliza el Apéndice 2 al Anexo 1 de la Recomendación UIT-R P.452-11 para determinar si un trayecto es de LoS o transhorizonte. El procedimiento específico se detalla en el § 4.1 de dicho Apéndice: «Comprobación de un trayecto transhorizonte». Los datos del terreno pueden obtenerse de los mapas digitales de elevación, o incluso de los contornos de elevación de mapas impresos. Como en el terreno real, el trayecto con las pérdidas mínimas no es necesariamente el más corto, habrá que ensayar diversos trayectos en forma radial alrededor del emplazamiento potencial de la estación terrena. Si se ve que un trayecto es de LoS, la distancia de separación requerida se halla utilizando la curva de LoS de la Fig. 4 (tomando el trayecto de visibilidad directa más corto). Si el ensayo muestra que todos los trayectos son transhorizonte, la distancia de separación requerida se halla utilizando la curva transhorizonte de la Fig. 4. Si el emplazamiento de posible instalación está más alejado de la marca de la bajamar o de la frontera en tierra del país vecino que la distancia de separación requerida desde la curva aplicable, se supone que la estación cumple el criterio del límite de la dfp del número 5.502 del RR. Si la longitud del trayecto es inferior a la distancia de separación requerida, es probable que no se cumpla el límite de la dfp.

Es importante señalar que la distancia de separación requerida que se ha hallado con cualquiera de los tres pasos anteriores no es un mínimo absoluto. Si la distancia desde la estación terrena a la marca de la bajamar o de la frontera en tierra del país vecino es inferior al valor requerido, pueden realizarse nuevos análisis utilizando el Método 2, que incluye datos digitales del terreno y modelos de propagación, o el Método 3, que también incluye datos del terreno e incorpora factores tales como el apantallamiento del emplazamiento, a fin de verificar si se cumple el criterio del límite de la dfp del número 5.502 del RR.

Tal como se ha descrito, la utilización del Método 1 requiere dos curvas (para los dos tipos distintos de trayecto) que dan la distancia mínima,  $X$ , hasta la marca de la bajamar (o frontera en tierra) en función de la densidad de la p.i.r.e. hacia el horizonte, para cumplir el criterio del límite de la dfp.

Los emplazamientos de instalación que estén alejados menos de  $X$  de la marca de la bajamar (o frontera en tierra) son posibles, pero exigen la aplicación de los otros métodos. A fin de calcular el valor de  $X$  con LoS, se requieren algunas hipótesis básicas y modelos de propagación. La curva de LoS se calcula directamente a partir de la ecuación de visibilidad directa de la Recomendación UIT-R P.452-11. Se trata de la ecuación (9) del § 4.2 de dicha Recomendación. Se utiliza la frecuencia adecuada y el porcentaje de tiempo,  $p$  se fija en 1,0%. Las pérdidas resultantes se utilizan con la ecuación (2) para hallar la combinación p.i.r.e./distancia que satisface el límite de la dfp. La curva transhorizonte es simplemente la curva de LoS desplazada hacia arriba en la escala de la p.i.r.e. en  $Y$  dB. El valor de  $Y$  se obtiene de la curva de la Fig. 1. Tal como se ha señalado, el nivel de la dfp del número 5.502 del RR especifica la altura en la marca de la bajamar o en la frontera de un país vecino.

FIGURA 1



### Ejemplo de aplicación del Método 1

Al considerar el Paso A, las estaciones terrenas terminales de muy pequeña abertura (VSAT) típicas con funcionamiento en la banda 13,75-14,5 GHz en algunos países, limitan el nivel de la densidad de potencia de entrada a la antena a  $-14$  dB(W/4 kHz). Para una portadora digital VSAT modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (MDP-4) de 64 kbit/s típica (corrección de errores en recepción sin canal de retorno (FEC) de índice 1/2, con codificación Reed Solomon (RS)) y una anchura de banda aproximada de 84 kHz, este nivel producirá una densidad de potencia de entrada,  $P_d$  de:

$$P_d = -14 + 10 \log (84/4) = -0,8 \text{ dB(W/84 kHz)}$$

Suponiendo que el ángulo respecto al eje hacia la marca de la bajamar en elevación y acimut excede de  $48^\circ$ , la ganancia de la antena sería de  $-10$  dBi y la densidad de la p.i.r.e. transmitida, suponiendo una portadora dentro de la anchura de banda de 10 MHz, sería

$$(p.i.r.e.)_d = -10,8 \text{ dB(W/10 MHz) de anchura de banda}$$

Suponiendo además que la longitud del trayecto desde la estación terrena hasta la marca de la bajamar (en este ejemplo se considera que la marca de la bajamar está situada en la propia franja costera) es de 44 km, el valor de  $\Delta N$  local = 40 y la altura de la estación terrena es de 20 m sobre el nivel medio del mar (AMSL). La latitud es de  $35^\circ$ , lo que da un desplazamiento de 6 dB para la curva transhorizonte. El Paso 1 empieza con la comparación de la p.i.r.e. fuera del eje con la curva

de LoS de la Fig. 4. De dicha curva se obtiene que la distancia de separación requerida con LoS sería aproximadamente de 66 km. Como la longitud del trayecto real es inferior a la distancia de separación mínima requerida, con el Paso A no se puede demostrar el cumplimiento del límite de la dfp.

Según el Paso B, el cálculo del horizonte radioeléctrico nominal es de 43,3 km. Como la longitud real del trayecto es superior al horizonte radioeléctrico nominal, el trayecto debe ser transhorizonte. Por tanto, la distancia de separación mínima puede hallarse utilizando la curva transhorizonte de la Fig. 4. Empleando dicha curva, una estación con una p.i.r.e. fuera del eje de  $-10,8$  dBW requiere una distancia de separación mínima de aproximadamente 35 km. En este caso, la longitud real del trayecto es mayor que la distancia de separación mínima requerida. Por tanto, el Paso B muestra que esta estación terrena cumple el límite de la dfp. Si con el Paso B no se demuestra el cumplimiento, se realizaría otro análisis utilizando una estimación más precisa del horizonte radioeléctrico real según el Paso C.

En el caso de una portadora de 512 kbit/s con una anchura de banda de 669 kHz, la densidad de la p.i.r.e. sería

$$(p.i.r.e.)_d = -14 + 10 \log (669/4) - 10 = -1,8 \text{ dB(W/10 MHz)}$$

Con el Paso A se obtiene una distancia mínima de separación requerida de unos 140 km. Si con los Pasos B o C se demuestra que el trayecto es transhorizonte, se requeriría una distancia de separación mínima de unos 83 km.

### **Ejemplo del Método 1, Paso C**

Al considerar el Paso C, se indica un emplazamiento potencial de estación terrena en el mapa del ejemplo de la Fig. 2. Con el Paso A y el B, no se demuestra que este emplazamiento cumpla el límite de la dfp. Por tanto, se utilizará el Paso C del Método 1. Se utilizarán los contornos del mapa para estimar el horizonte radioeléctrico en trayectos entre el emplazamiento y los distintos puntos a lo largo de la costa (marca de la bajamar). Se suponen los parámetros siguientes:

p.i.r.e. de la estación terrena hacia el horizonte en todas las direcciones =  $-10,8$  dBW

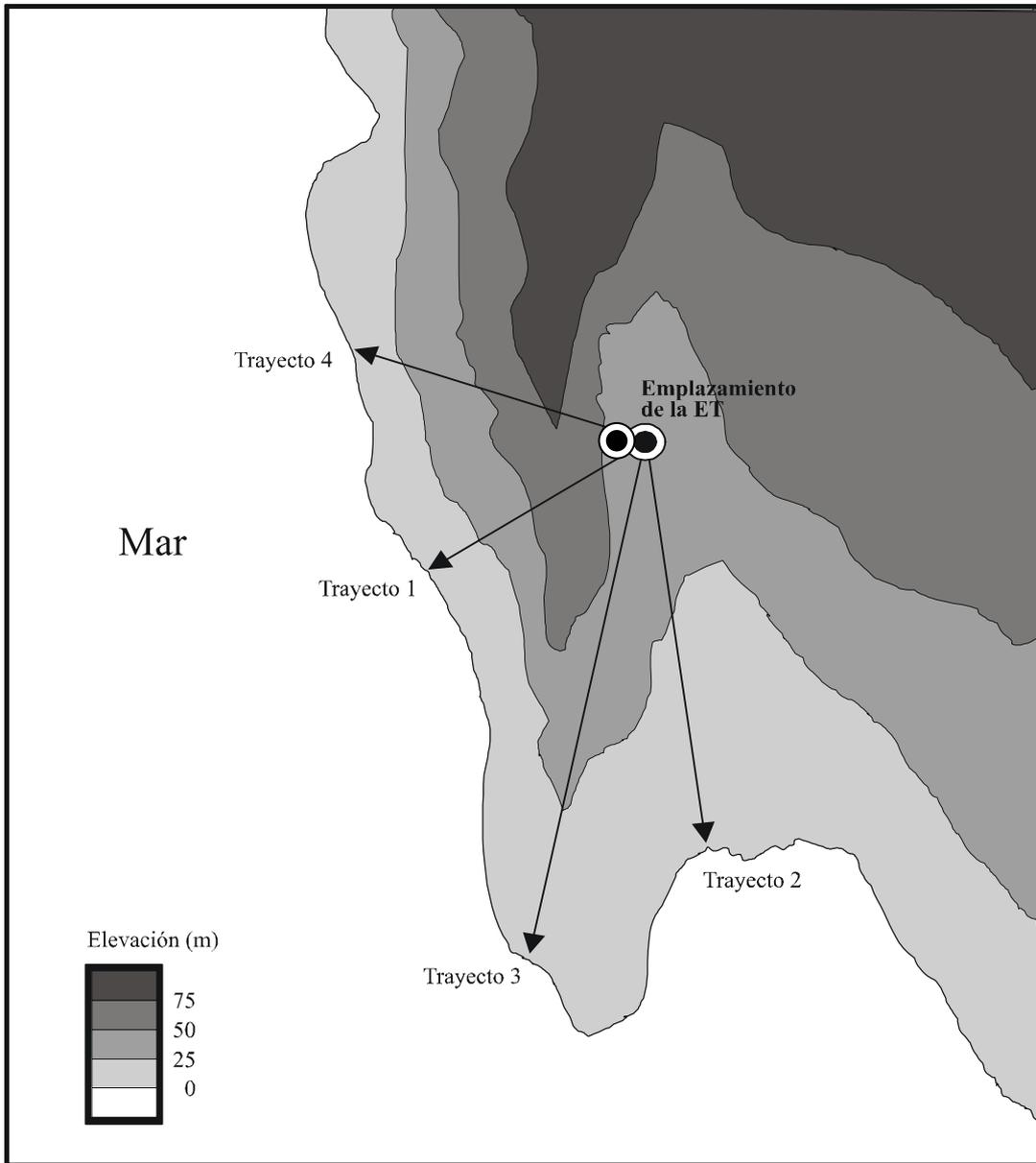
Altura de la estación terrena sobre el nivel medio del mar = 40 m

Valor medio anual local de  $\Delta N = 45$

Latitud:  $35^\circ$ .

FIGURE 2

Ejemplo de mapa de contorno que muestra el emplazamiento potencial de la estación terrena (ET)



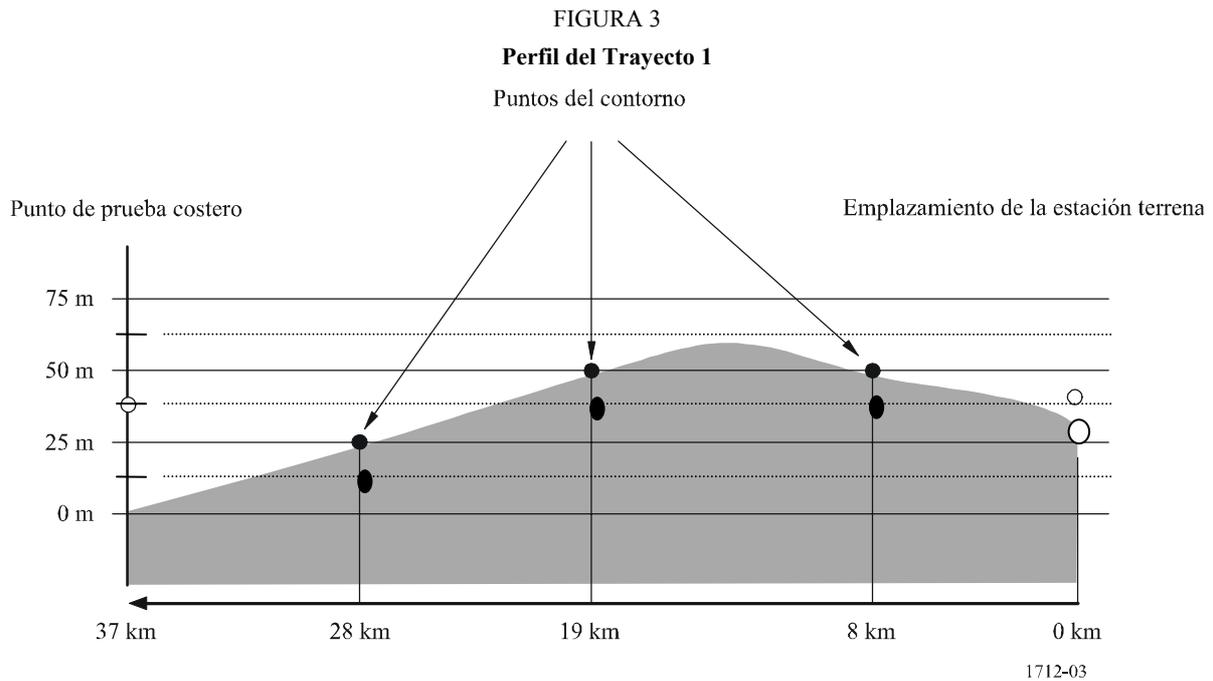
Longitudes:

- Trayecto 1: 37 km
- Trayecto 2: 61 km
- Trayecto 3: 80 km
- Trayecto 4: 41 km

1712-02

Una verificación rápida de la Fig. 4 muestra que la distancia de separación requerida con LoS para esta estación terrena es de 63,5 km. El trayecto más corto hasta la marca de la bajamar (Trayecto 1) es evidentemente muy inferior a la distancia requerida con visibilidad directa. El Paso A no demuestra el cumplimiento. Utilizando  $\Delta N$  y la altura AMSL de la estación terrena, se demuestra que el horizonte radioeléctrico nominal es de 52,1 km. Como la longitud del Trayecto 1 es inferior al horizonte nominal, la distancia de separación requerida permanece sin cambios. El Paso B no da resultado.

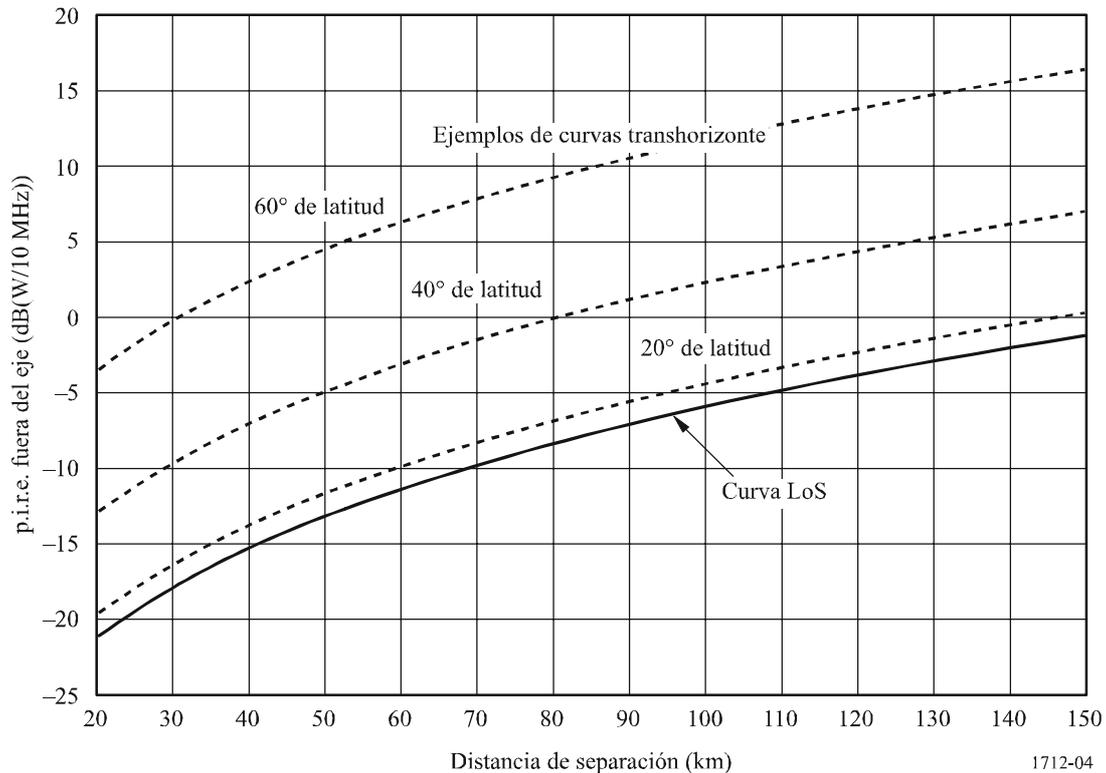
El Paso C empieza con el ensayo transhorizonte del Apéndice 2 al Anexo 1 de la Recomendación UIT-R P.452-11. Los trayectos se dividen en secciones para reflejar las distintas elevaciones a lo largo de cada parte de cada trayecto. Se recomienda adoptar incrementos igualmente separados, aunque ello no es necesario. Con la prueba de la Recomendación UIT-R P.452 se verifica si el ángulo de elevación del horizonte físico visto desde la estación terrena,  $\theta_{ES}$ , es superior al ángulo que subtiende el ángulo desde el punto de prueba costero,  $\theta_{TP}$ . Para más detalles del procedimiento, véase dicha Recomendación. Efectuando los cálculos necesarios con el Trayecto 1 se ve que  $\theta_{ES} = 0,8$  mrad y  $\theta_{TP} = -2,2$  mrad. Como  $\theta_{ES} > \theta_{TP}$ , este trayecto es transhorizonte. Véase que aunque el Trayecto 2 y el Trayecto 3 no cruzan contornos más altos que la estación terrena, sus longitudes rebasan el horizonte radioeléctrico nominal del Paso B. Por tanto, se dice que éstos son trayectos transhorizonte sin aplicación de la prueba de la Recomendación UIT-R P.452. El Trayecto 4 es más largo que el Trayecto 1 y atraviesa un contorno superior. El cálculo de los ángulos muestra que este trayecto es transhorizonte. Mediante la inspección, no se hallan otros trayectos que pudieran producir resultados distintos de los de los trayectos del mapa anterior. Por tanto, este emplazamiento de estación terrena no está a LoS de ningún punto de la costa (marca de la bajamar). La curva transhorizonte de la Fig. 4 muestra que la distancia de separación requerida para esta estación terrena es de 34 km. Como el trayecto más corto es superior a este valor, se ve que el emplazamiento de la estación terrena cumple el criterio del límite de la dfp.



Véase que el máximo verdadero en el perfil de la Fig. 3 no se utiliza realmente en los cálculos. El mapa de contornos de la Fig. 2 sólo aporta con certitud datos de elevación en incrementos de 25 m. Podría haberse utilizado una fuente de datos del terreno con mayor resolución para aprovechar la altura verdadera del terreno.

FIGURA 4

**Método 1: Curvas de la distancia de separación (distancia mínima desde la marca de la bajamar en función de la densidad de la p.i.r.e. hacia el horizonte)**



Véase que la curva de LoS se obtiene a partir de las pérdidas para los trayectos con LoS de la Recomendación UIT-R P.452-11. La curva transhorizonte es simplemente la curva de LoS desplazada hacia arriba en el eje de la p.i.r.e. en  $Y$  dB. En realidad, las pérdidas de difracción no son simplemente las pérdidas de LoS desplazadas de un valor constante. Un análisis más detallado del modelo de la Recomendación UIT-R P.452-11 muestra que puede ser necesario ajustar la curva transhorizonte.

## Anexo 2

**Método 2: Contornos de la dfp basados en datos reales del terreno, el modelo de propagación de la Recomendación UIT-R P.452-11, la p.i.r.e. de la estación terrena del SFS en una anchura de banda de 10 MHz y el diámetro y la altura sobre el suelo de su antena**

### 1 Generalidades

Este método produce un conjunto de contornos, utilizando datos reales del terreno, que muestran la distancia de separación mínima desde la marca de la bajamar o la frontera en tierra del país vecino, que tendrá que cumplir una estación terrena del SFS para respetar los límites de la dfp del número 5.502 del RR en función de la p.i.r.e. de la estación terrena y del diámetro y de la altura de

su antena. Se supone que una estación terrena del SFS instalada dentro del contorno sobre la base de su p.i.r.e. en el eje, cumple el criterio del límite de la dfp. No se requieren nuevos análisis. Este método, cuando utiliza datos más precisos que los del Método 1, permite obtener zonas mayores dentro de las cuales puede instalarse una estación terrena cumpliendo los límites de la dfp del número 5.502 del RR. No obstante, debe señalarse que la instalación en las zonas excluidas mediante este método sigue siendo posible, siempre que un posible emplazamiento pueda demostrar que cumple el criterio del límite de la dfp mediante la aplicación del Método 3 (Anexo 3). A fin de tener en cuenta las distintas pérdidas del trayecto debidas a las diferentes alturas de la antena, se han de definir contornos para una gama de alturas de estación terrena sobre el nivel local del terreno.

## 2 Descripción paso a paso del Método 2

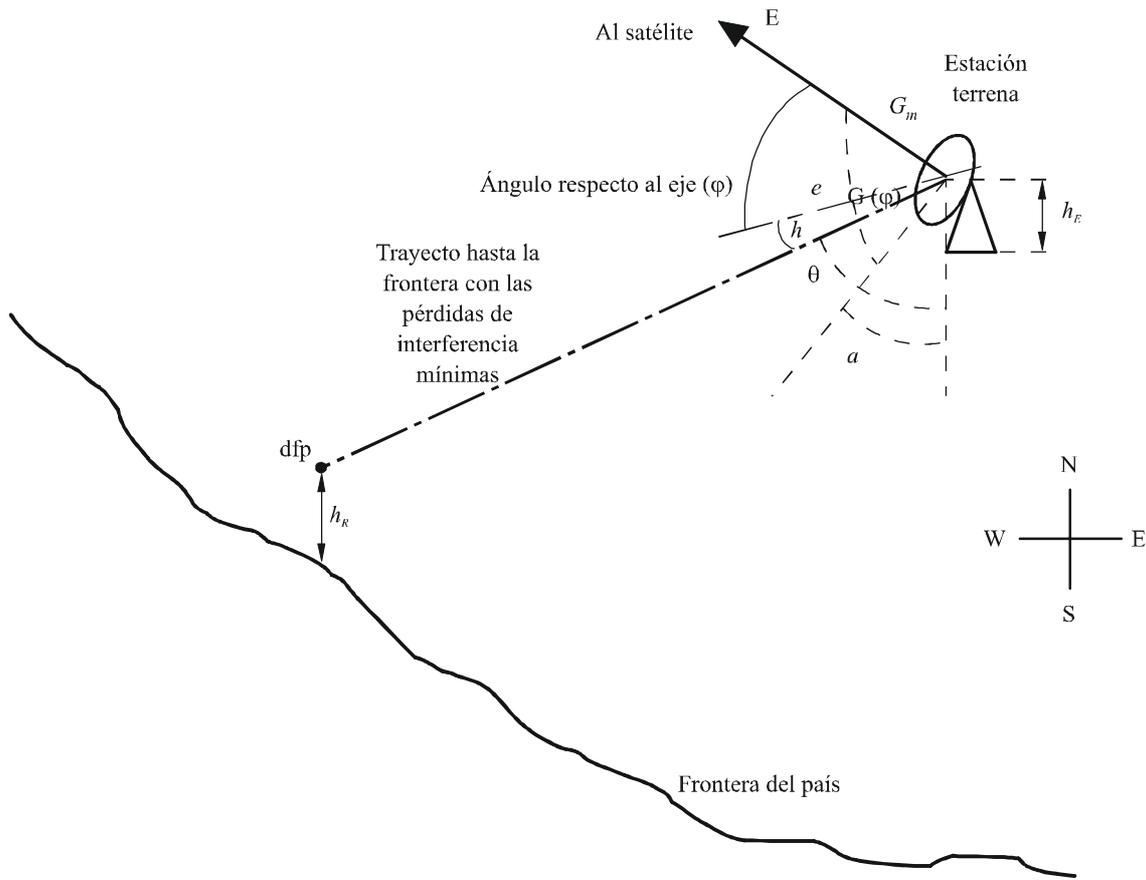
- Paso 1:* *Definición de los contornos:* Suponiendo diversas combinaciones típicas de diámetro de antena y p.i.r.e. en el eje asociada, puede definirse un conjunto de contornos para representar las zonas en las que puede instalarse la estación terrena considerada, respetando los límites del número 5.502 del RR. Teniendo en cuenta la discriminación de la estación terrena entre su dirección de puntería y la dirección en la frontera, puede asociarse un valor de las pérdidas del trayecto necesarias a cada contorno definido.
- Paso 2:* *Cálculo de los contornos:* Conociendo el valor de las pérdidas del trayecto que hay que asociar a cada contorno, y teniendo en cuenta el banco de datos reales del terreno, es posible calcular la posición de cada contorno en un mapa. El modelo de propagación que hay que utilizar es el que se describe en la Recomendación UIT-R P.452-11.
- Paso 3:* *Cumplimiento del criterio de los límites de la dfp del número 5.502 del RR:* Este cumplimiento se evalúa mediante la comparación de la posición de la estación terrena que se desea instalar dentro del contorno asociado al perfil correspondiente:
- si la posición de la estación terrena que se desea instalar está dentro del contorno asociado, la estación terrena puede instalarse sin medidas adicionales, respetando los criterios del número 5.502 del RR;
  - si la posición de la estación terrena que se desea instalar está fuera del contorno asociado, es preciso efectuar estudios adicionales sobre el entorno real del emplazamiento.

## 3 Aplicación posible del Método 2

### 3.1 Escenario de interferencia

Las Figs. 5 y 6 ilustran el escenario de interferencia en la frontera de un país que produce una estación terrena dentro del país.

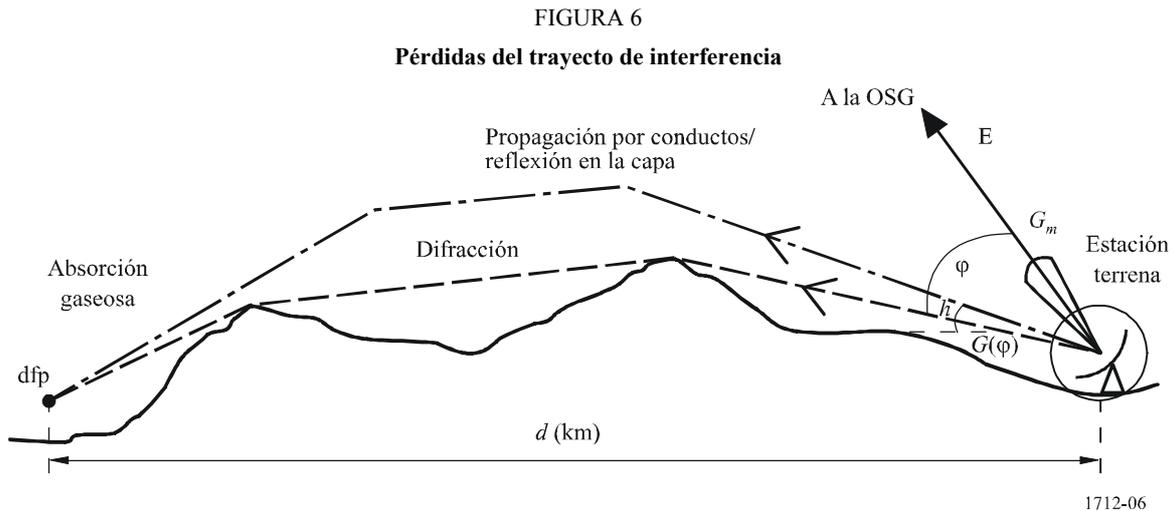
FIGURA 5  
Geometría del trayecto de interferencia



1712-05

- E: p.i.r.e. de la estación terrena hacia el satélite (dB(W/10 MHz))
- $G_m$ : Ganancia en el eje de la antena de la estación terrena (dBi)
- $G(\varphi)$ : Ganancia de la antena de la estación terrena en la dirección del horizonte a lo largo del trayecto de pérdidas mínimas hasta la frontera (dBi)
- $a$ : ángulo acimutal del eje de la antena de la estación terrena (grados al Oeste del Sur)
- $e$ : ángulo de elevación del eje de la antena de la estación terrena (grados)
- $h$ : ángulo de elevación del horizonte en la dirección del trayecto de pérdidas mínimas (grados)
- $h_E$ : altura sobre el nivel del suelo local del foco de la antena de la estación terrena (m)
- $h_R$ : altura sobre el nivel del suelo local del foco de la antena de radar (m)
- dfp: densidad de flujo de potencia de la interferencia en la frontera (dB(W/(m<sup>2</sup> · 10 MHz)))
- $\theta$ : ángulo acimutal del trayecto de pérdidas mínimas hasta la frontera (grados al Oeste del Sur).

Debe señalarse que el ángulo respecto al eje,  $\varphi$  de interés es en este caso el ángulo entre el eje del haz principal y el eje que representa la primera parte del trayecto de interferencia con pérdidas mínimas que, en general, incluye un pequeño ángulo de elevación,  $h$  (generalmente comprendido entre  $-1^\circ$  y  $+3^\circ$ ) (véase la Fig. 6).



La  $dfp$  en la marca de la bajamar o en la frontera en tierra puede calcularse por la ecuación (1):

$$dfp = E - G_m + G(\varphi) - L - 10 \log (\lambda^2/4\pi) \quad \text{dB(W/m}^2\text{)} \quad (1)$$

donde:

$L$ : pérdidas del trayecto entre antenas isótropas rebasadas durante todo el tiempo excepto el 1% del tiempo (dB)

$\lambda$ : longitud de onda (m).

En la frecuencia media de la banda de 13,875 MHz,  $\lambda = 0,02162$  m, de forma que  $10 \log (\lambda^2/4\pi) = -44,29$ . Entonces, para cumplir el límite requerido de la  $dfp$ , la recomposición de la ecuación (1) da:

$$L = E - (G_m - G(\varphi)) + 159,29 \quad \text{dB} \quad (2)$$

Si los factores del lado derecho de la ecuación (2) pueden reducirse a constantes, las zonas en las que la estación terrena cumplirá el límite de la  $dfp$  vendrán indicadas por contornos de la  $L$  constante.

El factor  $(G_m - G(\varphi))$  es la discriminación que otorga el diagrama de la antena de transmisión de la estación terrena en la dirección del trayecto de interferencia, y depende del diámetro de la antena y del diagrama de radiación, así como del ángulo respecto al eje,  $\varphi$ . Para el diagrama de radiación, es adecuado emplear los algoritmos de la Recomendación UIT-R S.580 con los lóbulos laterales, y añadir un haz principal con una caída de ley cuadrática (por ejemplo,  $G(\varphi) = G_m - 12 (\varphi/\varphi_{3\text{dB}})^2$ ) y una ganancia de cresta,  $G_m$ , correspondiente a una eficacia de iluminación del 65% (por ejemplo,  $G_m = 10 \log [(0,65)(\pi D/\lambda)^2]$  en donde  $D$  es el diámetro de la antena (m), y  $\varphi_{3\text{dB}} = 70\lambda/D$ ). Así pues, para una p.i.r.e. y un diámetro de antena de la estación terrena determinados, el valor de  $L$  necesario para cumplir justamente el límite de la  $dfp$  puede calcularse si se conoce el valor pertinente de  $\varphi$ .

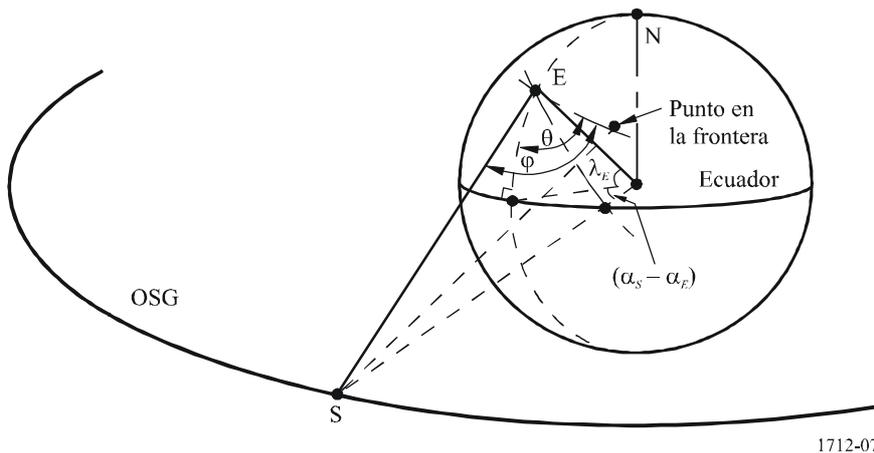
La altura de la estación terrena sobre el terreno,  $h_E$ , debe determinarla la administración en cuestión, conforme al tipo de instalación previsto. Por ejemplo, los contornos que se indican más adelante en este Anexo se calcularon para una  $h_E = 11,2$  m. Este nivel implica terminales montados muy en alto. Si se prevé una estación terrena con un montaje en estructuras con terraza plana de una sola altura (tales como las de una estación de gasolina), un valor de 5 a 6 m sería el adecuado. Debe actuarse con cautela para evitar el montaje de estaciones terrenas sobre la altura utilizada para construir los contornos, a fin de no rebasar el nivel permitido de la  $dfp$  en la marca de la bajamar. Para el montaje en edificios de talleres de un entorno urbano, pueden ser necesarios valores de la  $h_E$  aún mayores. En un entorno urbano, los trayectos fuera del eje de la estación terrena para dichos emplazamientos

pueden resultar bloqueados por ecos parásitos considerables. En cualquier caso, dicho nivel de detalle excede el propósito del Método 2. Este método debe basarse en despliegues «típicos» más que en casos extremos.

### 3.2 Ángulo respecto al eje de la estación terrena para una dfp máxima en la marca de la bajamar o en la frontera en tierra

De la Fig. 5 puede verse que el ángulo respecto al eje depende de la dirección hacia la marca de la bajamar o la frontera en tierra, y de los ángulos de acimut,  $a$ , y elevación,  $e$ , con los que apunta la antena de la estación terrena. De la Fig. 6 puede verse que, en pequeña medida,  $\varphi$  depende también del ángulo de elevación,  $h$ , del horizonte local. A partir de los diagramas de referencia del UIT-R se ve que, para ángulos respecto al eje relativamente pequeños, la discriminación de la antena aumenta bastante rápidamente (proporcionalmente a  $25 \log(\varphi)$ ), pero para ángulos más grandes tiende a aplanarse. La dirección del trayecto de pérdidas mínimas hacia la marca de la bajamar o de la frontera depende parcialmente de la geografía del terreno entre la frontera y la estación terrena – es decir, el trayecto de pérdidas mínimas tiende a situarse en una dirección acimutal próxima a aquélla en que la distancia a la frontera es mínima y parcialmente de la naturaleza del terreno (en terreno ondulado el trayecto de pérdidas mínimas puede coincidir con el trayecto más corto). Si la dirección del trayecto más corto está próxima a la dirección de puntería acimutal de la antena de la estación terrena y el ángulo de elevación de la antena es reducido, aun cuando el trayecto más corto no sea el de pérdidas mínimas, puede producirse la dfp máxima porque el efecto de la discriminación de la antena supera al efecto del terreno. No obstante, como el ángulo acimutal,  $\theta$ , del trayecto de pérdidas mínimas hasta la frontera puede ser cualquiera comprendido entre  $0$  y  $\pm 180^\circ$  con respecto al Sur, conviene examinar cómo varía  $\varphi$  con  $\theta$  para distintas combinaciones de  $a$  y  $e$ . Los propios valores de  $a$  y  $e$  dependen de la latitud de la estación terrena,  $\lambda_E$ , y de su longitud,  $\alpha_E$ , con relación a la longitud,  $\alpha_S$ , del satélite hacia el que transmite.

FIGURA 7  
Relación entre el ángulo respecto al eje y la dirección de puntería hacia la frontera



1712-07

A partir de la geometría de la Fig. 7, se calculó el ángulo respecto al eje  $\varphi$  (con  $h = 0^\circ$ ) para valores del ángulo  $\theta$  en incrementos de  $5^\circ$  desde  $-180^\circ$  a  $+180^\circ$ , con estaciones terrenas en diversas latitudes y en el caso de una gama de diferencias de longitud entre la estación terrena, E, y el satélite S, abarcando con ello la mayoría de las situaciones prácticas. Considerando el caso general de estaciones terrenas, todas las direcciones del trayecto de pérdidas mínimas hasta la marca de la bajamar o de la frontera en tierra tienen igual probabilidad. Por tanto, es posible convertir los datos

obtenidos de esa manera en distribuciones de probabilidad acumulada de  $\varphi$ . Ajustando estos resultados para que  $h = +3^\circ$ , se vio que en el caso de estaciones terrenas a  $\pm 10^\circ$  de latitud, por ejemplo,  $\varphi$  es mayor de  $48^\circ$  para el 96% de las direcciones acimutales. De forma similar, en el caso de estaciones terrenas a  $\pm 35^\circ$  de latitud,  $\varphi$  es mayor de  $48^\circ$  para el 92% de las direcciones acimutales, y si las estaciones terrenas están en latitudes de  $\pm 60^\circ$ ,  $\varphi$  excede de  $48^\circ$  para el 91% de las direcciones acimutales. Como  $48^\circ$  es el ángulo respecto al eje en el que los diagramas de ganancia de la Recomendación UIT-R S.580 se aplanan, puede considerarse entonces la discriminación de la antena de la estación terrena como constante en un intervalo comprendido entre el 91% y el 96% de los casos. El valor de dicha discriminación depende del diámetro de la antena que se indica en el Cuadro 1 para antenas con eficacia de 65%:

CUADRO 1

**Discriminación máxima de la antena a partir de la Recomendación UIT-R S.580**

Diámetro de la antena (m)	1,2	1,5	1,8	2,1	2,6	3,1	4,5
Discriminación ( $G_m - G(\varphi)$ ) para $\varphi \geq 48^\circ$ (dB)	53,0	54,9	56,5	57,8	59,7	61,2	64,4

De los resultados de los cálculos descritos en el párrafo anterior se vio que los valores mínimos del ángulo respecto al eje se producen con valores de  $\theta$  no muy alejados de la diferencia en longitud entre el satélite y la estación terrena. Por tanto, aunque es «prudente» emplear la metodología actual para la gran mayoría de los casos, si un emplazamiento de estación terrena está dentro del contorno pertinente de su p.i.r.e. y tamaño de antena, o es próximo a él, y hay razones que permiten creer que el trayecto de pérdidas mínimas hasta la marca de la bajamar o la frontera en tierra (por ejemplo, el trayecto al punto más próximo cae aproximadamente en la dirección acimutal del satélite) y el ángulo de elevación al satélite es inferior a  $(48^\circ + h)$ , será necesario efectuar un cálculo individual de la dfp, más que basarse en el contorno. No obstante, esto sólo será necesario en muy pocos casos, dependiendo principalmente de la latitud del país en el que se pretende instalar la estación terrena del SFS. En los casos en que las estaciones terrenas del SFS funcionan por encima de un cierto ángulo de elevación (por ejemplo  $48^\circ + h$  para el diagrama de antena de la Recomendación UIT-R S.580), la densidad de la p.i.r.e. hacia el horizonte será constante en todos los acimuts. En dichos casos, los contornos correspondientes a la distancia requerida pueden calcularse en función de la potencia de entrada a la antena, y son independientes del tamaño de ésta.

En casos excepcionales en los que el emplazamiento de la estación terrena no están dentro del contorno pertinente a la p.i.r.e. y el tamaño de la antena en cuestión, pero próximo a él, el ángulo de elevación es inferior a  $51^\circ$  (es decir,  $48^\circ + 3^\circ$ ) y el ángulo acimutal hacia el satélite se acerca a la dirección del trayecto de pérdidas mínimas hasta la frontera, el ángulo respecto al eje ( $\varphi$ ) debe calcularse a partir de la expresión  $\varphi = \cos^{-1}[\cos(\theta - a)\cos(e)\cos(h) + \sin(e)\sin(h)]$  (grados). Si el resultado es inferior a  $48^\circ$ , la estación terrena puede rebasar el límite de la dfp en la frontera mediante la diferencia entre la ganancia fuera del eje obtenida conforme a la Recomendación UIT-R S.580 para el caso particular del ángulo respecto al eje y  $-10$  dBi, si está exactamente en el contorno, o menos si está dentro de él. Este exceso puede eliminarse cambiando el emplazamiento de la estación terrena a otro situado más en el interior del contorno, reduciendo la p.i.r.e., añadiendo un apantallamiento a nivel local, o mediante una combinación de algunos de estos factores o de todos ellos, dependiendo de las circunstancias. En el caso más desfavorable (y muy improbable) en que  $e = 10^\circ$ ,  $h = 3^\circ$  y  $\theta = a$ , puede necesitarse hasta 17,9 dB de dicha reducción.

### 3.3 Consideraciones relativas a la p.i.r.e. de la estación terrena (E)

El factor pendiente de resolver en la ecuación (2) es E. Para asegurarse de que cualquiera de los contornos producidos abarcará la mayoría de los niveles de la p.i.r.e. de estación terrena que probablemente transmitan estaciones con pequeñas parábolas en la banda 13,75-14 GHz, se efectuó un análisis estadístico de las respuestas al Cuestionario en la Circular Administrativa CA/90 publicado en 2002 por la Oficina de Radiocomunicaciones en nombre del Grupo de Tareas Especiales Mixto 4-7-8. La respuesta se basaba en la práctica habitual en la banda 14-14,5 GHz, aunque es razonable prever que a partir de ahora se desarrolle un esquema similar en la banda 13,75-14 GHz. Las respuestas revelaron la preponderancia de las antenas con diámetros particulares en la gama de interés, que se indica en el Cuadro 1. Convenía pues analizar los datos en cuatro gamas de diámetros de antena, a saber 1,2-1,5 m, 1,5-2,1 m, 2,1-3,1 m y 3,1-4,5 m, los resultados se obtuvieron en forma de función de distribución acumulativa que muestran el porcentaje de estaciones terrenas en función de la p.i.r.e. máxima en 10 MHz.

A partir de estas funciones de distribución acumulada se dedujo que la gama de E que ha de considerarse está comprendida entre 83 dBW, lo que cubriría el 90% de las estaciones terrenas con los diámetros de antena más grandes (por debajo de 4,5 m), y 35 dBW, que cubriría únicamente el 30% de las estaciones terrenas con los diámetros de antena más pequeños (por encima de 1,2 m).

### 3.4 Bases para los contornos

La información resumida en los § 2 y 3 permitía utilizar la ecuación (2) para identificar valores discretos de  $L$ , pérdidas del trayecto que han de rebasarse durante el 99% del tiempo, a fin de cumplir el límite de la d<sub>fp</sub> en un número de casos adecuados. La obtención de contornos correspondientes a estos valores de  $L$  definiría entonces la superficie de un país en el que podrían instalarse estaciones terrenas que no rebasen los niveles pertinentes de la p.i.r.e., sin reducción de la interferencia o necesidad de realizar análisis de emplazamientos individuales, y se cumpliría automáticamente el límite de la d<sub>fp</sub> en cualquier punto de la marca de la bajamar o de la frontera en tierra. Mediante el método de prueba y error se vio que en casos típicos habría cinco contornos adecuados, y la base de ellos se resume en el Cuadro 2 que se compuso a partir de la ecuación (2) y la información de los § 3.2 y 3.3.

CUADRO 2

#### Diámetro de antena y combinaciones de la p.i.r.e. de estación terrena para contornos adecuados

Contorno de referencia	Gama de diámetros de antena ( $D$ m) y ( $G_m - G(48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ)$ ) para tamaño mínimo en la gama				Pérdidas del trayecto, $L$ , rebasadas durante el 99% del tiempo (dB)
	$1,2 \leq D < 1,5$ $G_m - G(\varphi) = 53,0$ dB	$1,5 \leq D < 2,1$ $G_m - G(\varphi) = 54,9$ dB	$2,1 \leq D < 3,1$ $G_m - G(\varphi) = 57,8$ dB	$3,1 \leq D < 4,5$ $G_m - G(\varphi) = 61,2$ dB	
	E (dB(W/10 MHz))	E (dB(W/10 MHz))	E (dB(W/10 MHz))	E (dB(W/10 MHz))	
A	$\leq 36,5$	$\leq 38,4$	$\leq 41,3$	$\leq 44,7$	142,8
B	$\leq 45,5$	$\leq 47,4$	$\leq 50,3$	$\leq 53,7$	151,8
C	$\leq 54,5$	$\leq 56,4$	$\leq 59,3$	$\leq 62,7$	160,8
D	$\leq 63,5$	$\leq 65,4$	$\leq 68,3$	$\leq 71,7$	169,8
F	$\leq 72,5$	$\leq 74,4$	$\leq 77,3$	$\leq 80,7$	178,8

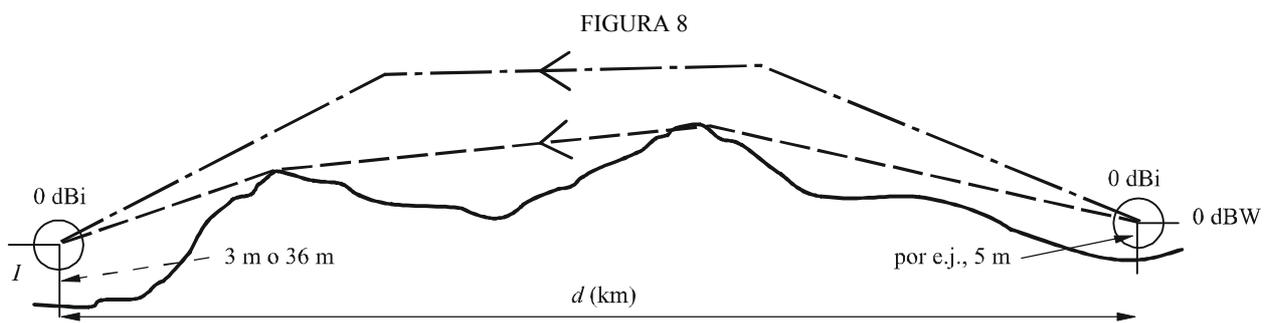
Así pues, por ejemplo, las estaciones terrenas con antenas de diámetro comprendido entre 2,1 m y 3,1 m y con valores de la p.i.r.e. transmitida de hasta 59,3 dB(W/10 MHz) cumplirán el límite de la dfp en la marca de la bajamar o en la frontera en tierra sin reducción de la interferencia, si se sitúan en cualquier punto más allá de la marca de la bajamar o de la frontera en tierra de un contorno definido por las pérdidas del trayecto de 160,8 dB no rebasadas durante más del 1% del tiempo (contorno de referencia C).

Utilizando la información resumida en los § 2 y 3, es posible interpolar entre contornos basados en estas cinco pérdidas del trayecto. Además, como los valores de  $L$  en filas adyacentes están separados de 9 dB, la ventaja de la adición de 9, 18 ó 27 dB de apantallamiento del emplazamiento local a una estación terrena puede deducirse del Cuadro; tomando el ejemplo del párrafo anterior, la adición de 9 dB de apantallamiento del terreno permitiría instalar la estación terrena hasta en el contorno B, o dejarla en el contorno C, pero incrementando su p.i.r.e. hasta 68,3 dB(W/10 MHz).

### 3.5 Cálculo de los contornos

Las pérdidas en un trayecto sobre tierra pueden calcularse añadiendo (en paralelo) los efectos de la propagación en el espacio libre, la absorción gaseosa, la difracción, el efecto de la propagación por el conducto troposférico y la reflexión en las capas, a partir de los datos y algoritmos de la Recomendación UIT-R P.452. Para un emplazamiento determinado de estación terrena y con el fin de asegurar que no se rebasa el límite de la dfp, es necesario hallar la línea de pérdidas mínimas hasta la marca de la bajamar o la frontera en tierra. En el caso de terreno plano, será la línea entre la estación terrena y el punto más próximo en la marca de la bajamar o en la frontera en tierra del país vecino (denominada en este punto «frontera»), pero no será éste siempre el caso cuando el terreno sea ondulado de forma moderada o aguda. Así pues, para el presente ejercicio se necesita un banco de datos electrónico que contenga las alturas sobre el nivel del mar a lo largo de toda la zona en cuestión, con una resolución lo más fina posible. Puede utilizarse aquí la técnica indicada a continuación.

Tomando el terreno del perfil de la Fig. 6 como ejemplo, el punto de medición de la dfp puede sustituirse por un receptor alimentado por una antena receptora isótropa, y la estación terrena transmisora del SFS puede sustituirse por una antena transmisora isótropa, como en la Fig. 8 :

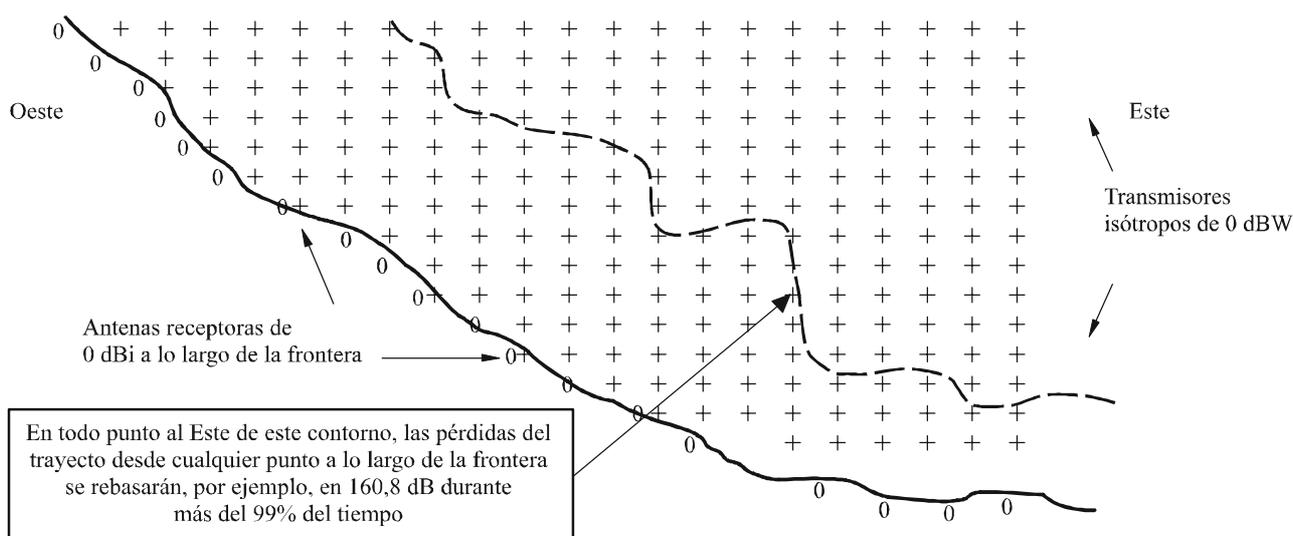


1712-08

Entonces, el nivel de la señal recibida  $I$ , viene dado por  $I = 0 + 0 - L + 0$  dBW. Dicho de otra manera, el nivel de  $I$  (dBW) es numéricamente igual al valor con signo menos de las pérdidas del trayecto  $L$ , (dB), y ello es así con independencia de la dirección de puntería del receptor respecto al transmisor. Para los fines actuales,  $I$  debe calcularse en la forma que describe la Recomendación UIT-R P.452-11 para el 1% del tiempo.

Debe construirse un modelo informático que incorpore un banco de datos del terreno del país o de la zona de interés y que contenga terminales receptores isótropos a pequeños intervalos adecuados a lo largo de la marca de la bajamar o de la frontera en tierra. Debe añadirse una retícula de radiadores isótropos igualmente separados de 0 dBW que cubran todo el país o la zona en cuestión. Entonces, la contribución a  $I$  en todos y cada uno de los receptores generada por todos y cada uno de los transmisores debe calcularse utilizando las técnicas de la Recomendación UIT-R P.452-11 para evaluar las pérdidas rebasadas durante todo el tiempo excepto el 1%, y deben guardarse por separado todos los valores para cada receptor. El soporte lógico debe ser tal que identifique la contribución máxima individual a  $I$  de cada receptor, y también el transmisor individual en la retícula al que se debe ello<sup>2</sup>. Seleccionando entonces los transmisores para los que la contribución máxima a  $I$  es lo más próxima al valor con signo negativo de la  $L$  requerida, puede construirse un contorno trazando la línea entre dichos transmisores. Para mejorar la precisión, es posible utilizar la interpolación lineal entre pares de transmisores correspondientes a las contribuciones máximas a  $I$  que sean los más próximos por encima y por debajo del valor objetivo, tal como se ilustra en la Fig. 9.

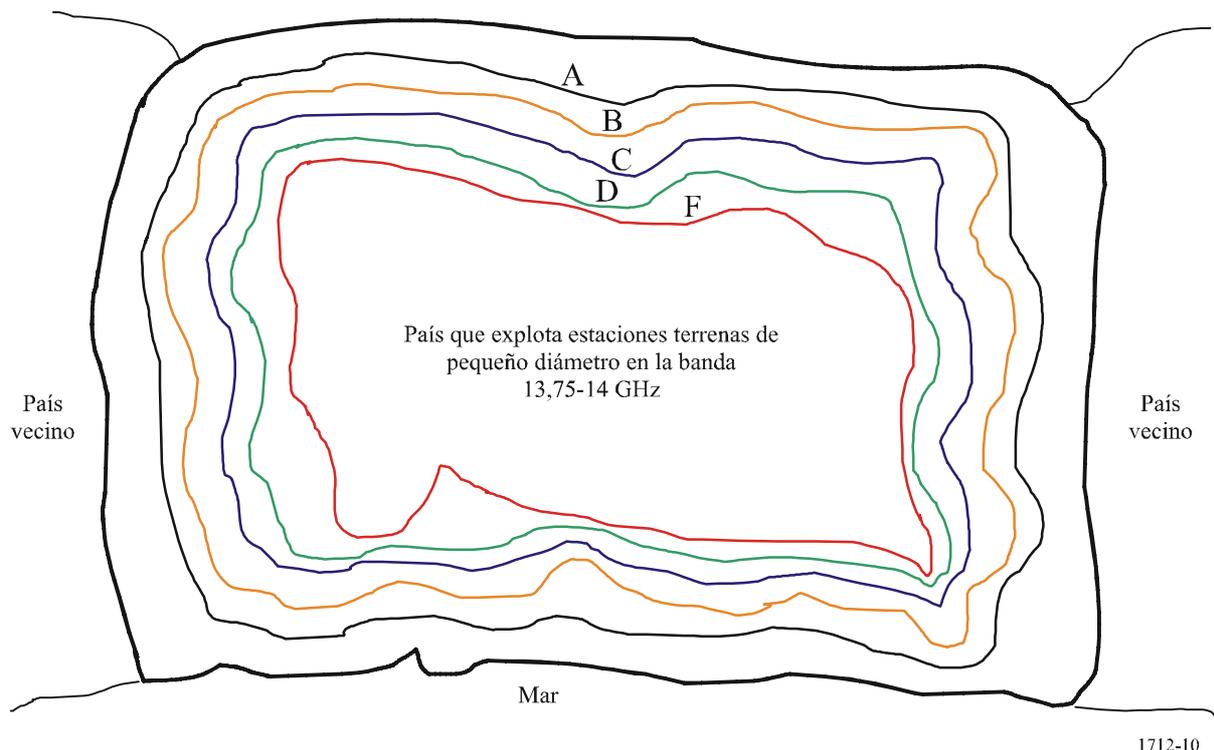
FIGURA 9



<sup>2</sup> Este último aspecto permite identificar el trayecto de pérdidas mínimas hasta la frontera para todo punto individual en el contorno, en los casos en que haya duda en cuanto al cumplimiento del límite de la dfp. Del perfil del terreno de dicho trayecto puede hallarse  $h$ .

FIGURA 10

País vecino



En la zona comprendida entre un contorno y la marca de la bajamar o la frontera en tierra puede ser posible explotar estaciones terrenas de pequeño diámetro, si se aplican técnicas de reducción de la interferencia, tales como las de restricción a portadoras de p.i.r.e. inferior y/o apantallamiento del emplazamiento local, aunque ello hay que determinarlo caso por caso. En cada circunstancia, puede utilizarse la metodología actual para determinar el trayecto de pérdidas mínimas entre el emplazamiento y la marca de la bajamar o la frontera en tierra, y las pérdidas de dicho trayecto, y ello determinaría el grado de reducción necesario.

Conviene señalar que, en casos particulares en los que se prevé explotar siempre estaciones terrenas de parábola pequeña transmitiendo a un único emplazamiento en la OSG, pueden calcularse contornos específicos del sistema adaptando la metodología de forma que cada punto (+) de la retícula de la Fig. 9 incluya una antena apuntando hacia dicho emplazamiento.

### 3.6 Ejemplos de aplicación de la metodología descrita en los § 3.1 a 3.5

Utilizando un programa informático patentado que incorpora un banco de datos mundial del terreno con una resolución horizontal de 1 km y una resolución vertical de 1 m, se empleó la metodología precedente para construir modelos de ocho zonas diferentes, con objeto de abarcar diversos tamaños de país, tipos de terreno y climas. Para cada punto de recepción sobre una costa (en estos ejemplos se estableció en la costa la marca de la bajamar) se fijó la altura de la antena en 36 m y para los puntos de recepción en fronteras en tierra la altura se establecía en 3 m. A fin de elaborar contornos que abarcasen cada uno toda la gama de tamaños de antenas de estación terrena, fue necesario seleccionar una única altura para todos los puntos de transmisión. Se eligió una altura de transmisión de 11,2 m en los cálculos actuales. Todas las zonas seleccionadas se encuentran en partes muy pobladas del mundo. El Cuadro 3 enumera los detalles.

CUADRO 3

## Características de los modelos informáticos construidos

Zona geográfica	Tamaño del país	Clima ( $\Delta N$ ) <sup>(1)</sup>	Tipo de terreno	Separación de receptores (km)	Intervalo de la retícula de transmisores (km)	Número de trayectos calculados <sup>(2)</sup>
Cuenca del Mississippi	Grande	Templado (51)	No ondulado	10	10	455 224
Sur de Inglaterra	Medio	Templado (45)	Medio	10	5	83 582
Sur de Turquía	Medio	Templado (45)	Ondulado	10	10	300 000
India Noroccidental	Grande	Tropical (60)	No ondulado	10	10	702 450
México Central	Medio	Tropical (60)	Ondulado	10	10	691 114
Cuba	Isla estrecha y alargada	Tropical (55)	Medio a no ondulado	10	10	346 626
Java	Isla estrecha y alargada	Tropical (60)	Medio a ondulado	10	10	288 144
Chipre	Pequeña isla	Templado (50)	Medio	6	4	252 960

<sup>(1)</sup>  $\Delta N$  es la tasa media de variación del índice de refracción radioeléctrica a lo largo del kilómetro inferior de la atmósfera, que depende significativamente del clima y es necesaria para el método de cálculo de las pérdidas del trayecto de la Recomendación UIT-R P.452.

<sup>(2)</sup> Es decir, número de puntos de transmisión en la retícula, multiplicado por el número de puntos de recepción en la frontera.

A fin de obtener los contornos completos que se ilustran en la Fig. 10, es necesario establecer un modelo de toda la frontera de un país, lo que para países grandes exigiría la inclusión de grandes números de puntos de transmisión y recepción y los correspondientes tiempos prolongados de construcción y cálculo. Además, habría que disponer de la capacidad de imprimir en una hoja mucho más grande que la de tamaño A4, a fin de utilizar dichos contornos completos con precisión. En teoría, se utilizaría un banco de datos del terreno de resolución superior a la utilizada aquí, y para obtener sus ventajas, la separación entre puntos de transmisión adyacentes y entre puntos de recepción adyacentes sería menor, lo que haría aumentar aún más los tiempos de construcción del modelo y de cálculo. A la vista de estos factores, probablemente es más conveniente para una administración establecer modelos de partes de su país por separado, especialmente si se requieren los contornos prácticos más precisos.

En las Figs. 11, 12 y 13 se muestran ejemplos de los resultados obtenidos para las zonas enumeradas en el Cuadro 3, y puede verse que se representan contornos correspondientes a combinaciones de diámetro de la antena de la estación terrena y de p.i.r.e. definidas en el Cuadro 2. Por razones de conveniencia los contornos se denominan A, B, C, D y F, como en el Cuadro 2 y la Fig. 10, y se representan con distintos colores para facilitar la lectura.

En total, se vio que con el conjunto completo de resultados se demostraba de forma adecuada la eficacia de la metodología de este Anexo para determinar dónde podía situarse la gran mayoría de estaciones terrenas del SFS que utilizan la banda 13,75-14 GHz sin rebasar los límites de la dfp del número 5.502 del RR. No obstante, para la evaluación de los emplazamientos próximos a los contornos sería preferible que los operadores del SFS de los países en cuestión utilicen mapas más detallados, un banco de datos del terreno con resolución superior y una densidad mayor de puntos de transmisión y recepción por modelo.

#### **Fig. 11, Cuenca del Mississippi, Estados Unidos de América**

Tal como se preveía, los contornos de los valores mínimos de la p.i.r.e. son los más próximos a la marca de la bajamar, mientras que los de valores máximos de la p.i.r.e. son los más alejados de dicha marca. Las distancias medias desde la marca de la bajamar oscilan entre unos 30 km para el contorno A, y unos 130 km para el contorno F, y de esta manera, las zonas comprendidas entre contornos y la marca de la bajamar representan zonas bastante amplias en las que las estaciones terrenas que transmitan los valores de la p.i.r.e. indicados y sin apantallamiento del emplazamiento u otra técnica de reducción de la interferencia no podrán utilizar legalmente la banda 13,75-14 GHz. Esto se plantea porque el terreno de la Cuenca del Mississippi es relativamente plano y por tanto, las pérdidas de difracción son relativamente pequeñas. Afortunadamente, Estados Unidos de América es un país grande, de forma que la proporción de su masa de tierra en la que la utilización de la banda por el SFS encontraría restricciones es bastante pequeña.

#### **Fig. 12, México central**

El hecho de que México sea un país montañoso y esté casi todo él muy alto sobre el nivel del mar, permite explotar estaciones terrenas en la gran mayoría de su territorio sin rebasar el límite de la dfp en sus fronteras. El terreno próximo a la costa meridional es tal que hay poca diferencia entre los cinco contornos, y únicamente las estaciones terrenas dentro de una media de unos 20 km del mar se encontrarán con restricciones en la banda 13,75-14 GHz. En las proximidades de la costa septentrional, encontrarán restricciones las estaciones terrenas situadas en una zona bastante más grande, debido a la existencia de algunos terrenos relativamente bajos alrededor de valles de ríos, aunque aun en ese caso las distancias medias entre el contorno y el mar son inferiores a las de la India Noroccidental o de la Cuenca del Mississippi, a pesar de que se trate de un clima tropical.

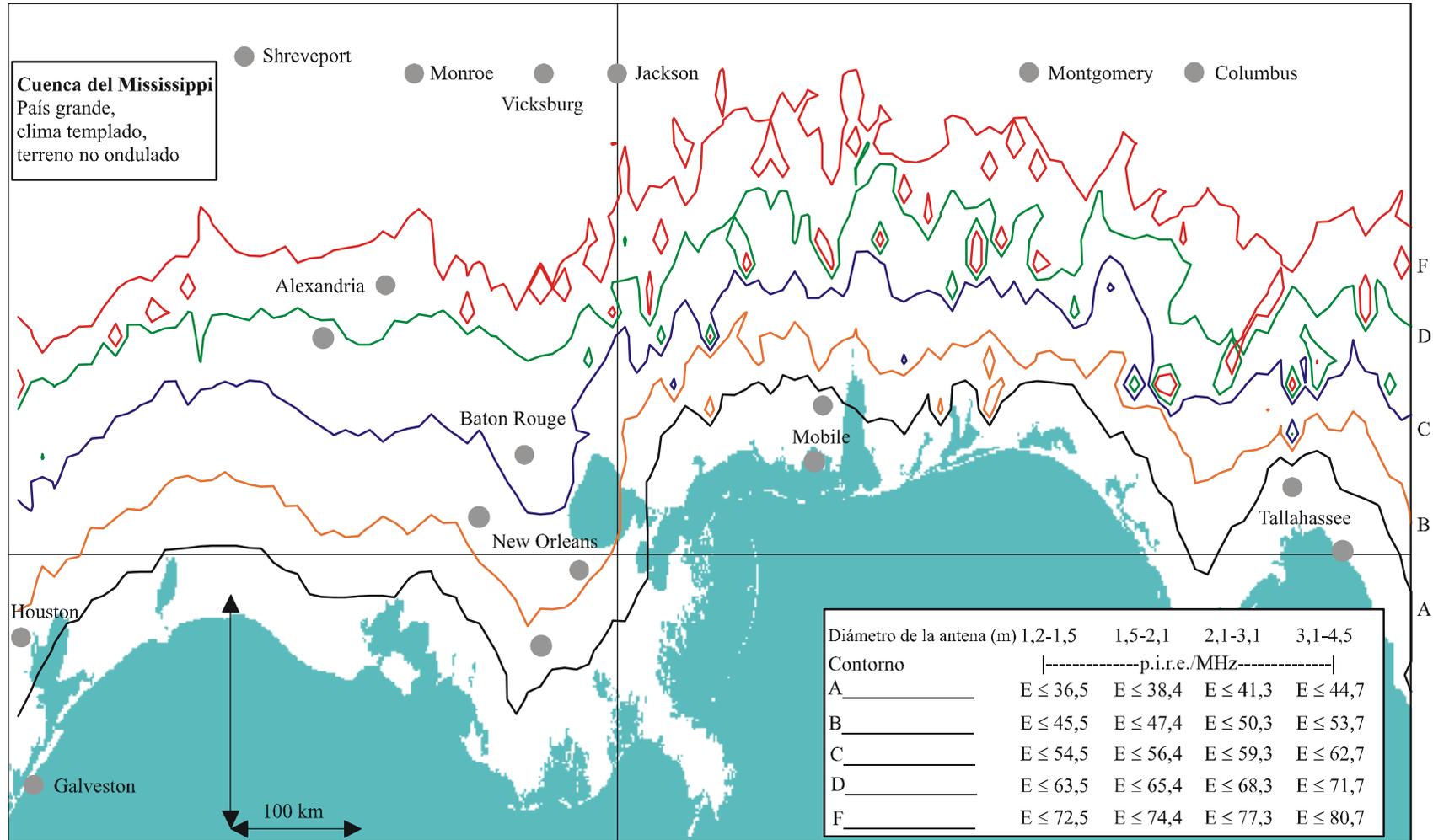
#### **Fig. 13, Cuba (Caribe)**

Evidentemente, aunque el contorno A abarca la mayor parte de Cuba, los contornos B, C, D y F abarcan únicamente proporciones pequeñas o muy pequeñas de esta isla estrecha y por tanto se necesitará una o más de las técnicas de reducción de la interferencia descritas en el Anexo 4, a menos que se considere satisfactoria la situación únicamente para la explotación de portadoras con valores reducidos de la p.i.r.e. (véase el Cuadro 2). En consecuencia, se adaptó el cálculo para lograr un contorno adicional G, que corresponde a unas pérdidas mínimas del trayecto hasta la marca de la bajamar para todo el tiempo excepto el 1%, de 138 dB, es decir, unos 5 dB menos que en el caso del contorno A. Se deduce que si puede aplicarse una reducción de la interferencia de 5 dB a una estación terrena que se ajuste a la primera fila del Cuadro 2, el límite de la dfp se cumplirá con una estación terrena que esté situada en cualquier punto dentro del contorno G. De forma similar, si puede aplicarse una reducción de 14 dB a una estación terrena conforme a la segunda fila del Cuadro 2, la estación terrena podrá estar situada en cualquier punto dentro del contorno G. Y una reducción de 23 dB para la tercera fila, etc.

Además, la aplicación de 9 dB de reducción de interferencia a toda estación terrena que se ajuste a unas de las filas del Cuadro 2 permitiría situarla dentro del contorno definido por la siguiente fila superior del Cuadro.

FIGURA 11

Contornos más allá de los cuales las estaciones terrenas sin apantallamiento cumplen la  $dfp = -115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ MHz))}$  en la costa, durante el 99% del tiempo



90° W

1712-11

FIGURA 12

Contornos más allá de los cuales las estaciones terrenas sin apantallamiento cumplen la  $dfp = -115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ MHz))}$  en la costa, durante el 99% del tiempo

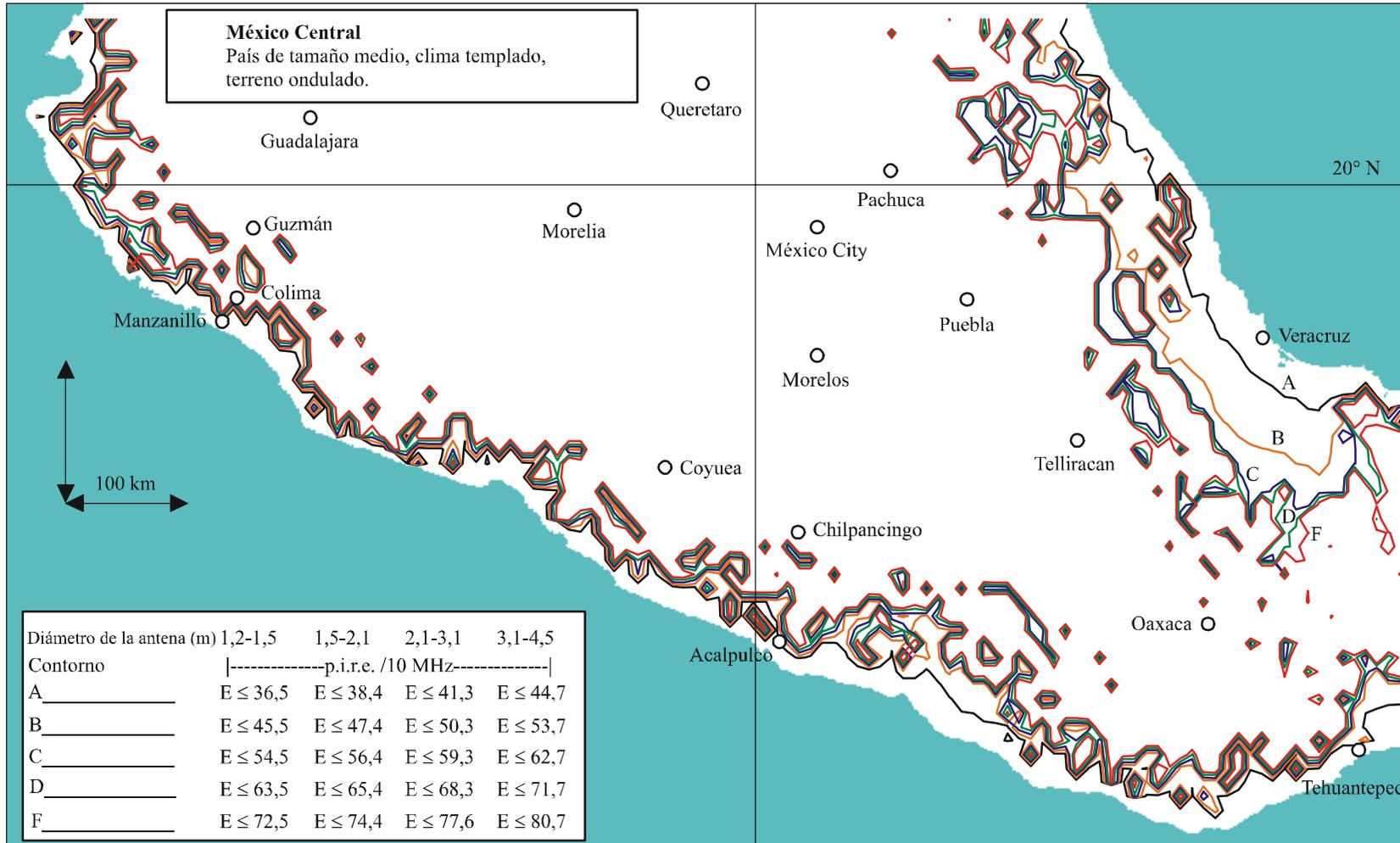
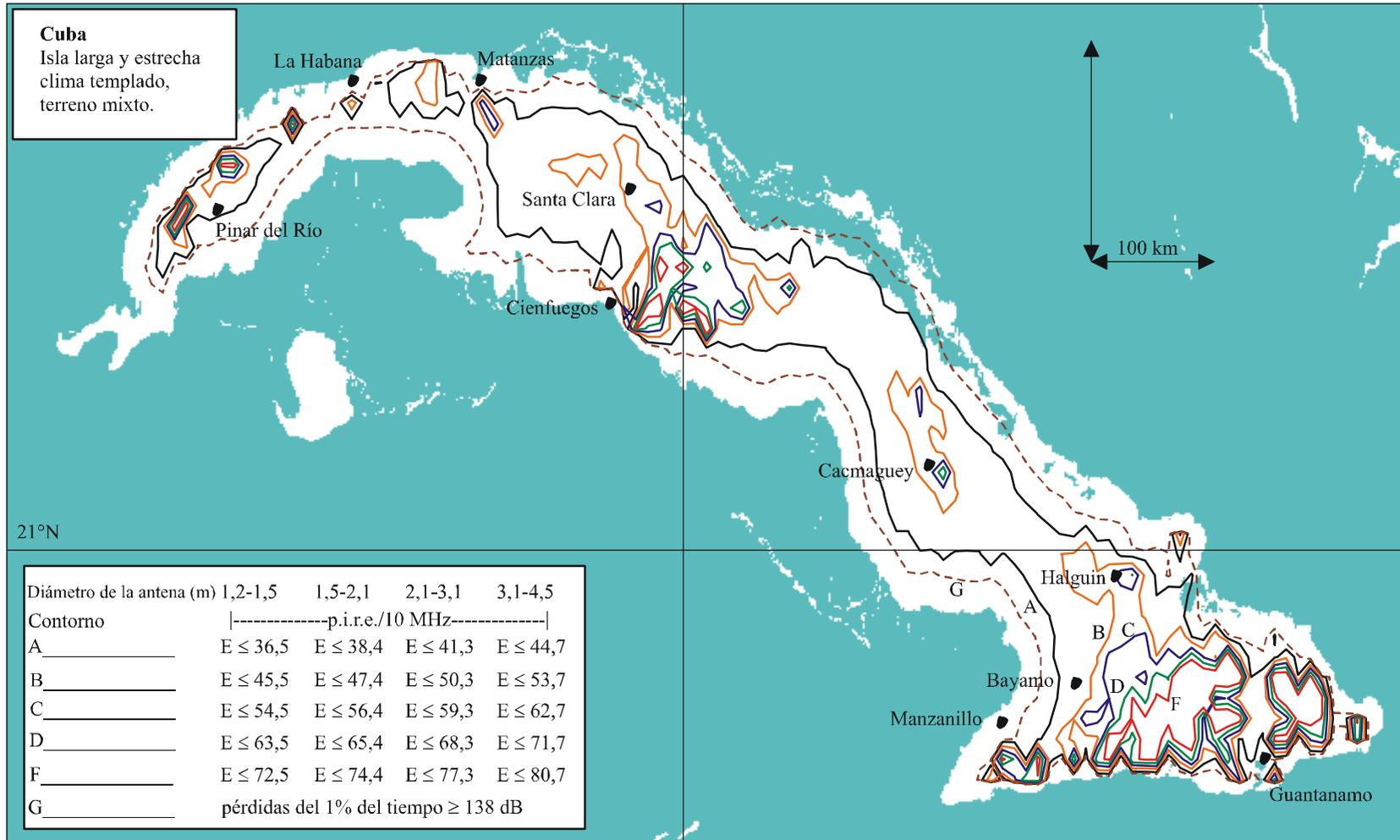


FIGURA 13

Contornos más allá de los cuales las estaciones terrenas sin apantallamiento cumplen la  $d_{fp} = -115 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ MHz))}$ , en la costa, durante el 99% del tiempo



### Anexo 3

#### **Método 3: Método para verificar el cumplimiento por una estación terrena del SFS de los límites de la dfp del número 5.502 del RR sobre la base de un análisis específico del emplazamiento**

##### **1 Generalidades**

La base de este método es realizar un análisis específico del emplazamiento para cada estación terrena del SFS que se instale. La instalación puede avanzar si el análisis muestra que la estación terrena puede cumplir el criterio de los límites de la dfp del número 5.502 del RR. El análisis se efectúa utilizando datos digitales del terreno, junto con parámetros de la estación terrena del SFS, modelos adecuados de la propagación y cualquier otra atenuación debida al apantallamiento natural o artificial. Se prevé que el Método 3 se utilizará únicamente cuando no pueda demostrarse que un emplazamiento potencial cumple los límites de la dfp utilizando el Método 1 o Método 2.

##### **2 Descripción del Método 3**

*Paso 1:* Se requieren datos digitales del terreno que incluyan el emplazamiento de la estación terrena y la zona circundante. Los datos deben incluir una superficie suficiente para efectuar razonablemente el análisis de la dfp. Se recomienda que la resolución de los datos digitales del terreno utilizados sea al menos de 30 s de arco horizontalmente y de 1 m verticalmente (por ejemplo, GTOPO30 o GLOBE). Si la administración dispone de un método con resolución mayor se recomienda su utilización.

*Paso 2:* Se requerirán para el análisis los parámetros de la estación terrena del SFS a instalar. Ello incluye el tamaño de la antena de la estación terrena, la altura sobre el terreno, la densidad espectral de la portadora y la asignación o asignaciones del satélite OSG. El diagrama de radiación de la estación terrena de referencia adecuado para este método podría ser el que aporte el operador de la estación terrena o uno que figure en las Recomendaciones UIT-R pertinentes. Véase que si se prevé que la estación terrena pueda tener direcciones de puntería ampliamente diferentes, bien porque se la pueda reasignar en algún momento futuro o porque se necesite un satélite OSG alternativo durante el despliegue inicial, habrá que efectuar el análisis específico del emplazamiento para cada una de esas direcciones de puntería.

*Paso 3:* Al igual que en los dos primeros métodos, el modelo de propagación que mejor se adapta al análisis específico del emplazamiento es el de la Recomendación UIT-R P.452-11.

*Paso 4:* Los parámetros de la estación terrena del SFS, los datos digitales del terreno y los modelos de propagación permiten calcular las pérdidas del trayecto en todas las direcciones alrededor del emplazamiento potencial. Eso a su vez da la dfp en la marca de la bajamar o en la frontera en tierra del país vecino producida por la estación. Si se cumple el criterio de los límites de la dfp del número 5.502 del RR, la instalación puede avanzar. De no ser así, puede ser necesario aplicar técnicas adicionales de reducción de la interferencia. Debe señalarse que en algunos emplazamientos, especialmente los que están en la línea de LoS de la marca de la bajamar o de la frontera en tierra, la instalación puede ser difícil. Puede aplicarse a este método una atenuación adicional debida al apantallamiento natural o artificial del emplazamiento. La determinación del

nivel preciso de atenuación debida al apantallamiento del emplazamiento exigirá nuevos estudios, con una combinación de análisis que utilicen los modelos anteriores.

*Paso 5:* Es preciso realizar un estudio del emplazamiento en el que se mida el perfil horizontal alrededor de la estación terrena y a partir del cual pueda obtenerse la atenuación derivada del apantallamiento del emplazamiento que se aplicará en los cálculos para determinar la dfp en la marca de la bajamar o en la frontera en tierra producida por la estación.

## Anexo 4

### **Consideraciones adicionales para que los países pequeños y estrechos cumplan los criterios del número 5.502 del RR y/o como base para el establecimiento de acuerdos bilaterales de rebasamiento de los límites del número 5.502 del RR**

#### **1 Generalidades**

Si un país es geográficamente pequeño o estrecho, los contornos basados en los Métodos 1 y 2 (Anexos 1 y 2) pueden excluir la mayoría del territorio.

La Resolución 144 (CMR-03) resuelve que las administraciones de los países geográficamente pequeños o estrechos pueden rebasar las limitaciones de la densidad de flujo de potencia de estación terrena del SFS en la marca de la bajamar del número 5.502 del RR, si dicha operación es conforme a acuerdos bilaterales con administraciones que instalan sistemas de radiolocalización marítima en la banda 13,75-14 GHz.

En los puntos que siguen se presentan medidas que pueden adoptar todas las administraciones para cumplir los requisitos del número 5.502 del RR. Estas mismas consideraciones pueden tenerse en cuenta en los debates bilaterales en los que intervengan países pequeños o estrechos. Como las circunstancias difieren ampliamente de un país a otro, no se intenta aquí ninguna generalización. Es aconsejable considerar las ventajas de cada caso a fin de decidir cuáles son las posibilidades que han de tenerse en cuenta y en qué medida son aplicables.

#### **2 Funcionamiento restringido en la banda 13,75-14 GHz a portadoras con niveles medianos o reducidos de la p.i.r.e.**

El Cuadro 4 puede utilizarse para determinar la reducción en el nivel máximo obtenible de la p.i.r.e. restringiendo la proporción de portadoras en la banda de 14 GHz, en comparación con las que actualmente se explotan en la banda 14-14,5 GHz. Para obtener estos resultados, se utilizaron los datos disponibles, reuniendo distribuciones acumuladas que daban el porcentaje de estaciones terrenas en función de la p.i.r.e./10 MHz para cada una de las cuatro gamas de tamaños de antena. Así pues, por ejemplo, aprovechando la oportunidad de instalar el 20% de estaciones terrenas con diámetros de antena comprendidos entre 1,2 m y 1,5 m con niveles de transmisión de la p.i.r.e. en el extremo superior de la gama, todas las demás estaciones terrenas podrían explotarse hasta un contorno correspondiente a 9 dB inferior de pérdidas mínimas del trayecto hasta la frontera, sin rebasar en ningún punto de ésta el límite de la dfp.

CUADRO 4

**Reducciones de la p.i.r.e. máxima en 10 MHz – Restricciones en la proporción de portadoras**

Gama de diámetros de antena	Reducción en la proporción de portadoras			
	100% a 80%	80% a 60%	60% a 40%	40% a 20%
$1,2 \text{ m} \leq D < 1,5 \text{ m}$	$55 - 46 = 9 \text{ dB}$	$46 - 42 = 4 \text{ dB}$	$42 - 39 = 3 \text{ dB}$	$39 - (-2) = 41 \text{ dB}$
$1,5 \text{ m} \leq D < 2,1 \text{ m}$	$70 - 49 = 21 \text{ dB}$	$49 - 47 = 2 \text{ dB}$	$47 - 47 = 0 \text{ dB}$	$47 - 43 = 4 \text{ dB}$
$2,1 \text{ m} \leq D < 3,1 \text{ m}$	$85 - 61 = 24 \text{ dB}$	$61 - 52 = 9 \text{ dB}$	$52 - 52 = 0 \text{ dB}$	$52 - 52 = 0 \text{ dB}$
$3,1 \text{ m} \leq D < 4,5 \text{ m}$	$95 - 71 = 24 \text{ dB}$	$71 - 63 = 8 \text{ dB}$	$63 - 56 = 7 \text{ dB}$	$56 - 47 = 9 \text{ dB}$

Si puede aceptarse una reducción determinada en la proporción de estaciones terrenas de una gama particular de tamaños de antena que de no ser así se explotaría entre 13,75 GHz y 14 GHz, puede determinarse de esta manera la reducción correspondiente de la p.i.r.e. máxima y calcularse el contorno pertinente, como se describe en el Anexo 2. Dicho contorno abarcaría más del pequeño país en cuestión que en el caso de no haber aceptado la restricción.

### 3 Aplicación del apantallamiento local del emplazamiento a las estaciones terrenas

Es posible reducir la interferencia máxima producida en la marca de la bajamar o en la frontera en tierra del país vecino que produce una estación terrena en un país, añadiendo la atenuación del apantallamiento en el emplazamiento de dicha estación terrena. Esto puede realizarse situando la antena detrás de un edificio u otro obstáculo que esté en la dirección del punto más próximo en el que ha de cumplirse el nivel de la dfp, o añadiendo una pantalla de material atenuante en dicho emplazamiento. Como la viabilidad y/o la rentabilidad de dichas medidas depende de las circunstancias, sólo pueden evaluarse sus posibilidades caso por caso. Aunque el apantallamiento en el frente de una antena reducirá la interferencia hacia el horizonte, las ventajas pueden compensarse por el aumento de la señal debido a reflexiones de los edificios o de otros objetos situados en las proximidades de la antena. Además, es difícil obtener un apantallamiento que merezca la pena si la antena funciona con una elevación relativamente reducida y la parte más próxima de la frontera se sitúa generalmente en la dirección del Ecuador. Otro factor es que el coste asociado al hecho de situarse detrás de un edificio o el de añadir una pantalla artificial puede aumentar el costo de un terminal de pequeño diámetro en un porcentaje significativo.

El UIT-R examinó las atenuaciones de apantallamiento y de «ecos parásitos» calculadas utilizando los algoritmos empíricos de las Recomendaciones UIT-R P.452 y UIT-R P.526, y comparándolas con los resultados de las mediciones de las que se informó en el Reino Unido, en 1995. La conclusión provisional del UIT-R era que, en los casos en que resulte práctico, la atenuación que puede obtenerse del apantallamiento del emplazamiento estará generalmente comprendida entre 5 dB y 20 dB, dependiendo de las circunstancias, y que no es probable que exceda de 25 dB. Es necesario seguir trabajando para confirmar esta conclusión y aumentar las posibilidades del apantallamiento del emplazamiento.

Una vez estimado el grado de atenuación del apantallamiento del emplazamiento ( $A$  dB) que puede obtenerse para un emplazamiento específico, y habiendo usado la metodología del Anexo 2 para hallar la magnitud y la dirección de las pérdidas mínimas,  $L$ , hasta la frontera, puede utilizarse la ecuación (2) con una nueva disposición e incluyendo  $A$  para determinar la p.i.r.e. máxima en 10 MHz que una estación terrena en el emplazamiento puede transmitir sin rebasar el límite de la dfp del número 5.502 del RR, es decir,  $E = L + A + (G_m - G(\varphi)) - 159,29 \text{ dBW}$ .

#### 4 Selección del diámetro de la antena de la estación terrena

Si la atenuación en la dirección del trayecto de pérdidas mínimas hasta la marca de la bajamar o la frontera en tierra del país vecino es suficiente para cumplir los límites de la dfp mediante una estación terrena planificada, pero sólo en una cantidad modesta, una posibilidad puede consistir en utilizar una antena ligeramente más grande de la que hubiera sido de otra manera necesaria. Con ello se puede reducir la potencia del transmisor en una cantidad igual a la diferencia de la ganancia de antena, reduciendo así la p.i.r.e. fuera del eje en la misma cantidad. Como la ganancia de la antena es proporcional al cuadrado del diámetro,  $D$ , el Cuadro 5 ofrece algunos cambios en  $D$  para compensar los posibles rebasamientos de los límites de la dfp en la gama probable de interés.

CUADRO 5

#### Aumentos del diámetro de la antena para compensar la caída de la atenuación

Rebasamiento de la dfp que se ha de compensar	1 dB				2 dB				3 dB				4 dB			
Diámetro de la antena de base (m)	1,2	1,5	1,8	2,1	1,2	1,5	1,8	2,1	1,2	1,5	1,8	2,1	1,2	1,5	1,8	2,1
Diámetro de la antena de sustitución (m)	1,35	1,68	2,02	2,36	1,51	1,89	2,27	2,64	1,70	2,12	2,54	2,97	1,90	2,38	2,85	3,33

#### 5 Búsqueda de acuerdos bilaterales de rebasamiento del límite de la dfp

Dado que si un país es pequeño, la longitud de la frontera en la que los terminales radar de países vecinos, o en el mar, pueden resultar expuestos a la interferencia procedente de estaciones terrenas del SFS situadas en el país es también pequeña, el efecto general en el servicio de radiolocalización puede ser proporcionalmente pequeño. Por tanto, puede ser posible que un país pequeño llegue a utilizar terminales en la banda 13,75-14 GHz en dicha zona, cuando se rebasa el límite de la dfp mediante un nivel especificado, por ejemplo 5 dB o 10 dB.

Conceptualmente, parece que sería posible llegar a acuerdos de relajación de la parte del límite que se refiere al porcentaje de tiempo, en vez de relajar el nivel de la dfp, por ejemplo, para permitir rebasar un valor de  $-115 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$  durante, digamos el 5% del tiempo, en vez del 1% del tiempo. No obstante, los estudios del UIT-R pusieron de manifiesto que, al menos en el caso de un terreno medio en un clima templado, los contornos de una gama de niveles específicos de pérdidas de trayecto varían muy poco si el porcentaje de tiempo se aumenta por encima de 0,5% aproximadamente (aunque tienden a empeorar significativamente desde el punto de vista del SFS si el porcentaje temporal se reduce por debajo de dicha cifra). Así pues, parece que en la práctica, aunque convenga considerar incrementos moderados del nivel de la dfp, no es probable que el aumento del porcentaje de tiempo sea una buena base para los debates bilaterales.

#### 6 Búsqueda de acuerdos bilaterales para rebajar el límite de la dfp en parte de la banda

Si las señales individuales de radares móviles en la banda 13,75-14 GHz ocupan anchuras de banda que son significativamente inferiores a 250 MHz, puede ser posible que un país pequeño limite su utilización del SFS a parte de la banda, y para otra administración que utilice únicamente el resto de la banda en sus terminales de radar móviles, cuando éstos se encuentren en las proximidades de un país pequeño. Esto constituiría una forma de segmentación limitada de la banda.

Durante el análisis estadístico de los datos disponibles, se observó que la mayoría de las estaciones terrenas en la banda de 14 GHz con antenas de 1,2-4,5 m de diámetro transmitían portadoras simples con anchuras de banda inferiores a 10 MHz, y que unas pocas explotaban portadoras con anchuras de banda superiores a 36 MHz. El criterio utilizado en la Comisión de Estudio 8 de Radiocomunicaciones para la protección de los terminales de radar en la banda de 14 GHz es una relación  $I/N$  de  $-6$  dB en una anchura de banda de 10 MHz, y esto apunta a que las anchuras de banda de las señales típicas de radar en la banda 13,75-14 GHz son del orden de 10 MHz. Así pues, parece haber margen para acuerdos bilaterales basados en la segmentación de la banda, aunque esto puede considerarse como un último recurso, pues con ello se reduciría el espectro disponible para ambos servicios, aunque únicamente en países pequeños y alrededor de ellos. No obstante, debe tenerse presente el número 5.503 del RR al considerar las opciones de segmentación de la banda.

---