

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R S.1856**  
**(01/2010)**

**Metodología para determinar si una estación IMT en un emplazamiento determinado que funciona en la banda 3 400-3 600 MHz podría transmitir sin rebasar los límites de densidad de flujo de potencia estipulados en los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A del Reglamento de Radiocomunicaciones**

**Serie S**  
**Servicio fijo por satélite**



## Prólogo

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

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

## Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

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

### Series de las Recomendaciones UIT-R

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

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

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

Publicación electrónica  
Ginebra, 2010

© UIT 2010

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

## RECOMENDACIÓN UIT-R S.1856

**Metodología para determinar si una estación IMT en un emplazamiento determinado que funciona en la banda 3 400-3 600 MHz podría transmitir sin rebasar los límites de densidad de flujo de potencia estipulados en los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A del Reglamento de Radiocomunicaciones**

(2010)

**Cometido**

En la presente Recomendación se describen tres metodologías que pueden utilizar las administraciones en sus negociaciones bilaterales y/o multilaterales, para determinar si una estación móvil o de base IMT prevista para funcionar en la banda 3 400-3 600 MHz podría cumplir los límites de la densidad de flujo de potencia (dfp) estipulados en los números 5.430A, 5.432A, 5.432B and 5.433A del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR). En esta Recomendación no se abordan los criterios exigidos para la aplicación de los números 9.17, 9.18 y 9.21 del RR, a los que remiten las cuatro disposiciones antes mencionadas, con independencia de si está funcionando o no cualquier estación terrena.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que, de conformidad con las decisiones adoptadas en la CMR-07, en varios países de la Región 1 la banda de frecuencias 3 400-3 600 MHz está atribuida al servicio móvil a título primario (véase el número 5.430A del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR));
- b) de, de conformidad con las decisiones adoptadas en la CMR-07, en varios países de la Región 3 la banda de frecuencias 3 400-3 500 MHz está atribuida al servicio móvil a título primario (véase el número 5.432B del RR) mientras que la banda de frecuencias 3 500-3 600 MHz lleva muchos años atribuida al servicio móvil a título primario en la Región 3;
- c) que en la CMR-07 se identificó la banda de frecuencias 3 400-3 600 MHz para los sistemas IMT en varios países de las Regiones 1 y 3;
- d) que la banda 3 400-3 600 MHz está atribuida desde hace muchos años al servicio fijo por satélite (espacio-Tierra) a título primario en las Regiones 1, 2 y 3;
- e) que, para proteger las estaciones terrenas en la banda 3 400-3 600 MHz contra la interferencia transfronteriza causada por estaciones del servicio móvil, los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A (CMR-07) del RR estipulan que, antes de que una administración ponga en servicio una estación (de base o móvil) del servicio móvil en esta banda, deberá garantizar que la densidad de flujo de potencia (dfp) producida a 3 m sobre el suelo no supera el valor de  $-154,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  durante más del 20% del tiempo en la frontera del territorio de cualquier otra administración.
- f) que el límite de dfp mencionado en el *considerando* e) puede rebasarse en el territorio de un país cuya administración así lo haya acordado;

g) que el RR también estipula que, para garantizar que se cumple el límite de dfp en la frontera con el territorio de cualquier otra administración, deberán efectuarse cálculos y verificaciones teniendo en cuenta toda la información pertinente, y de mutuo acuerdo entre la administración responsable de la estación terrenal y la responsable de la estación terrena;

h) que, como las pérdidas por propagación aumentan con la distancia y que en los trayectos terrestres depende sobremanera de la naturaleza del terreno, las estaciones IMT situadas a una distancia suficiente de la frontera con el país vecino pueden cumplir el límite de dfp sin aplicar técnicas de reducción de la interferencia y, por consiguiente, a las administraciones les serviría de ayuda disponer de métodos para determinar estas zonas del país para cumplir lo estipulado en el *considerando e*);

j) que para aplicar los métodos mencionados en el *considerando h*) sería conveniente utilizar una base de datos del terreno que abarque todos los países en los que se prevé utilizar estaciones IMT en la banda 3 400-3 600 MHz;

k) que el apantallamiento natural o artificial podría atenuar la señal transmitida por las estaciones IMT en la dirección de la frontera con un país vecino,

*observando*

a) que las atribuciones relativas a los números 5.430A y 5.432B del RR entrarán en vigor el 17 de noviembre de 2010,

*recomienda*

**1** que las administraciones utilicen en sus negociaciones bilaterales y/o multilaterales los métodos descritos en § 1, § 2 o § 3 del Anexo 1, o una combinación de éstos, según estimen conveniente, para determinar si una estación de base IMT prevista para funcionar en la banda 3 400-3 600 MHz podría cumplir los límites de dfp estipulados en los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A del RR;

**2** que se utilice el método descrito en § 2 para determinar el tamaño y la forma de la zona interior colindante con la frontera de un país fuera de la cual cualquier terminal móvil IMT cumpliría el límite de dfp a una altura de 3 m sobre el nivel del suelo desde cualquier punto de dicha frontera;

**3** que la siguiente Nota se considere parte integrante de la presente Recomendación.

NOTA 1 – Las Administraciones que participan en las negociaciones bilaterales y/o multilaterales deberán llegar a un acuerdo acerca de los parámetros y la metodología que se habrán de utilizar.

## Anexo 1

### **Metodologías para determinar si una estación IMT transmisora cumple los límites de dfp estipulados en los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A del RR**

El UIT-R ha elaborado recientemente una Recomendación para calcular la dfp generada por las estaciones terrenas del SFS que transmiten en la banda 13,75-14,00 GHz<sup>1</sup>. Según se describe en § 1, § 2 y § 3 del Anexo 1, es posible adaptar las metodologías que figuran en la Recomendación UIT-R S.1712 para evaluar el cumplimiento del límite de dfp estipulado en los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A del RR.<sup>2</sup> Cabe observar asimismo que también podrían utilizarse otras metodologías distintas de las adaptadas a partir de la Recomendación UIT-R S.1712.

Los valores indicados en los ejemplos para varias de las características empleadas en la metodología que se describe a continuación son meramente ilustrativos y cabe esperar que, en un estudio concreto, se utilicen los valores reales de las características de las estaciones IMT y de otros parámetros que se tengan en cuenta.

#### **1 Adaptación del Método 1 de la Recomendación UIT-R S.1712**

El Método 1 es simple pero hay que reconocer que es demasiado conservador.<sup>3</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 frontera en tierra con un país vecino que tendrán que respetar las estaciones de base IMT para cumplir los límites de la dfp de los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A del RR, en función de la densidad de la p.i.r.e. hacia el horizonte de la estación IMT. 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 de base IMT situada a una distancia superior o igual a la distancia mínima de separación cumple los criterios del límite de la dfp. Aparte de determinar si el trayecto hasta la línea de la frontera es de LoS o transhorizonte, no es necesario hacer ningún otro análisis. 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 de la Recomendación UIT-R S.1712 (véase § 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

---

<sup>1</sup> Recomendación UIT-R S.1712 – Metodologías para determinar si una estación terrena del SFS en un emplazamiento determinado puede transmitir en la banda 13,75-4 GHz sin rebasar los límites de la dfp del número 5.502 del RR y directrices para reducir el exceso.

<sup>2</sup> Los tres métodos aquí descritos son aplicables a estaciones de base fijas, pero sólo el método 2 puede aplicarse a las estaciones móviles (véase § 2.4).

<sup>3</sup> Por ejemplo, en Estados Unidos de América, en lugar de definir un valor de la dfp se ha definido una distancia de coordinación de 150 km para proteger las estaciones terrenas del SFS contra la interferencia producida por los transmisores BWA (acceso inalámbrico de banda ancha) con una densidad de p.i.r.e. de 25 W/25 MHz. Además, las normas estadounidenses especifican una distancia de separación mínima de 56 km respecto a las fronteras de Canadá y México para las estaciones fijas, a menos que pueda utilizarse una distancia más corta después de realizar la coordinación para cada caso particular. La metodología utilizada por Estados Unidos de América para obtener la distancia de coordinación de 150 km también podría adaptarse para el cálculo de la dfp objeto del presente documento.

sencillo y no tiene en cuenta el terreno. De hecho, en este paso se supone que la Tierra es *plana* y que todos los trayectos son de LoS. En el Paso B se supone que la Tierra es 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 que la Tierra es 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 (utilizando el Paso C se obtiene la zona más amplia posible). 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 recurrirse directamente a los Pasos B o C sin necesidad de aplicar previamente el Paso A.

A fin de calcular el valor de la distancia, es preciso adoptar ciertas hipótesis básicas y modelos de propagación. En muchas situaciones similares de compartición se han utilizado los métodos descritos en la Recomendación UIT-R P.452, por lo que parece la más adecuada para esta situación de propagación.

A continuación se describe con detalle este método:

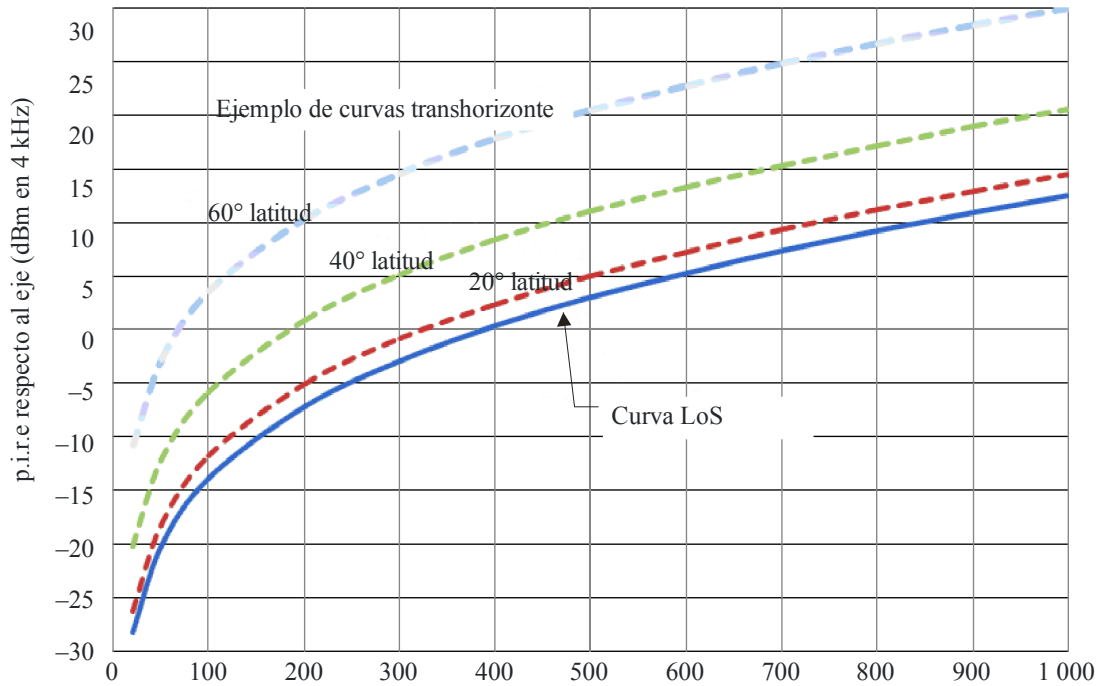
*Paso A:* Se supone que todos los trayectos son de LoS. Se utiliza la curva de LoS de la Fig. 1 para determinar la distancia mínima de separación en función de la *p.i.r.e./40 MHz* de la estación IMT radiada hacia la frontera. Obsérvese que esta curva se obtiene a partir de los valores de las pérdidas con LoS de la Recomendación UIT-R P.452-12 ( $p = 20\%$ )<sup>4</sup>. 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 frontera que la distancia requerida de separación desde la curva de visibilidad directa, se supone que la estación cumple los criterios del límite de la *dfp* de los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A del RR. Si la longitud del trayecto es inferior a la distancia requerida de separación, se va al Paso B.

---

<sup>4</sup> La versión de la Recomendación UIT-R P.452 que está en vigor es la UIT-R P.452-13 y podría actualizarse en el futuro. Por ese motivo, cuando se aplique esta metodología se recomienda utilizar la versión de la Recomendación ITU-R P.452 vigente en dicho momento.

FIGURA 1

Curvas de distancia de separación (distancia mínima desde la frontera en función de la densidad de p.i.r.e. hacia el horizonte)



1856-01

*Paso B:* En este paso se supone que la Tierra es esférica, por lo que es preciso determinar un horizonte radioeléctrico nominal. En primer lugar, se halla el radio equivalente de la Tierra ( $\alpha_e$ ) utilizando el valor de  $\Delta N$  local y las ecuaciones (5) y (6) de la Recomendación UIT-R P.452-12 (expresado en metros). Puede calcularse entonces el horizonte radioeléctrico a partir de la ecuación siguiente:

$$R_{\text{Horizon}_{\text{nominal}}} = \sqrt{2 \cdot \alpha_e} \cdot (\sqrt{h_0} + \sqrt{h_{\text{imt}}}) / 1000 \text{ (km)}$$

siendo  $h_0 = 3$  m, y  $h_{\text{imt}}$  la altura de la estación IMT (m) sobre el nivel medio del mar.

Si el emplazamiento de la estación IMT queda comprendido dentro del horizonte radioeléctrico nominal de la dirección de la frontera, la distancia de separación requerida se halla utilizando la curva de LoS de la Fig. 1. Si el emplazamiento de la estación IMT está más allá del horizonte radioeléctrico nominal, se determina la distancia de separación requerida utilizando la curva transhorizonte de la Fig. 1. Si el emplazamiento de posible instalación está más alejado de la frontera que la distancia de separación requerida desde la curva aplicable, se supondrá que la estación cumple el criterio del límite de la d<sub>f</sub>p de los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A 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 que la Tierra es esférica. Además, se requiere un análisis más detallado de los trayectos hacia la frontera. Se utiliza el Apéndice 2 al Anexo 1 de la Recomendación UIT-R P.452-12 para determinar si el trayecto es de LoS o transhorizonte. El procedimiento específico se describe 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 se trata de un terreno real, el trayecto con las pérdidas mínimas no es necesariamente el más corto, por lo que habrá que ensayar diversos trayectos en forma radial alrededor del emplazamiento potencial de la estación terrena. Si se observa que un trayecto es de LoS, la distancia de separación requerida se halla utilizando la

curva de LoS de la Fig. 1 (tomando el LoS 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. 1. Si el posible emplazamiento de instalación está más alejado de la frontera con el país vecino que la distancia de separación requerida desde la curva aplicable, se supondrá que la estación cumple el criterio del límite de la dfp de los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A 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 IMT hasta la frontera con el país vecino es inferior al valor requerido, pueden realizarse nuevos análisis utilizando el Método 2 ó 3 de la Recomendación UIT-R S.1712, que incluye datos digitales del terreno y modelos de propagación, y (si procede) otras técnicas de mitigación, a fin de verificar si se cumple el criterio del límite de la dfp.

Tal como se ha descrito, la utilización de este método requiere dos curvas (para los dos tipos distintos de trayecto) que dan la distancia mínima  $X$  hasta la frontera 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 frontera 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.452-12. Se trata de la ecuación (9) del § 4.2 del Anexo 1 a dicha Recomendación. Se utiliza la frecuencia adecuada y el porcentaje de tiempo ( $p$ ) se fija en 20%. Las pérdidas resultantes  $L$ , que dependen de la distancia, se utilizan en las siguientes ecuaciones para hallar la combinación p.i.r.e./distancia que satisface el límite de la dfp.

$$\text{dfp} = E - G_m + G(\varphi) - L - 10 \log(\lambda^2/4\pi) = -154,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}, \text{ y por lo tanto}$$

$$\text{p.i.r.e. fuera del eje de la estación IMT} = \{E - G_m + G(\varphi)\} = L - 186,83 \text{ dBW/4 kHz}$$

siendo:

$E$ : p.i.r.e. máxima en cada 4 kHz,

$G_m$ : ganancia máxima de la antena IMT,

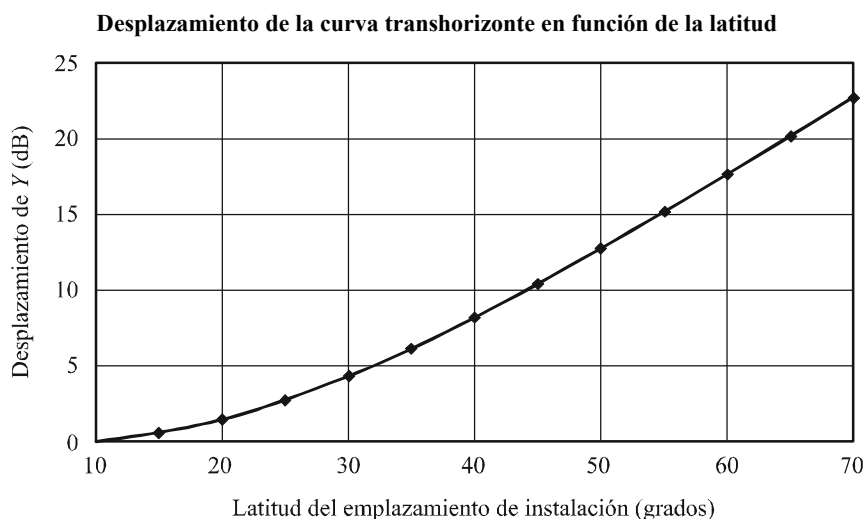
$G(\varphi)$ : ganancia de la antena IMT en la dirección de la frontera

$\lambda = 0,0857 \text{ m}$  para una frecuencia de 3,5 GHz.

Las curvas transhorizonte que se muestran en la Fig. 1 son simplemente la curva de LoS desplazada hacia arriba en la escala de la p.i.r.e. en  $Y$  dB. El valor de  $Y$  depende de la latitud de la estación transmisora y se obtiene a partir de la Fig. 2. Tal como se ha señalado, el nivel de la dfp especificado en los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A del RR especifica la altura en la frontera con un país vecino en la que se aplica (es decir, 3 m). En realidad, las pérdidas por difracción no son simplemente las pérdidas LoS desplazadas por un valor constante. Si se analiza con mayor detalle la Recomendación UIT-R P.452-12 se observará que la curva transhorizonte puede requerir algunos ajustes.



FIGURA 2



1712-01

### Ejemplo de aplicación del método

Comenzando por el Paso A, una estación de base IMT característica funcionará probablemente en la banda 3,4-3,6 GHz y transmitirá con una densidad de p.i.r.e. máxima de 16 dBW/MHz, con una antena sectorial de 120° y una inclinación de 2°. A lo largo de una amplia gama de acimut, la densidad de p.i.r.e. en las direcciones horizontales será de unos 7 dBW/MHz (conforme a los diagramas de antena de la Recomendación UIT-R F.1336-2). En una anchura de banda de 4 kHz la densidad de p.i.r.e. correspondiente viene dada por la expresión:

$$(p.i.r.e.)_d = 7 - 10 \log(1\,000/4) + 30 = 13 \text{ dBm/4 kHz de anchura de banda}$$

Supóngase además que la longitud del trayecto desde la estación IMT hasta la frontera es de 500 km, el valor de  $\Delta N$  local = 40 y la altura de la estación IMT es de 100 m (antena situada en un edificio alto). La latitud es de 48°, lo que da un desplazamiento de 13 dB para la curva tranzhorizonte. El Paso 1 empieza comparando la p.i.r.e. fuera del eje con la curva de LoS de la Fig. 1. De dicha curva se obtiene que la distancia de separación requerida con LoS sería aproximadamente de 1 000 km. Como la longitud del trayecto real es inferior a la distancia de separación mínima requerida, con el Paso A no se puede demostrar que se cumple el límite de la dfp.

Siguiendo el Paso B, el cálculo del horizonte radioeléctrico nominal es de 48,5 km. Como la longitud real del trayecto es superior al horizonte radioeléctrico nominal, el trayecto debe ser tranzhorizonte. Por tanto, la distancia de separación mínima puede hallarse utilizando la curva tranzhorizonte de la Fig. 1. Empleando dicha curva e interpolando para una latitud de 48°, se obtiene que una estación con una p.i.r.e. fuera del eje de 13 dBm requiere una distancia de separación mínima de aproximadamente 400 km. En este caso, la longitud real del trayecto es mayor que la distancia de separación mínima requerida. Por tanto, mediante el Paso B se demuestra que esta estación terrena cumple el límite de la dfp. Si no pudiera demostrarse el cumplimiento con el Paso B, se procedería al Paso C para realizar otro análisis utilizando una estimación más precisa del horizonte radioeléctrico real.

### Ejemplo del Paso C

Para mostrar un ejemplo del Paso C, se indica un emplazamiento potencial de estación de base IMT en el mapa del ejemplo de la Fig. 3. Se utilizarán los contornos del mapa para calcular el horizonte radioeléctrico en trayectos seleccionados entre el emplazamiento y los distintos puntos a lo largo de la frontera. Se suponen los parámetros siguientes:

p.i.r.e. de la estación de base IMT hacia el horizonte en todas direcciones: 13 dBm/4 kHz

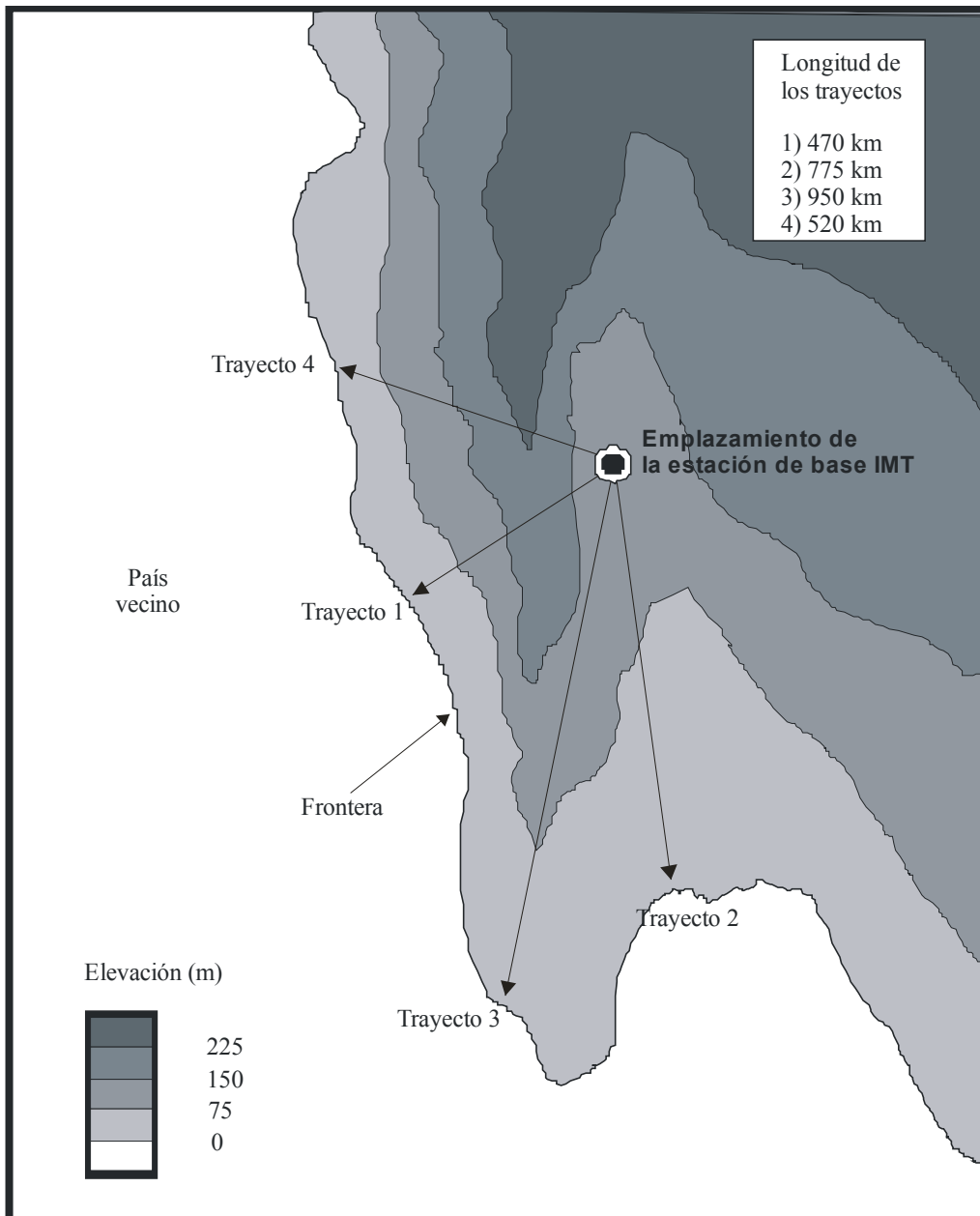
Altura de la estación de base IMT sobre el nivel del suelo = 100 m

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

Latitud = 48°.

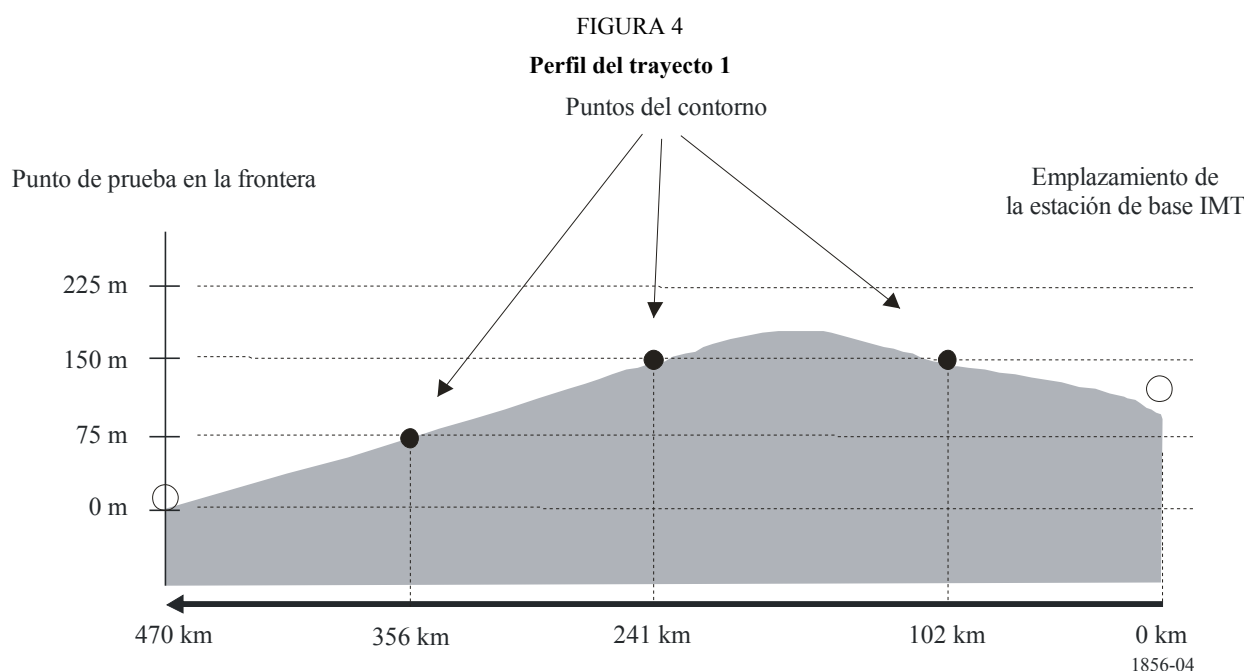
FIGURA 3

Ejemplo de mapa de contorno que muestra el emplazamiento potencial de la estación



En la Fig. 1 se observa que la distancia de separación requerida con LoS para esta estación IMT es de 1 000 km. El trayecto más corto hasta la frontera (Trayecto 1) es evidentemente muy inferior a la distancia requerida con visibilidad directa.

El Paso C empieza con el ensayo transhorizonte del Apéndice 2 al Anexo 1 de la Recomendación UIT-R P.452-12. Los trayectos se dividen en secciones que corresponden a las distintas elevaciones a lo largo de cada parte de cada trayecto. Se recomienda adoptar incrementos equidistantes, aunque ello no es indispensable. Aplicando la Recomendación UIT-R P.452-12 se verifica si el ángulo de elevación del horizonte físico visto desde la estación de base IMT ( $\theta_{IMT}$ ) es superior al ángulo visto desde esta misma estación que forma el punto de prueba y el plano horizontal ( $\theta_{TP}$ ). (Para mayor información sobre el procedimiento, véase la Recomendación mencionada.) Efectuando los cálculos necesarios con el Trayecto 1 se obtiene que  $\theta_{IMT} = 5,8$  mrad y  $\theta_{TP} = -4,7$  mrad. Como  $\theta_{IMT} > \theta_{TP}$ , este trayecto es transhorizonte. Obsérvese que aunque el Trayecto 2 y el Trayecto 3 no cruzan contornos más altos que la estación de base IMT, al efectuar un cálculo similar se obtiene que estos trayectos también son transhorizonte. 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 de hecho transhorizonte. Inspeccionando no se hallan otros trayectos que pudieran producir resultados distintos de los de los trayectos del mapa anterior. Por tanto, este emplazamiento de estación de base IMT no está a LoS de ningún punto de la frontera. La curva transhorizonte de la Fig. 1 muestra que la distancia de separación requerida para esta estación terrena es de 400 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.



Obsérvese que el valor máximo en el perfil de la Fig. 4 no se utiliza realmente en los cálculos. El mapa de contornos de la figura anterior sólo indica los 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.

## 2 Adaptación del Método 2 de la Recomendación UIT-R S.1712

En esta sección se calculan los contornos de dfp a partir de datos reales sobre el terreno, el modelo de propagación de la Recomendación UIT-R P.452-12, la p.i.r.e. de la estación de base IMT en una anchura de banda de 1 MHz en la dirección de la frontera, y la altura de su antena sobre el nivel del mar.

### 2.1 Consideraciones generales

Este método produce un conjunto de contornos, utilizando datos reales del terreno, que muestran la distancia de separación mínima desde la frontera con el país vecino, que tendrá que cumplir una estación de base IMT para cumplir los límites de la dfp estipulados en los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A del RR en función de la p.i.r.e. de la estación terrena y de la altura de su antena. Se parte del supuesto de que una estación de base IMT situada 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. En este método se utiliza datos más precisos que en el Método 1 descrito en § 1 y permite obtener zonas mayores dentro de las cuales puede instalarse una estación de base IMT cumpliendo los límites de la dfp de los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A del RR. No obstante, cabe señalar que sigue siendo posible efectuar una instalación en las zonas excluidas, siempre y cuando pueda demostrarse que el posible emplazamiento que cumple el criterio del límite de la dfp mediante la aplicación de los procedimientos descritos en § 3. Para tener en cuenta las distintas pérdidas en el trayecto debidas a las diferencias en la altura de la antena, se han de definir contornos para una gama de alturas de estación terrena sobre el nivel local del suelo.

En § 2.3.4 y 2.4 se describen cuatro casos de ejemplo de utilización de este método.

### 2.2 Descripción paso a paso de este método

#### 1) *Definición de los contornos*

El haz radiado por una estación de base IMT característica tiene una apertura de haz relativamente estrecha en el plano vertical (por ejemplo, 2,5°) y una gran apertura de haz en al plano horizontal (por ejemplo, 120°). Dado que probablemente la estación de base necesitará dar servicio a terminales de usuario IMT situados en todo su alrededor, puede suponerse que la parte más cercana de la frontera corresponderá a la apertura de haz horizontal de uno de sus haces. Algunas antenas de estación de base se instalan con una pequeña inclinación (por ejemplo, 2°) para maximizar la iluminación en una «célula» relativamente pequeña que la rodea, en cuyo caso se reduce la p.i.r.e. en la dirección del horizonte. Para una gama de densidades de p.i.r.e. en la dirección del horizonte, puede definirse un conjunto de contornos que representen las zonas en las que es posible instalar la estación de base IMT sin rebasar los límites de dfp en ningún punto de la frontera. Teniendo en cuenta la diferencia entre la ganancia máxima en el plano vertical y la ganancia hacia el horizonte en la dirección de frontera, puede asociarse a cada contorno definido un valor de las pérdidas en el trayecto necesarias.

#### 2) *Cálculo de los contornos*

Conociendo el valor de las pérdidas en el trayecto que hay que asociar a cada contorno, y teniendo en cuenta la base de datos reales del terreno, es posible calcular cada contorno en un mapa. El modelo de propagación que hay que utilizar es el que se describe en la Recomendación UIT-R P.452-12.

3) *Cumplimiento de los límites de la dfp estipulados en los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A del RR*

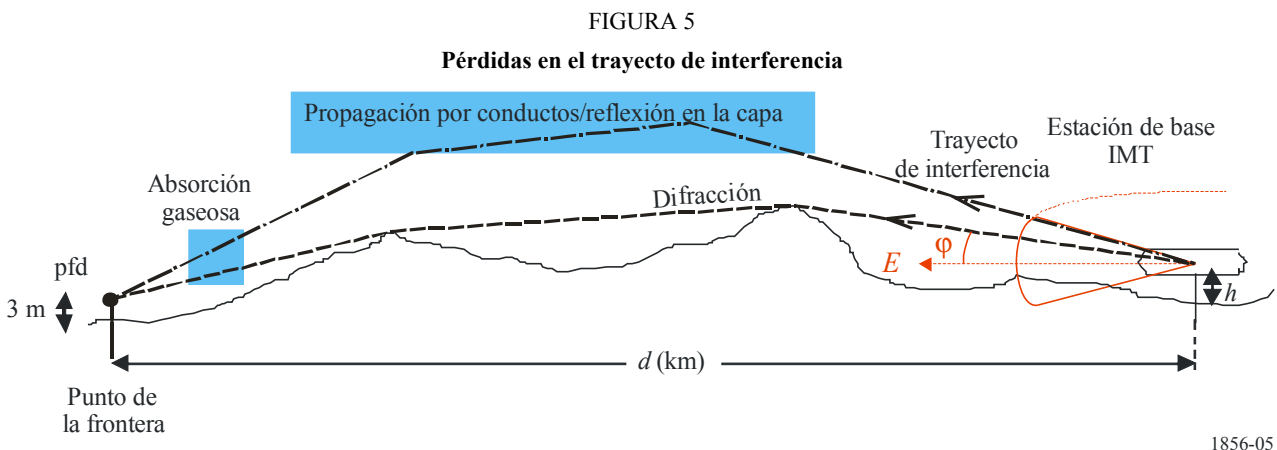
Para evaluar el cumplimiento se compara la posición de la estación de base IMT que se desea instalar con el contorno asociado al perfil correspondiente:

- si la posición de la estación de base que se desea instalar está dentro del correspondiente contorno (es decir, en el lado opuesto de la parte más próxima de la frontera), la estación terrena puede instalarse sin tomar medidas adicionales ya que cumplirá los criterios de dfp;
- si la posición de la estación de base que se desea instalar está fuera del correspondiente contorno, será necesario tener en cuenta otras consideraciones acerca del entorno del emplazamiento real.

**2.3 Posible aplicación de este método**

**2.3.1 Caso de interferencia**

En la Fig. 5 se ilustra el caso de interferencia en la frontera de un país causada por una estación de base IMT situada dentro del país. La altura ( $h$ ) sobre el suelo de la antena de una estación de característica es de 30 m.



1856-05

La dfp en la frontera puede calcularse mediante la siguiente expresión:

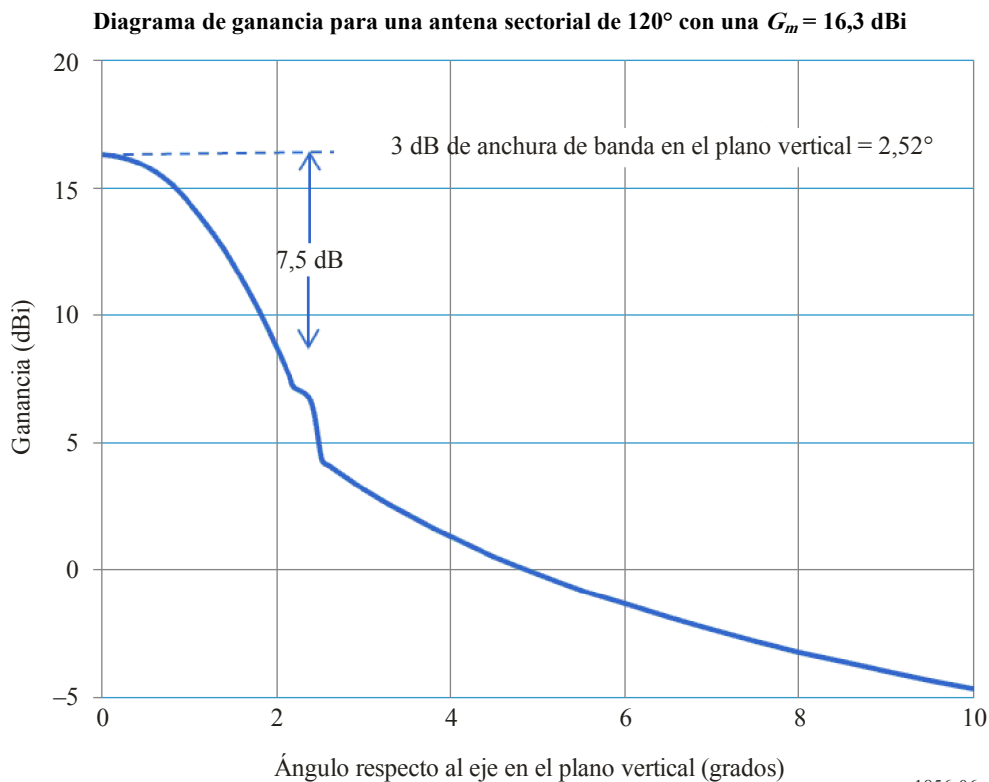
$$dfp = E - G_m + G(\varphi) - L - 10 \log(\lambda^2/4\pi) \text{ dB}(W/(m^2 \cdot 4 \text{ kHz})) \quad (1)$$

siendo  $E$  la p.i.r.e. máxima por 4 kHz de la estación de base IMT,  $L$  la atenuación en dB debida al trayecto de interferencia (de una longitud de  $d$  km) entre antenas isotrópicas rebasadas durante todo el tiempo salvo el 20% (dB),  $\lambda$  la longitud de onda (m),  $G_m$  la ganancia máxima de la antena IMT y  $G(\varphi)$  la ganancia hacia el horizonte en la dirección de la frontera. A la frecuencia de 3,5 GHz correspondiente a la mitad de la banda,  $\lambda = 0,08571$  m, de modo que  $10 \log(\lambda^2/4\pi) = -32,33$ . Así pues, para cumplir el límite de dfp exigido de  $-154,5 \text{ dB}(W/(m^2 \cdot 4 \text{ kHz}))$ , la atenuación en el trayecto, calculada a partir de la ecuación (1), viene dada por:

$$L = E - (G_m - G(\varphi)) + 186,83 \quad \text{dB} \quad (2)$$

En muchos lugares la elevación del horizonte es inferior a  $1^\circ$ , por lo que en el caso de estaciones de base sin inclinación la discriminación de la antena en la dirección de la frontera ( $G_m - G(\varphi)$ ) será pequeña. Según los estudios realizados por el anterior GT 8F, una estación de base característica es probable que emita haces sectoriales de  $120^\circ$  con una ganancia máxima de unos 16,3 dBi. En la Fig. 6 se representa la ganancia utilizando las expresiones para antenas sectoriales de la Recomendación UIT-R F.1336. Se observa que esta ganancia máxima corresponde a una apertura de haz de unos  $2,5^\circ$  respecto al plano vertical, y que con una inclinación de  $2^\circ$  se obtiene una discriminación ( $G_m - G(\varphi)$ ) de unos 7,5 dB en la dirección del horizonte.

FIGURA 6



### 2.3.2 Consideraciones relativas a la p.i.r.e. de la estación de base IMT ( $E$ )

En anteriores estudios de la UIT se partía del supuesto de que la p.i.r.e. de las estaciones de base IMT era de 16 dBW/MHz, pero en estudios más recientes de la CEPT se utiliza el valor de 23 dBW/MHz. Así pues, resulta conveniente calcular los contornos correspondientes a estos dos valores de la densidad de p.i.r.e., sin inclinación de la antena y con una inclinación de  $2^\circ$ . Por casualidad, la p.i.r.e. en las direcciones horizontales para un valor máximo de 23 dBW/MHz con una inclinación de  $2^\circ$  queda comprendida dentro de 0,5 dB de la correspondiente a un valor máximo de 16 dBW/MHz sin inclinación, por lo que puede utilizarse un solo contorno para ambos casos. Para dar la posibilidad de que algunas estaciones de base IMT puedan funcionar con una p.i.r.e. reducida, merece la pena calcular un contorno adicional para un valor inferior de  $E$ . En el Cuadro 1 se evalúa la ecuación (2) para una atenuación en el trayecto del 20% del tiempo ( $L$ ), requerido para cumplir justo el límite de dfp en estos casos.

CUADRO 1  
Características de la estación de base IMT

Contorno	p.i.r.e. de cresta (dBW/MHz)	Inclinación (grados)	Discriminación de la antena en la dirección del horizonte $G_m - G(\varphi)$ (dB)	p.i.r.e. en la dirección del horizonte (dBW/4 kHz)	Pérdidas en el trayecto necesarias rebasadas durante el 80% del tiempo con el fin de cumplir el límite de dfp (calculada mediante la ecuación (2)) (dB)
A	23	0	0	-1	185,8
B	23 16	2 0	7,5 0	-8,5	178,3
C	16 8,5	2 0	7,5 0	-15,5	171,3
D	1	0	0	-23	163,8
F (Mobile)	-22,4	0	0	-46,4	140,4 (véase § 2.4)

Por ejemplo, las estaciones de base IMT cuyas antenas sectoriales tengan una inclinación de 2° y transmitan con una p.i.r.e. máxima de 16 dBW en una anchura de banda de 1 MHz, cumplirán el límite en la frontera sin tener que aplicar método alguno para reducir la interferencia, siempre y cuando estén situadas a una distancia de la frontera superior al contorno definido por una pérdida en el trayecto de 171,3 dB rebasado todo el tiempo salvo el 20% (contorno de referencia C).

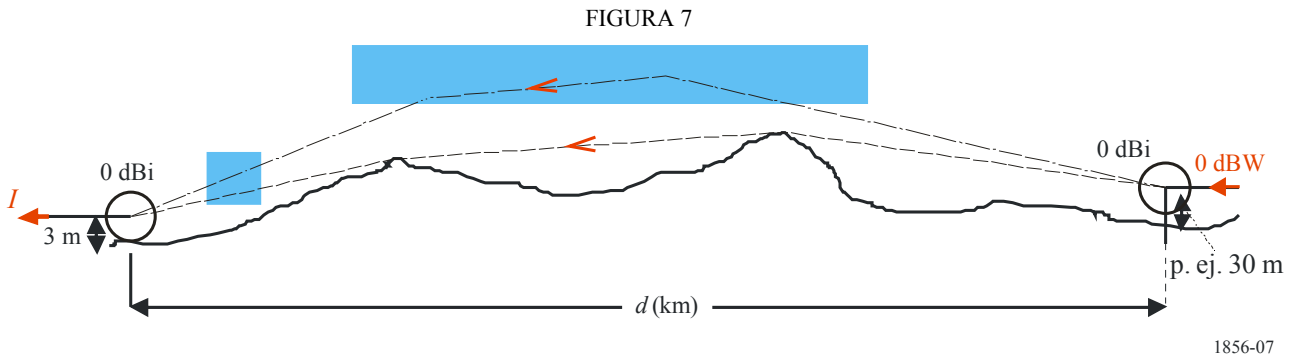
Para evaluar las posiciones desde las estaciones de base que transmiten densidades de p.i.r.e. intermedias, es posible efectuar una interpolación entre los contornos basándose en estos cuatro valores de las pérdidas en el trayecto.

### 2.3.3 Cálculo de contornos

Las pérdidas en un trayecto terrestre pueden calcularse sumando los efectos de la propagación en el espacio libre, la absorción gaseosa, la difracción, el efecto de la propagación por conductos troposféricos y la reflexión en las capas, a partir de los datos y algoritmos de la Recomendación UIT-R P.452<sup>5</sup> 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 frontera. En el caso de terreno plano, será la línea que une la estación terrena y el punto más próximo en la frontera con el país vecino, aunque no será siempre así cuando el terreno sea moderadamente ondulado o accidentado. Así pues, para el presente ejercicio se necesita una base de datos electrónica 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 la técnica indicada a continuación.

<sup>5</sup> Aunque los ejemplos de § 2.3.4 y § 2.4 se prepararon utilizando la Recomendación UIT-R P.452-12, la Recomendación UIT-R 452-13 está en vigor y podría actualizarse en el futuro. En tal caso, al aplicar esta metodología se recomienda utilizar la versión vigente de dicha Recomendación. Por otra parte, las administraciones que participen en negociaciones de coordinación bilateral o multilateral administraciones deben ponerse de acuerdo acerca de los valores de los parámetros pertinentes cuando apliquen la metodología de predicción de la propagación descrita en la Recomendación UIT-R P.452 (véase también el número 5.430A del RR).

Tomando como ejemplo el terreno del perfil de la Fig. 5, el punto donde se mide la  $d_{fp}$  puede sustituirse por un receptor alimentado por una antena receptora isótropa, y la estación de base IMT puede sustituirse por una antena transmisora isótropa de 0 dBW en la frecuencia considerada (en este caso, 3,5 GHz), como se muestra en la Fig. 7.

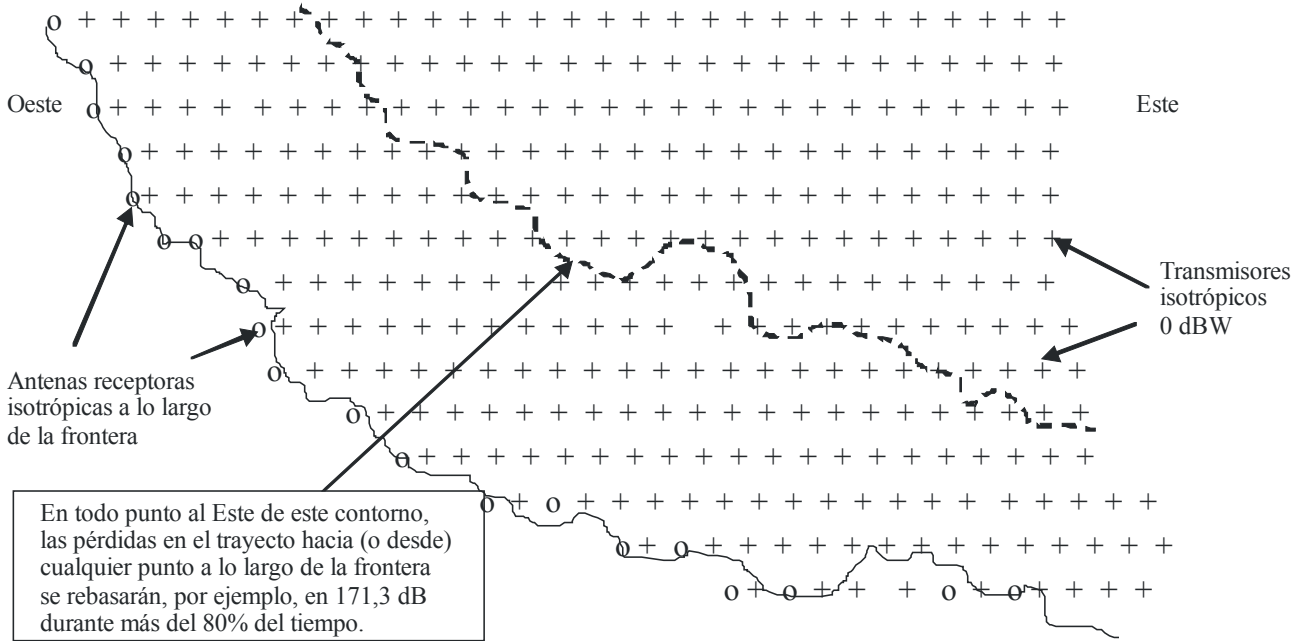


En estas condiciones, el nivel de la señal recibida  $I$ , viene dado por  $I = 0 + 0 - L + 0$  dBW. Dicho de otra manera, el nivel de  $I$  (dBW) es numéricamente igual al valor con signo menos de las pérdidas del trayecto  $L$  (dB), con independencia de la dirección de puntería del receptor respecto al transmisor. Para los fines actuales,  $I$  debe calcularse en la forma que describe la Recomendación UIT-R P.452-12 para el 20% del tiempo.

Debe crearse un modelo informático que incorpore la base de datos sobre el terreno del país o de la zona de interés y que contenga terminales receptores isótropos a pequeños intervalos adecuados a lo largo de la frontera. Debe añadirse una retícula de radiadores isótropos igualmente separados de 0 dBW que cubran todo el país o la zona en cuestión. Así pues, 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 descritas en la Recomendación UIT-R P.452-12 para evaluar las pérdidas rebasadas durante todo el tiempo excepto el 20%, y deben guardarse por separado todos los valores para cada receptor. El software debe ser tal que identifique la contribución máxima individual a  $I$  de cada receptor. A continuación se seleccionan los transmisores para los que la contribución máxima a  $I$  es lo más próxima al valor con signo negativo de la  $L$  requerida, y trazando la línea entre dichos transmisores se construye un contorno. 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. 8.



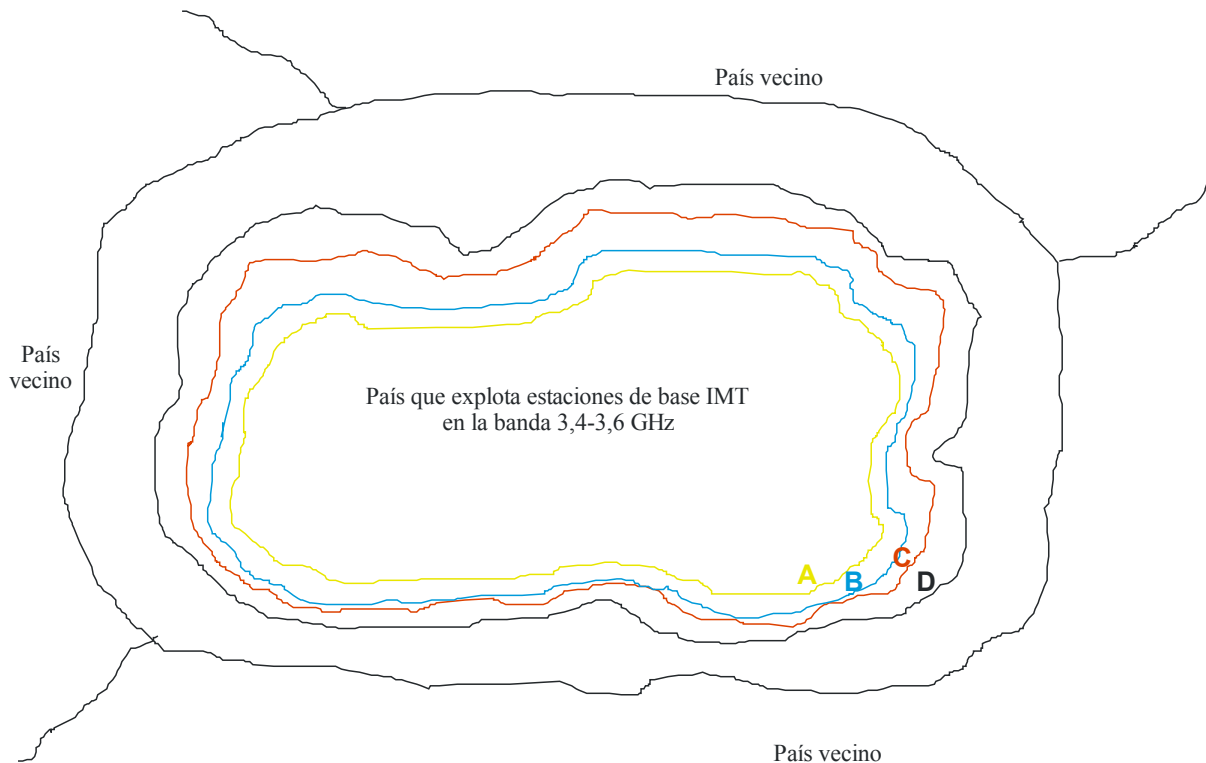
FIGURA 8



1856-08

La Fig. 9 ilustra el resultado de los cuatro contornos indicados en el Cuadro 1.

FIGURA 9



1856-09

En la zona comprendida entre un contorno y la frontera puede ser posible explotar estaciones de base IMT si se aplican técnicas de reducción de la interferencia, tales como las de reducción de la p.i.r.e., aunque habrá que determinarlo para cada caso. En función de las circunstancias, se podrá recurrir a la presente metodología para determinar el grado de reducción necesario, mediante la representación de contornos correspondientes a valores sucesivamente menores de  $L$ .

### 2.3.4 Ejemplos de aplicación de la metodología descrita en los § 2.3.1 a § 2.3.3

Para seleccionar las zonas de ejemplos se habrán de tener en cuenta sólo aquellos países en los que la banda 3,4-3,6 GHz se haya identificado para utilizarla en IMT y el límite de dfp en la frontera. En este documento se han tomado como ejemplo las tres zonas siguientes:

– *Noreste de Francia (Ejemplo 1)*

El número 5.430A del RR es de aplicación en Francia y todos sus países fronterizos con la excepción de Luxemburgo. Además, para imponer el límite de dfp en la frontera, el número 5.430A del RR estipula lo siguiente: «*Este límite puede rebasarse en el territorio de cualquier país cuya administración así lo acepte*». Por consiguiente, es posible que dos países vecinos acuerden imponer un límite menos estricto en su frontera común<sup>6</sup>.

– *Noreste de Ucrania (Ejemplo 2)*

El número 5.430A del RR es de aplicación en Ucrania, pero no en los países situados al Norte o al Este.

– *Sierra Leona (Ejemplo 3)*

El número 5.430A del RR es de aplicación en Sierra Leona, pero no así a sus países fronterizos.

Para construir los modelos de estas tres zonas se utilizó la metodología que se describe a continuación y el paquete de software patentado que incluye una base de datos sobre el terreno mundial, con una resolución horizontal de 1 km y una resolución vertical de 1 m. Cada punto de recepción en la frontera (véase la Fig. 8) se tomó una altura de la antena sobre el terreno local de 3 m, para cada punto de transmisión una altura de antena de 30 m. En el Cuadro 2 se indican los detalles.

CUADRO 2

#### Características de los modelos informáticos construidos

Zona geográfica	Tamaño del país	Clima ( $\Delta N$ ) <sup>(1)</sup>	Tipo de terreno	Separación entre receptores (km)	Intervalo de retícula de transmisores (km)	N.º de trayectos calculados <sup>(2)</sup>
NE de Francia (Ejemplo 1)	Medio	45	Variado	11	6	522 678
NE de Ucrania (Ejemplo 2)	Medio	45	No accidentado	13	10	564 108
Sierra Leona (Ejemplo 3)	Pequeño	70	Accidentado	7	4,5	397 096

<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.

<sup>6</sup> Los resultados que se muestran en las Figs. 10, 11 y 12 no tienen en cuenta esta posible variación del límite.

En las Figs. 10, 11 y 12 se muestran los resultados obtenidos para las zonas de ejemplo indicadas en el Cuadro 2. Se representan los contornos correspondientes a las combinaciones de inclinación y de p.i.r.e. de la estación de base IMT indicadas en el Cuadro 2. Por razones de conveniencia los contornos se denominan A, B, C y D, como en el Cuadro 1 y la Fig. 9, y se representan con distintos colores para facilitar la lectura.

En general los resultados muestran adecuadamente la eficacia de la metodología descrita en esta sección para determinar los emplazamientos en los que podrían situarse la gran mayoría de las estaciones de base IMT que utilizan la banda 3,4-3,6 GHz sin rebasar los límites de dfp estipulados en los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A del RR.

## 2.4 Aplicación a los terminales móviles IMT

Los sistemas IMT adoptan normalmente una disposición de células hexagonal en la que se proporciona cobertura a una zona amplia mediante varias estaciones de base, cada una de las cuales da servicio a su propia célula y proporciona conexión a los terminales móviles que se encuentren en dicha célula. El radio de la célula depende del diseño del sistema y por lo general oscila entre 2 y 3 km; es poco probable que supere los 5 km. Para los intervalos de distancia de las Figs. 10, 11 y 12 puede verse que, en la inmensa mayoría de los casos, la estación de base IMT situadas a una distancia de 5 km de la frontera tendrán que atenuar muchísimo sus transmisiones en la dirección de la frontera para poder cumplir el límite de dfp. Por consiguiente, dichas estaciones de base no podrán dar servicio a los terminales móviles situados en las proximidades de la frontera, por lo que no podrán funcionar en las proximidades de la misma y, por ende, es improbable que rebasen el límite de dfp. En estas circunstancias cabe señalar que en los estudios del UIT-R para la preparación de la CMR-07, cuando se adoptó una densidad de p.i.r.e. de la estación de base IMT de 16 dBW/MHz, la densidad de p.i.r.e. correspondiente del terminal móvil era de  $-22,4$  dB(W/MHz).

La metodología descrita en § 2 puede utilizarse para determinar los contornos en los que podrían funcionar los terminales móviles sin rebasar el límite de dfp en la frontera. En la Fig. 13 se muestra un ejemplo (Ejemplo 4), en el que se partió del supuesto de que la densidad de p.i.r.e. de cada terminal móvil era de  $-22,4$  dBW/MHz en todas las direcciones de acimut con una altura de la antena sobre el nivel del suelo de 1 m. Estos resultados se obtuvieron a partir de un modelo informático adicional de una parte de la zona NE de Ucrania, para valores inferiores de la densidad de p.i.r.e. y de altura. Al añadir la parte correspondiente de uno de estos contornos de la estación de base se demuestra que, como cabría esperar, el contorno para los terminales móviles IMT está mucho más próximo a la frontera que los contornos correspondientes a las estaciones de base IMT.

## 3 Adaptación del Método 3 de la Recomendación UIT-R S.1712

Este método permite verificar que la estación de base IMT cumple el límite de dfp estipulado en los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A del RR efectuando un análisis para cada caso específico.

### 3.1 Consideraciones generales

Este método consiste en realizar un análisis específico del emplazamiento para cada estación de base IMT que se vaya a instalar. Si el análisis demuestra que la estación terrena cumple los límites de la dfp en cualquier punto de la frontera del país en que está situado el emplazamiento podrá procederse a la instalación. En el análisis se utilizan los datos digitales del terreno, junto con parámetros de la estación de base IMT, los modelos adecuados de la propagación y cualquier otra técnica de atenuación que pueda emplearse (por ejemplo, desactivación sectorial o varias entradas, varias salidas). Cabe esperar que el Método 3 se utilice únicamente cuando no pueda demostrarse

con el Método 1 descrito en § 1 o el Método 2 descrito en § 2 que un posible emplazamiento cumple los límites de la dfp.

### 3.2 Descripción del método

- 1 Se requieren datos digitales del terreno que incluyan el emplazamiento de la estación de base IMT y la zona circundante. Los datos deben incluir una superficie suficientemente grande como 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.
- 2 Para realizar el análisis se necesitarán los parámetros de la estación de base IMT que se vaya instalar. En particular, la ganancia máxima, los ángulos de puntería del haz de la antena de la estación de base en los planos horizontal y vertical, la altura de la antena sobre el terreno y la densidad espectral de la portadora. El diagrama de radiación de la estación terrena de referencia que podría utilizarse en este método será el que aporte el operador de la estación terrena o uno que figure en la Recomendación UIT-R pertinente (véase la Recomendación UIT-R F.1336).
- 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.452-12.
- 4 Los parámetros de la estación de base IMT, los datos digitales del terreno y los modelos de propagación permiten calcular las pérdidas del trayecto en todas las direcciones alrededor del posible emplazamiento. Eso a su vez da la dfp en la frontera con el país vecino producida por la estación. Si se cumple el criterio de los límites de la dfp estipulados en los números 5.430A, 5.432A, 5.432B y 5.433A, se puede proceder a la instalación. De lo contrario, será necesario aplicar otras técnicas de reducción de la interferencia.

### 4 Conclusiones

En este Anexo se describen tres métodos diferentes para determinar si una estación de base IMT en la banda 3,4-3,6 GHz que se prevé instalar en un determinado emplazamiento cumpliría el criterio de la dfp en la frontera con un determinado país.

Los tres métodos descritos son aplicables a las estaciones de base IMT, y el método descrito en § 2 también puede aplicarse a las estaciones móviles IMT.

FIGURA 10

*Ejemplo 1* – Contornos más allá de los cuales una estación de base IMT a una altura de 30 m no rebasará el límite de dfp de  $-154,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  durante más del 20% del tiempo, en puntos a 3 m de altura en la frontera Noroeste de Francia

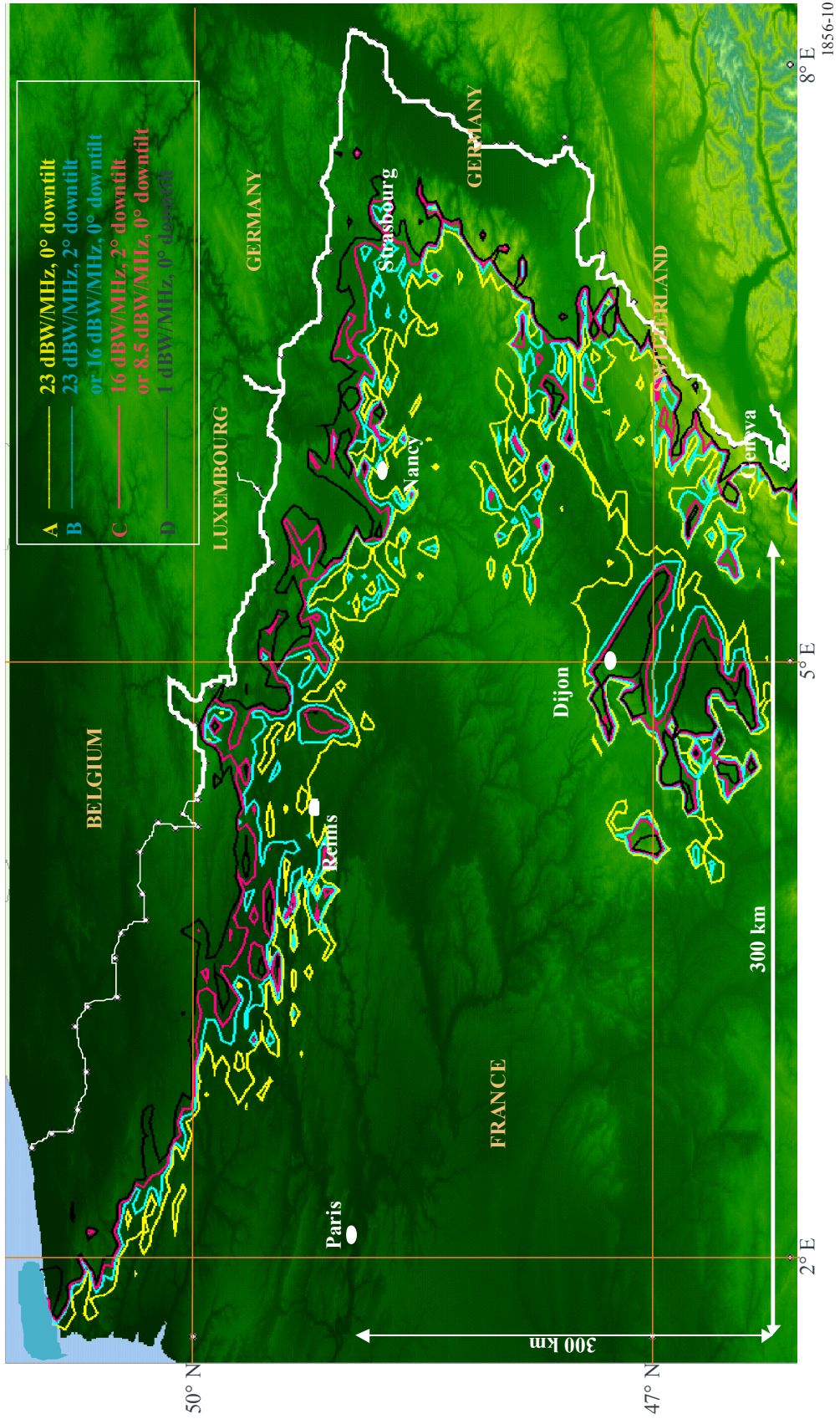


FIGURA 11

**Ejemplo 2** – Contornos más allá de los cuales una estación de base IMT a una altura de 30 m no rebasará el límite de dfp de  $-154,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  durante más del 20% del tiempo, en puntos a 3 m de altura en la frontera noroeste de Ucrania

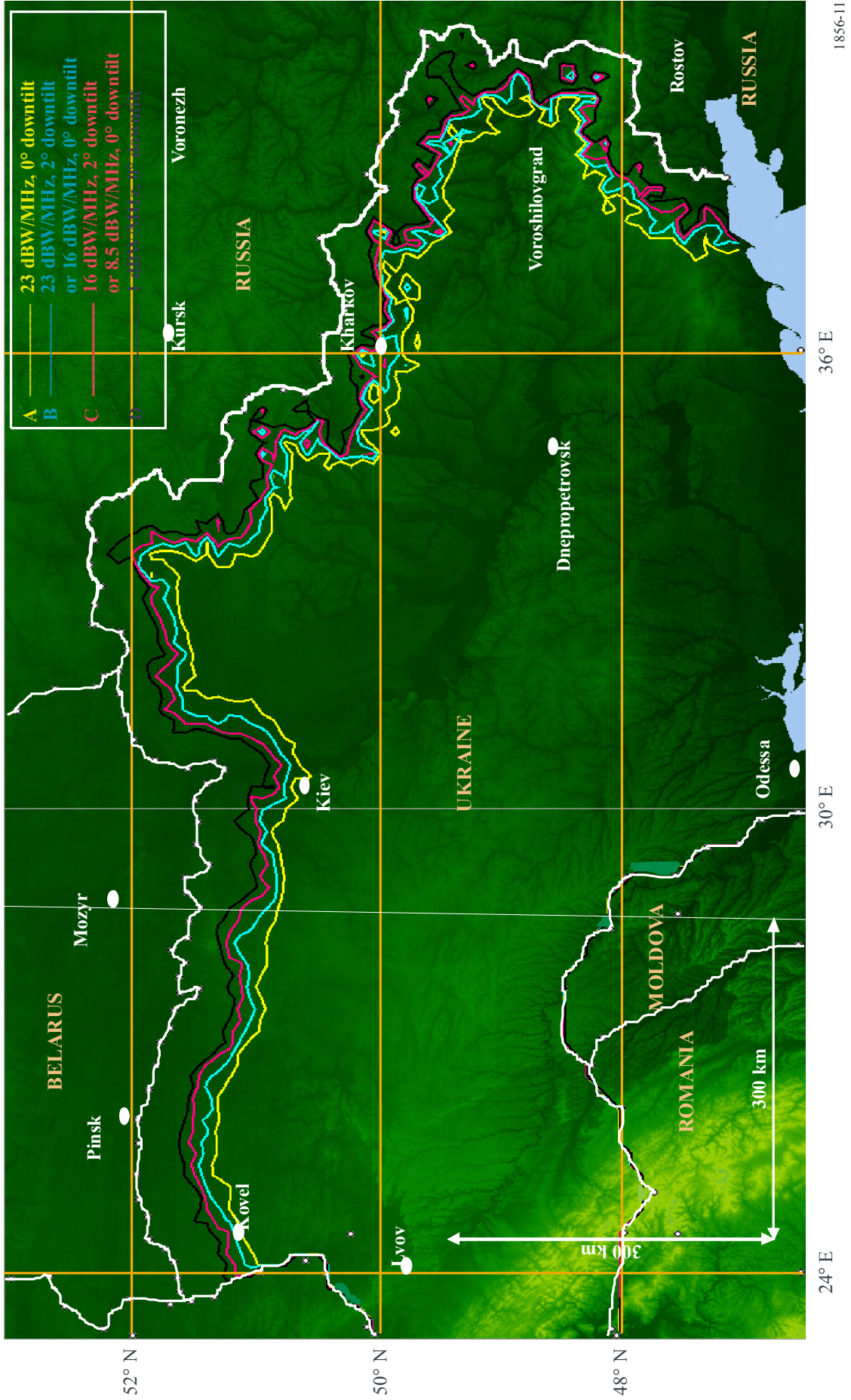


FIGURA 12

*Ejemplo 3* – Contornos más allá de los cuales una estación de base IMT a una altura de 30 m no rebasará el límite de  $d_f$  de  $-154,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  durante más del 20% del tiempo, en puntos a 3 m de altura en la frontera Noroeste de Sierra Leona

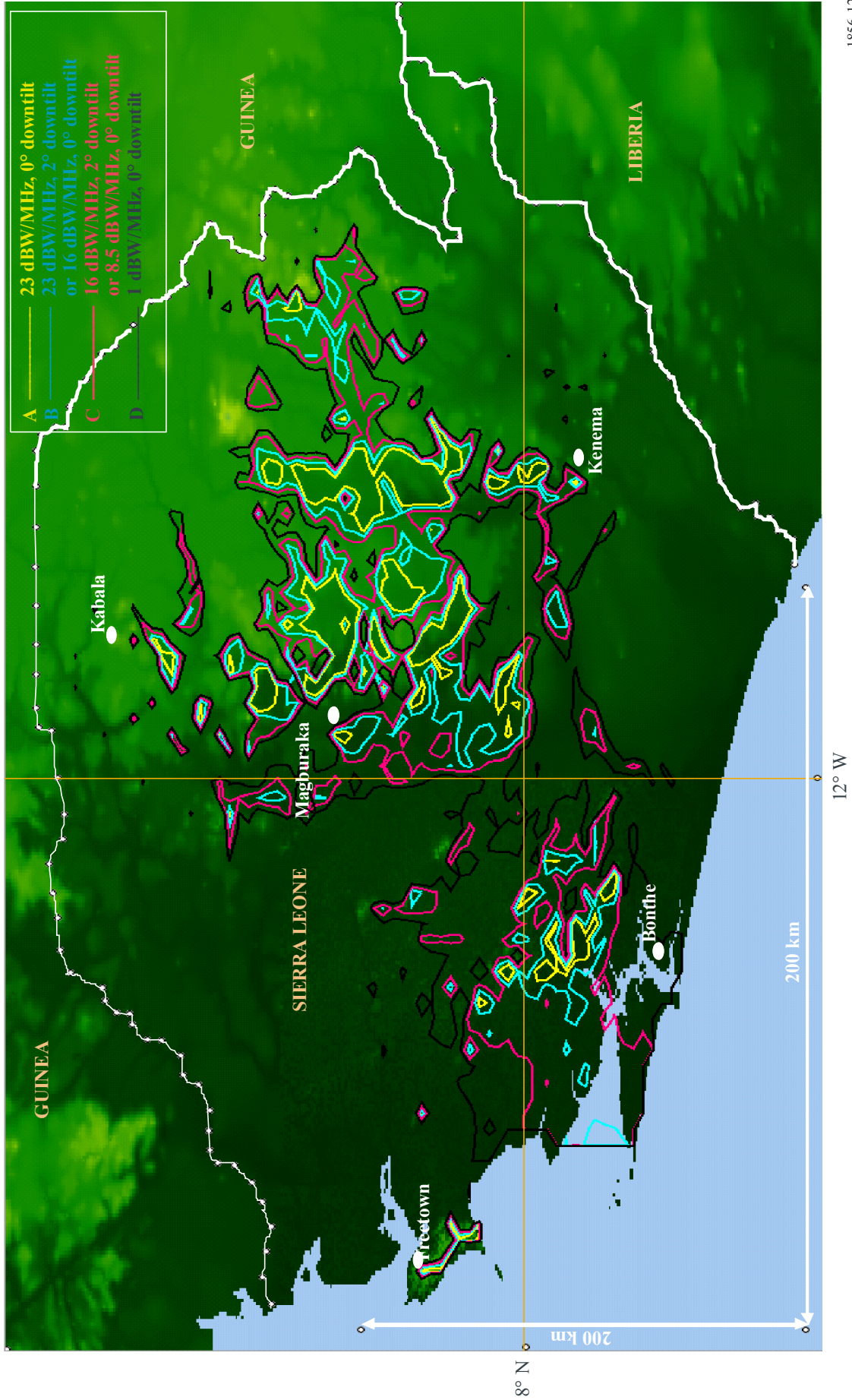
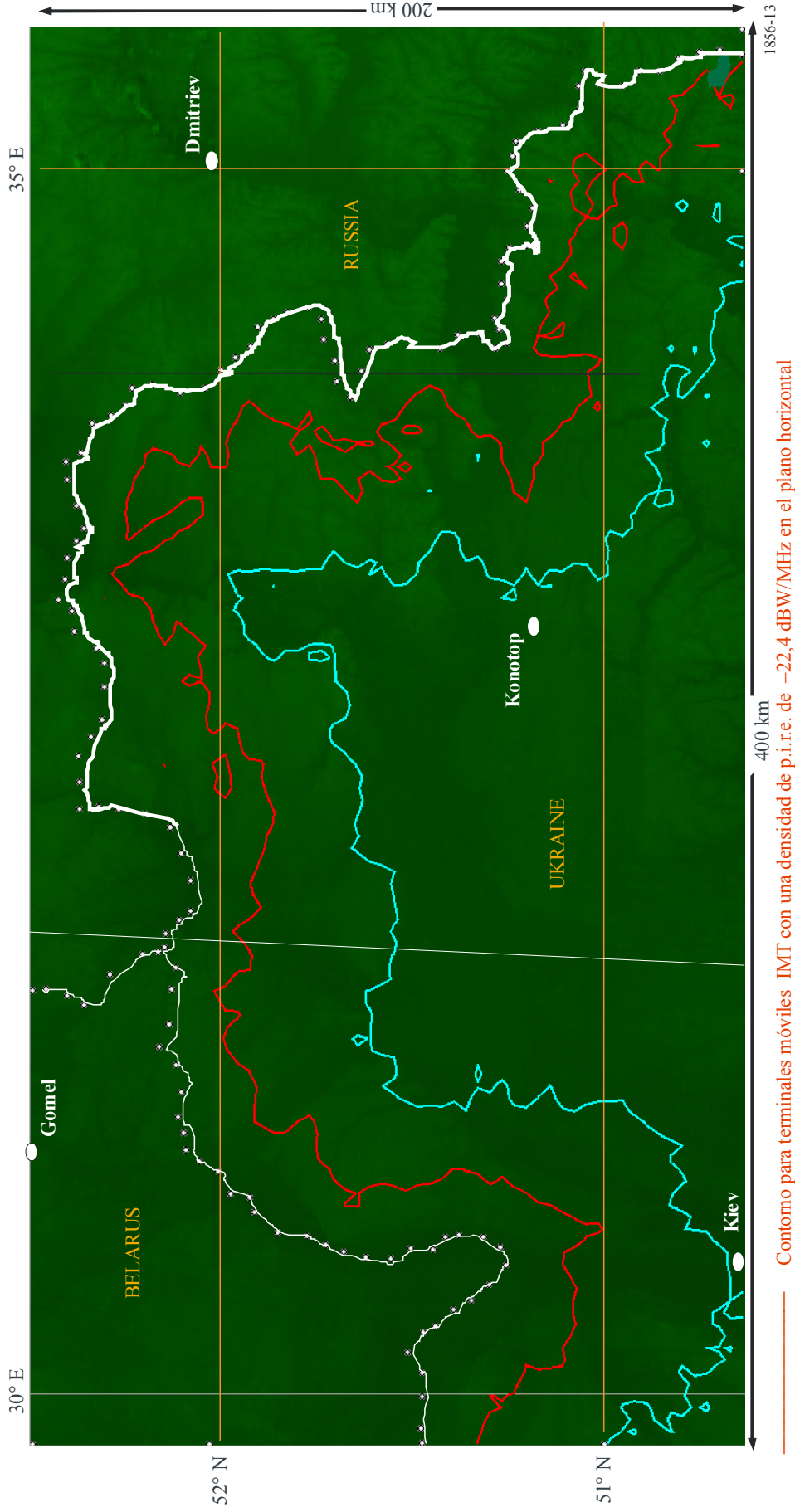


FIGURA 13

**Ejemplo 4 – Contornos más allá de los cuales una estación de base IMT a una altura de 30 m no rebasará el límite de dfp de  $-154,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  durante más del 20% del tiempo, en puntos a 3 m de altura en la frontera Norte de Ucrania**



— Contorno para terminales móviles IMT con una densidad de p.i.r.e. de  $-22,4 \text{ dBW/MHz}$  en el plano horizontal

— Contorno para estaciones de base IMT con una densidad de p.i.r.e. máxima de  $23 \text{ dB(W/MHz)}$ , pero con una inclinación de  $2^\circ$  (es decir  $15,5 \text{ dB(W/MHz)}$  en el plano horizontal)