

## RECOMENDACIÓN UIT-R P.1546-3

**Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales  
en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 MHz**

(2001-2003-2005-2007)

**Cometido**

En esta Recomendación se describe un método de predicción de propagación radioeléctrica punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 MHz. Se pretende utilizar este método en los circuitos radioeléctricos troposféricos en trayectos terrestres, trayectos marítimos y/o trayectos mixtos terrestre-marítimo entre 1-1 000 km de longitud para alturas de antena de transmisión efectivas menores de 3 000 m. El método se basa en la interpolación/extrapolación de curvas de intensidad de campo deducidas empíricamente en función de: la distancia, la altura de la antena, la frecuencia y el porcentaje de tiempo. El procedimiento de cálculo incluye además correcciones de los resultados que se obtienen de la interpolación/extrapolación a fin de reflejar el despejamiento del terreno y los obstáculos que obstruyen el terminal.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) la necesidad de facilitar directrices a los ingenieros para la planificación de los servicios de radiocomunicaciones terrenales en las bandas de ondas métricas y decamétricas;
- b) la importancia de determinar la distancia geográfica mínima entre las estaciones que trabajan en canales que utilizan las mismas frecuencias o en canales adyacentes, a fin de evitar la interferencia inaceptable debida a la propagación troposférica a gran distancia;
- c) que las curvas que aparecen en los Anexos 2, 3 y 4 se basan en el análisis estadístico de datos experimentales,

*observando*

- a) que la Recomendación UIT-R P.528 proporciona directrices sobre la predicción y la pérdida del trayecto de punto a zona para el servicio móvil aeronáutico en la gama de frecuencias 125 MHz a 30 GHz y para distancias de hasta 1 800 km;
- b) que la Recomendación UIT-R P.452 proporciona directrices para la evaluación detallada de la interferencia en microondas entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra a frecuencias superiores a unos 0,7 GHz;
- c) que la Recomendación UIT-R P.617 proporciona directrices sobre la predicción de la pérdida del trayecto punto a punto en sistemas de radioenlaces transhorizonte en frecuencias superiores a 30 MHz y distancias entre 100 y 1 000 km;
- d) que la Recomendación UIT-R P.1411 proporciona directrices sobre la predicción para servicios de exteriores de corto alcance (hasta 1 km);
- e) que la Recomendación UIT-R P.530 proporciona directrices sobre la predicción de la pérdida del trayecto punto a punto en sistemas terrenales con visibilidad directa,

*recomienda*

1 que se apliquen los procedimientos indicados en los Anexos 1 a 8 para la predicción de punto a zona de la intensidad de campo en los servicios de radiodifusión, móvil terrestre y móvil marítimo así como determinados servicios fijos (por ejemplo, los que emplean sistemas punto a multipunto) en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 MHz y para distancias de 1 km a 1 000 km.

## Anexo 1

### Introducción

#### 1 Las curvas de propagación

Las curvas de propagación de los Anexos 2, 3 y 4 representan los valores de la intensidad de campo para una potencia radiada aparente (p.r.a.) de 1 kW a las frecuencias nominales de 100, 600 y 2 000 MHz, respectivamente, en función de diversos parámetros; algunas curvas se refieren a trayectos terrestres y otras a trayectos marítimos. Deberá efectuarse una interpolación o extrapolación de los valores obtenidos a esos valores de frecuencia nominal para obtener los valores de la intensidad de campo a cualquier frecuencia que se requiera utilizando el método que figura en el § 6 del Anexo 5.

Las curvas se basan en datos obtenidos mediante mediciones y se refieren principalmente a las condiciones climáticas habituales en zonas templadas en las que existen mares fríos y mares cálidos, como por ejemplo, el Mar del Norte y el Mar Mediterráneo. Las curvas de los trayectos terrestres se prepararon con datos obtenidos sobre todo en zonas de clima templado, como es el caso en Europa y América del Norte. Las curvas de los trayectos marítimos se prepararon con datos obtenidos sobre todo en zonas del Mediterráneo y del Mar del Norte. Amplios estudios han puesto de manifiesto que las condiciones de propagación en determinadas zonas de superrefractividad lindantes con mares cálidos difieren de manera sustancial.

Sin embargo, los métodos utilizados para la interpolación y la extrapolación entre las familias de curvas de la intensidad de campo son generales. Por consiguiente, si existen familias de curvas en regiones con diferentes climas que actualmente se ven sometidas a condiciones de propagación radioeléctrica sustancialmente distintas, es necesario lograr una caracterización precisa de la propagación radioeléctrica en estas regiones utilizando los métodos que se describen en la presente Recomendación.

La presente Recomendación no es específica de una polarización determinada.

#### 2 Intensidades de campo máximas

Las curvas tienen límites superiores relativos al posible valor de la intensidad de campo que pudiera obtenerse en determinadas condiciones. Dichos límites se definen en el § 2 del Anexo 5 y se indican mediante líneas de trazos en los gráficos reproducidos en los Anexos 2, 3 y 4.

### **3 Tabulaciones basadas en ordenador**

Aunque las intensidades de campo se pueden leer directamente en las curvas presentadas en las Figuras de los Anexos 2, 3 y 4 a la presente Recomendación, lo que se pretende es que las aplicaciones informáticas del método utilicen las intensidades de campo tabuladas disponibles en la Oficina de Radiocomunicaciones (BR). Véase la parte de la dirección web del UIT-R relativa a la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones.

### **4 Método paso a paso**

En el Anexo 6 figura el procedimiento paso a paso detallado que se ha de utilizar en la aplicación de esta Recomendación.

### **5 Designación de las antenas**

En la presente Recomendación, la expresión «antena transmisora/de base» se utiliza para referirse tanto a las antenas transmisoras utilizadas en el servicio de radiodifusión como a las antenas de estación de base utilizadas en los servicios móviles terrenales. De manera similar, la expresión «antena receptora/móvil» se utiliza para referirse a las antenas receptoras utilizadas en el servicio de radiodifusión y a las antenas móviles utilizadas en los servicios móviles terrenales. En el Anexo 5 se presenta más información relativa a la designación de los terminales.

### **6 Altura de la antena transmisora/de base**

El método tiene en cuenta la altura efectiva de la antena transmisora/de base, que es la altura de la antena sobre el nivel medio del terreno para distancias comprendidas entre 3 y 15 km en la dirección de la antena receptora/móvil. En el caso de trayectos terrestres de menos de 15 km de los que se dispone información, el método tiene también en cuenta la altura de la antena transmisora/de base por encima del nivel representativo de los obstáculos (es decir, la ocupación del suelo) en el lugar en que se halle la estación transmisora/de base. La altura de la antena transmisora/de base,  $h_1$ , que se ha de utilizar en los cálculos se obtiene aplicando el método que se indica en el § 3 del Anexo 5.

### **7 Alturas de antena transmisora/de base utilizadas para las curvas**

Las curvas de intensidad de campo en función de la distancia de los Anexos 2, 3 y 4, y las correspondientes tabulaciones, se dan para unos valores de  $h_1$  de 10, 20, 37,5, 75, 150, 300, 600 y 1200 m. Para cualquier valor de  $h_1$  comprendido entre 10 m y 3000 m deberá efectuarse una interpolación o extrapolación a partir de las dos curvas apropiadas, como se describe en el § 4.1 del Anexo 5. Para  $h_1$  por debajo de 10 m, la extrapolación que se ha de aplicar se indica en el § 4.2 del Anexo 5. Es posible que  $h_1$  tome valores negativos, en cuyo caso deberá utilizarse el método que figura en el § 4.3 del Anexo 5.

### **8 Variabilidad temporal**

Las curvas de propagación representan los valores de la intensidad de campo rebasados durante el 50%, el 10% y el 1% del tiempo. En el § 7 del Anexo 5 se da un método para interpolar entre esos valores. La presente Recomendación no es válida para intensidades de campo rebasadas durante porcentajes de tiempo fuera de la gama del 1% al 50%.

## 9 Método para trayectos mixtos

Cuando el trayecto radioeléctrico se desarrolle tanto sobre tierra como sobre el mar, deberá efectuarse una estimación de la intensidad de campo del trayecto mixto utilizando el método dado en el § 8 del Anexo 5.

## 10 Altura de la antena receptora/móvil

Para los trayectos terrestres, las curvas dan valores de la intensidad de campo correspondientes a una altura de la antena receptora/móvil sobre el nivel del suelo,  $h_2$  (m), igual a la altura representativa de la ocupación del suelo en el lugar en que se halla dicha antena. El valor mínimo de la altura representativa de la ocupación del suelo es de 10 m. En el caso de trayectos marítimos, las curvas dan valores de intensidad de campo para  $h_2 = 10$  m. Los valores de  $h_2$  diferentes de la altura representada por una curva se tienen en cuenta aplicando una corrección de acuerdo con el entorno de la antena receptora/móvil. En el § 9 del Anexo 5 se da el método de cálculo de dicha corrección.

## 11 Corrección debida al ángulo de despejamiento del terreno

Las intensidades de campo para los trayectos terrestres se pueden predecir con mayor exactitud teniendo en cuenta el terreno próximo a la antena receptora/móvil, si se dispone de los datos al respecto, mediante un ángulo de despejamiento del terreno. Una vez efectuado el cálculo correspondiente a un trayecto mixto, deberá aplicarse esta corrección si la antena receptora/móvil está situada junto a una sección terrestre del trayecto. En el § 11 del Anexo 5 se da más información sobre la corrección debida al ángulo de despejamiento del terreno.

## 12 Variabilidad con las ubicaciones

Las curvas de propagación representan los valores de intensidad de campo rebasados en el 50% de las ubicaciones dentro de un área cualquiera normalmente de 500 m por 500 m. Para más información sobre variabilidad con las ubicaciones y sobre el método de cálculo de la corrección requerida con porcentajes de ubicaciones distintos del 50%, véase el § 12 del Anexo 5.

## 13 Pérdida básica de transmisión equivalente

En el § 14 del Anexo 5 se da un método de conversión de intensidad de campo correspondiente a una p.r.a. de 1 kW en la pérdida básica de transmisión equivalente.

## 14 Variabilidad del índice de refracción atmosférica

Se sabe que el valor mediano de la intensidad de campo y su variabilidad en el tiempo varían según la región climatológica. Las curvas de la intensidad de campo de los Anexos 2, 3 y 4 se aplican a los climas templados. El Anexo 8 da un método para ajustar las curvas de las distintas regiones del mundo sobre la base de los datos del gradiente vertical de la refractividad atmosférica asociados a la Recomendación UIT-R P.453.

## 15 Compatibilidad con el método Okumura-Hata

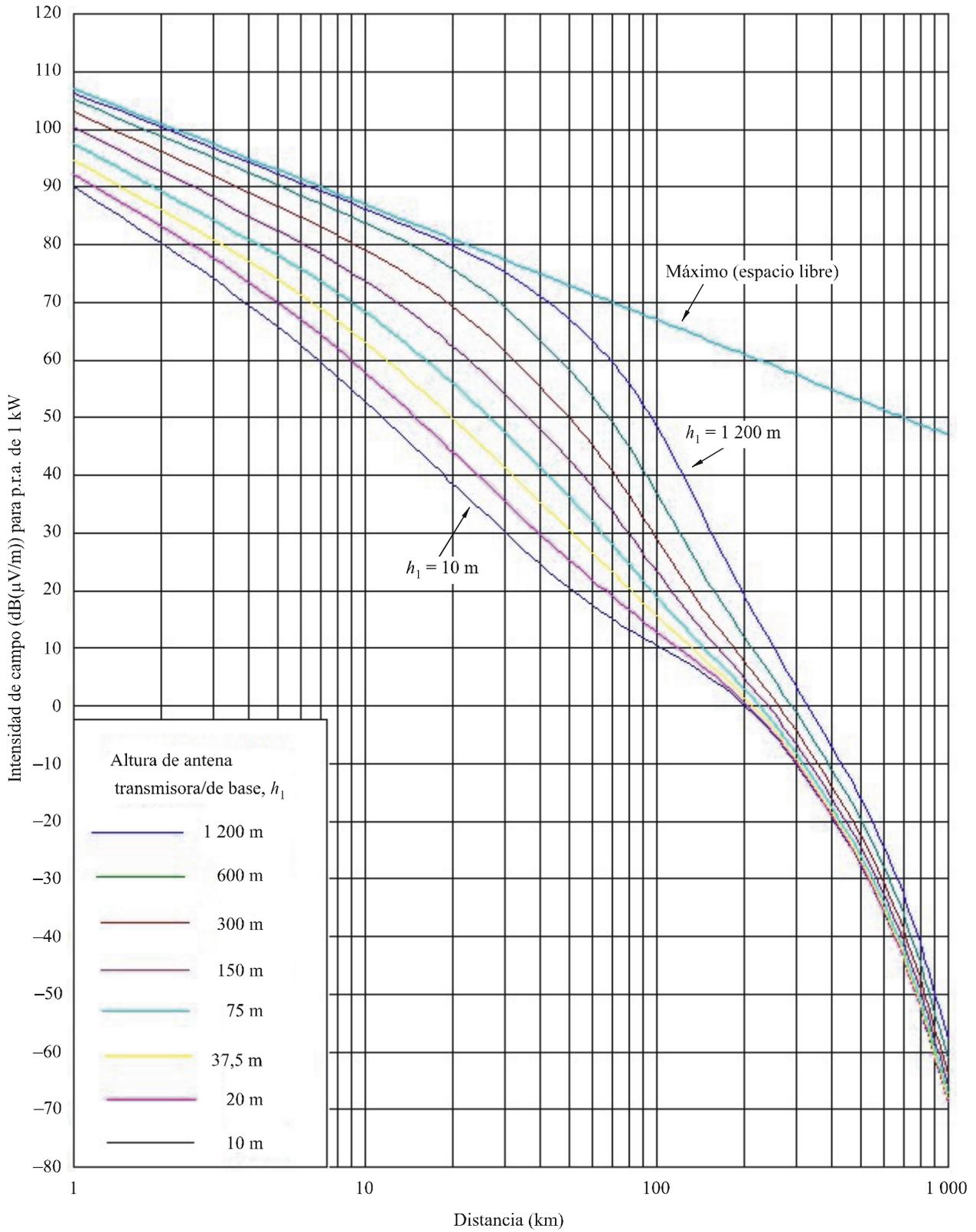
El Anexo 7 da las ecuaciones de Hata para la predicción de la intensidad de campo en el caso de servicios móviles en un entorno urbano, y describe las condiciones en las que la presente Recomendación da resultados compatibles.

## Anexo 2

### Gama de frecuencias de 30 a 300 MHz

- 1** Las curvas de intensidad de campo en función de la distancia que se muestran en este Anexo corresponden a una frecuencia de 100 MHz. Se pueden utilizar para frecuencias comprendidas en la gama de 30 a 300 MHz, pero deberá aplicarse el procedimiento indicado en el § 6 del Anexo 5 para obtener una mayor exactitud. El mismo procedimiento deberá aplicarse cuando se utilicen los valores tabulados de intensidad de campo en función de la distancia (véase el § 3 del Anexo 1).
- 2** Las curvas de las Figs. 1 a 3 representan los valores de intensidad de campo rebasados en el 50% de las ubicaciones dentro de un área de aproximadamente 500 m por 500 m durante el 50%, el 10% y el 1% del tiempo para trayectos terrestres.
- 3** La distribución de la intensidad de campo en función del porcentaje de ubicaciones se puede calcular utilizando la información del § 12 del Anexo 5.
- 4** Las curvas de las Figs. 4 a 8 representan los valores de intensidad de campo rebasados en el 50% de las ubicaciones durante el 50%, el 10% y el 1% del tiempo, para trayectos marítimos sobre mares fríos y mares cálidos, cuyas características son, por ejemplo, las que se observan en el Mar del Norte y en el Mar Mediterráneo, respectivamente.
- 5** En las zonas sujetas a fenómenos de superrefracción intensa se deberán tener en cuenta las informaciones contenidas en el § 14 del Anexo 1.
- 6** La ionosfera puede influir, principalmente por los efectos debidos a la ionización de la capa E esporádica, en la propagación en la parte inferior de las bandas de ondas métricas, en particular para las frecuencias inferiores a 90 MHz. En algunas circunstancias, este modo de propagación puede influir en la intensidad de campo, excedida durante pequeños porcentajes de tiempo, para distancias superiores a unos 500 km. Cerca del ecuador magnético y en la zona auroral, los porcentajes de tiempo pueden ser mayores. Es posible, no obstante, despreciar por lo general esos efectos ionosféricos en la mayor parte de las aplicaciones a las que se refiere esta Recomendación; las curvas del presente Anexo se han preparado en este supuesto. (La Recomendación UIT-R P.534 contiene algunas orientaciones respecto a la propagación por la capa E esporádica.)

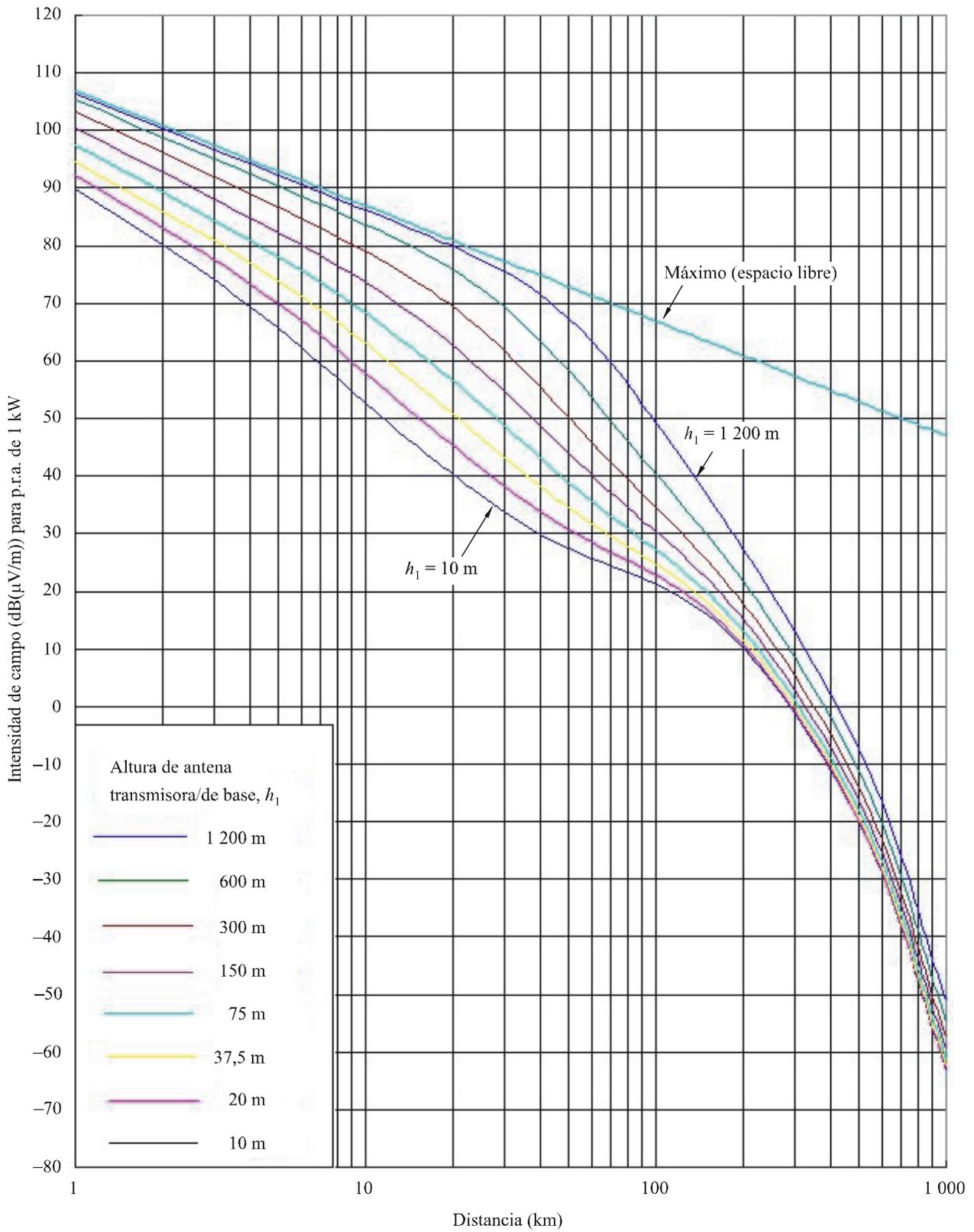
FIGURA 1  
100 MHz, trayecto terrestre, 50% del tiempo



50% de las ubicaciones

$h_2$ : altura representativa de los obstáculos

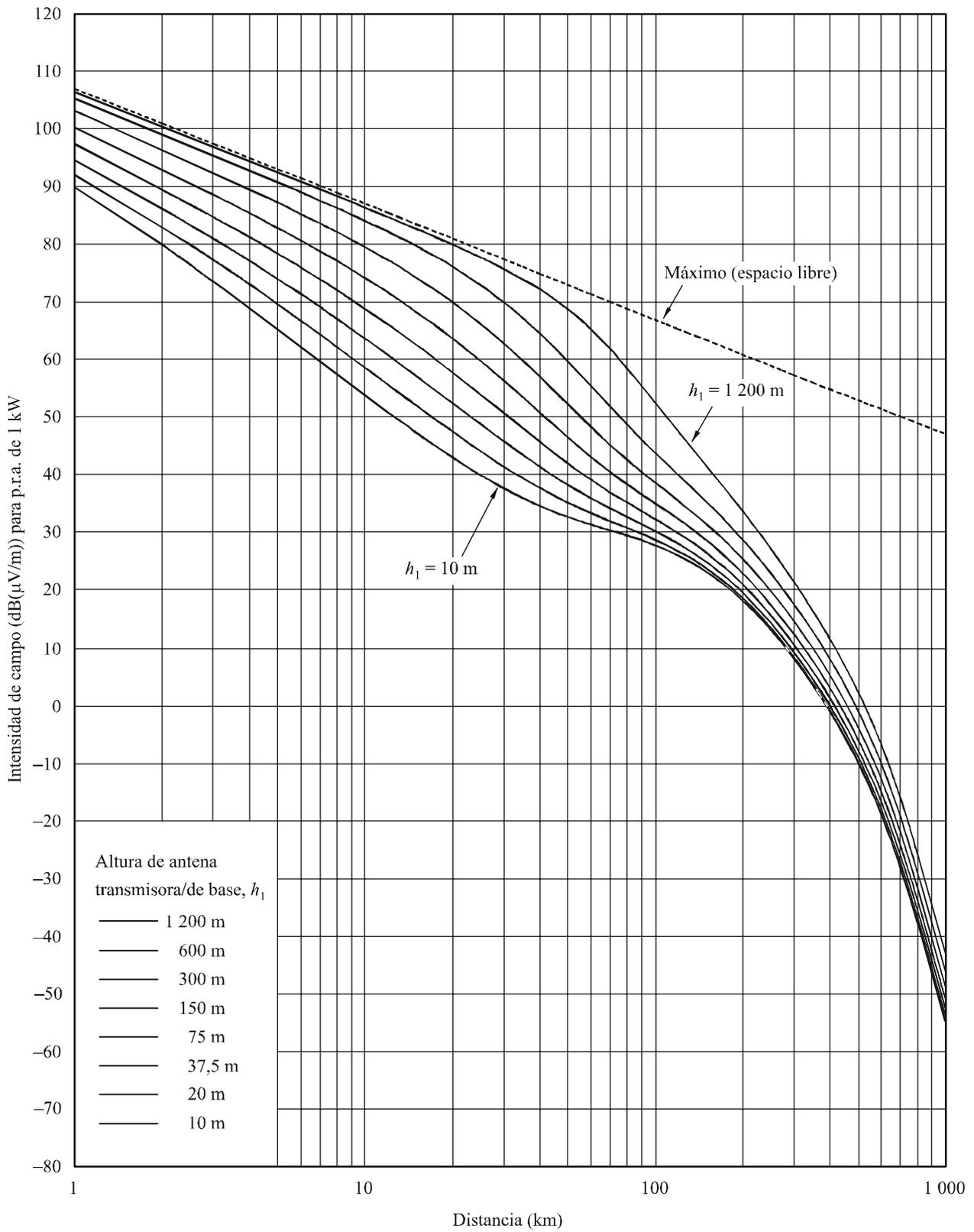
FIGURA 2  
100 MHz, trayecto terrestre, 10% del tiempo



50% de las ubicaciones

$h_2$ : altura representativa de los obstáculos

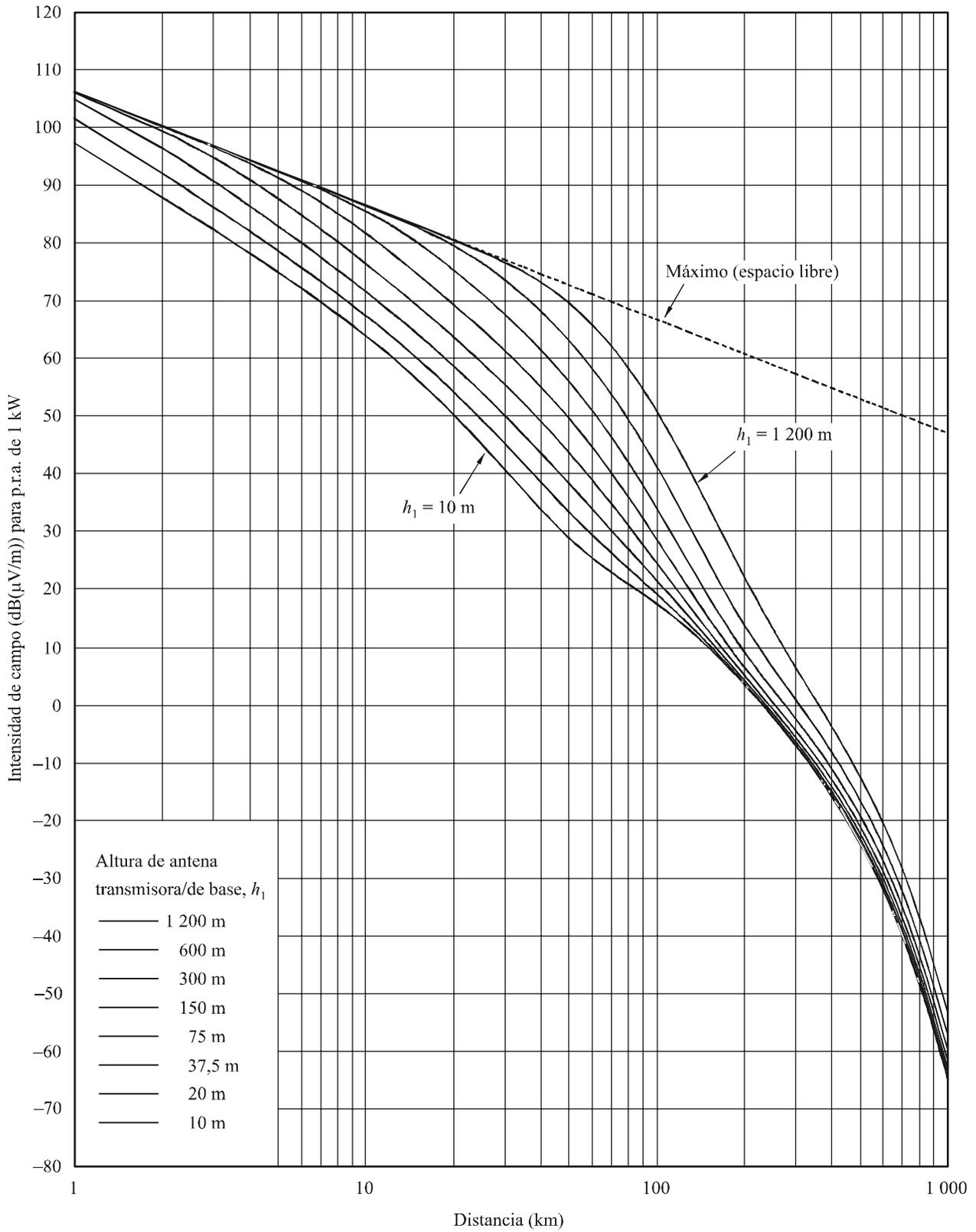
FIGURA 3  
100 MHz, trayecto terrestre, 1% del tiempo



50% de las ubicaciones

$h_2$ : altura representativa de los obstáculos

FIGURA 4  
100 MHz, trayecto marítimo, 50% del tiempo

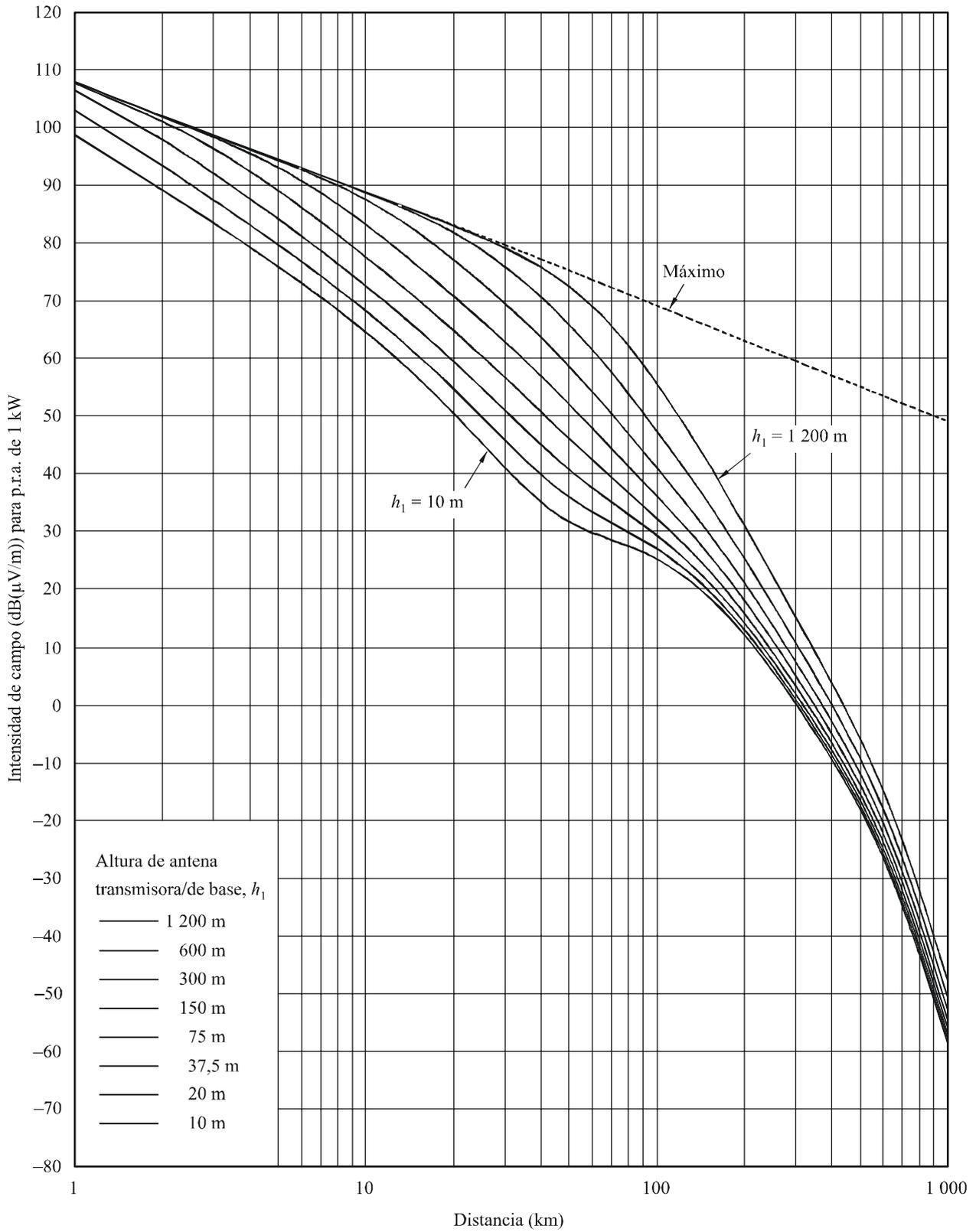


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$  m

FIGURA 5

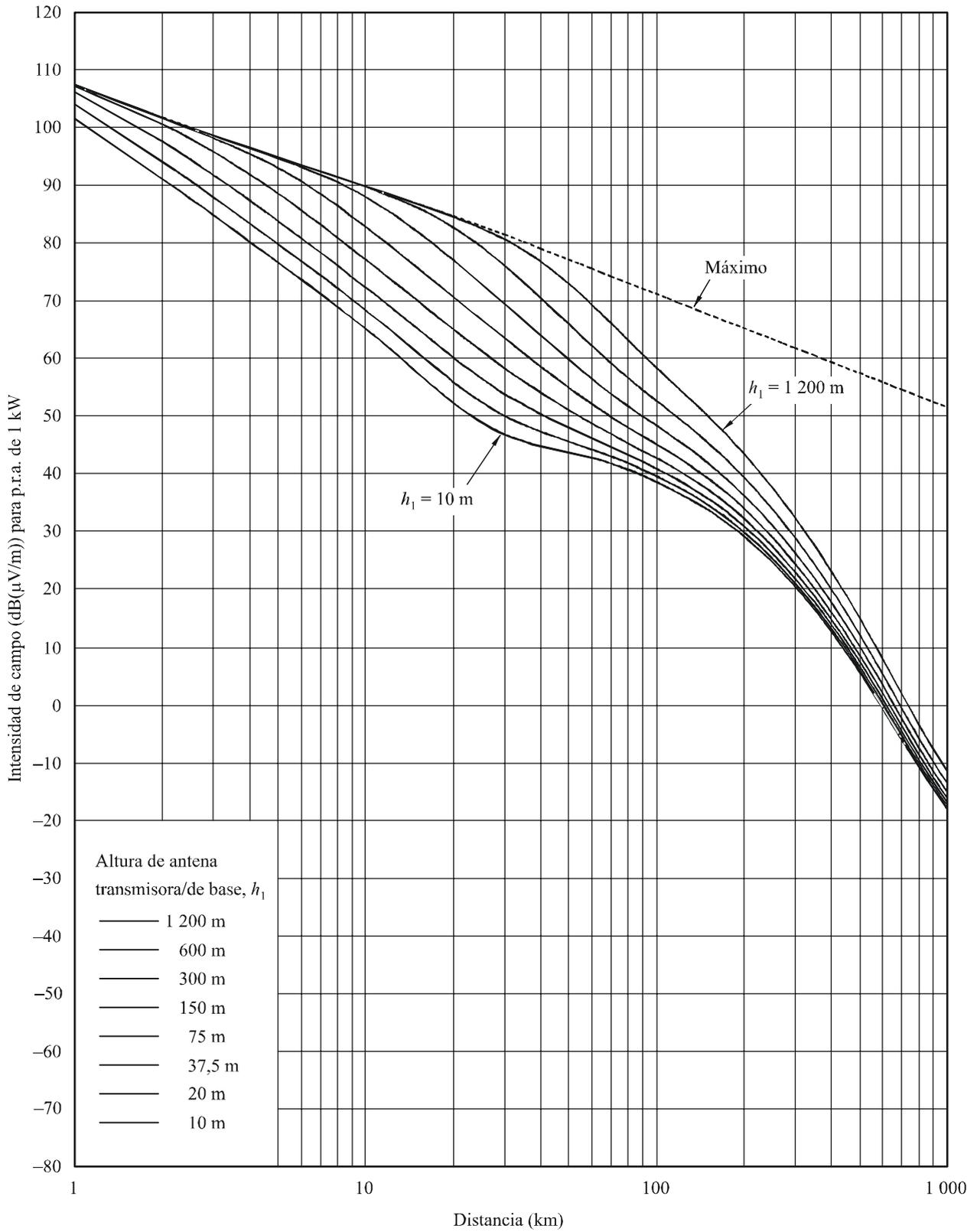
100 MHz, trayecto sobre mares fríos, 10% del tiempo



50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$  m

FIGURA 6  
100 MHz, trayecto sobre mares fríos, 1% del tiempo

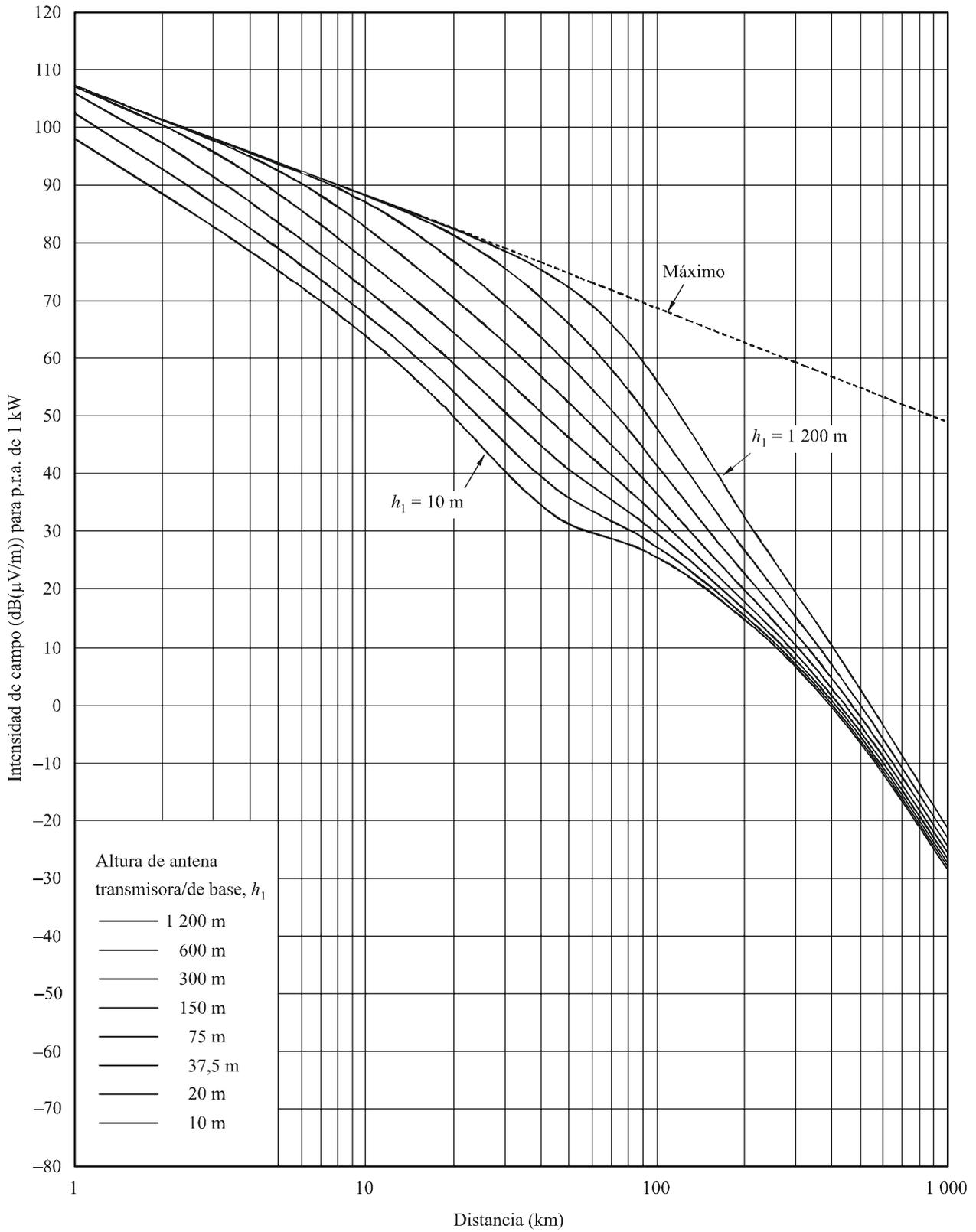


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10\ m$

FIGURA 7

100 MHz, trayecto sobre mares cálidos, 10% del tiempo

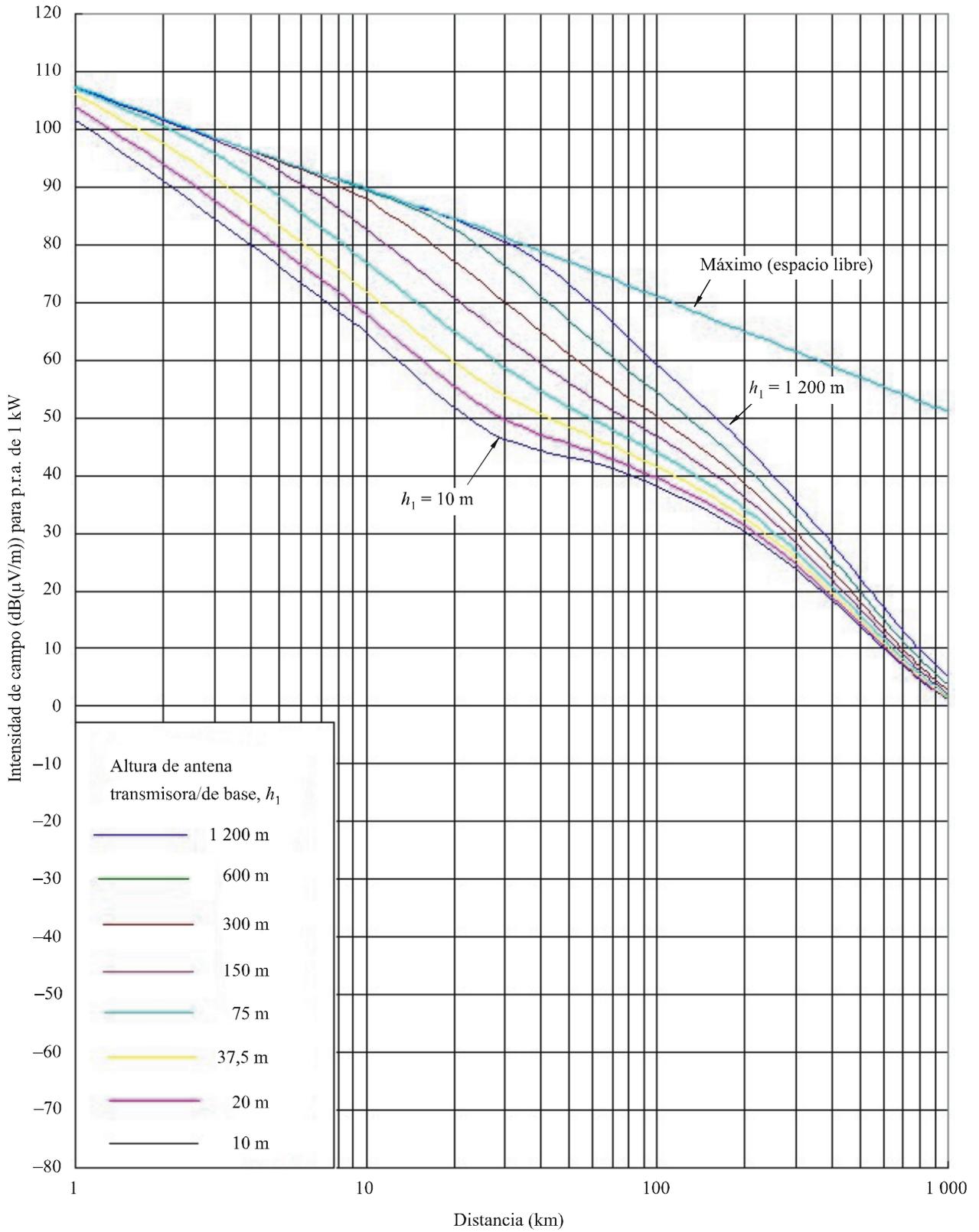


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$  m

FIGURA 8

100 MHz, trayecto sobre mares cálidos, 1% del tiempo



50% de las ubicaciones

$h_2 = 10\ m$

### Anexo 3

#### Gama de frecuencias de 300 a 1 000 MHz

**1** Las curvas de intensidad de campo en función de la distancia que se muestran en este Anexo corresponden a una frecuencia de 600 MHz. Se pueden utilizar para frecuencias comprendidas en la gama de 300 a 1 000 MHz, pero deberá aplicarse el procedimiento indicado en el § 6 del Anexo 5 para obtener una mayor exactitud. El mismo procedimiento deberá aplicarse cuando se utilicen los valores tabulados de intensidad de campo en función de la distancia (véase el § 3 del Anexo 1).

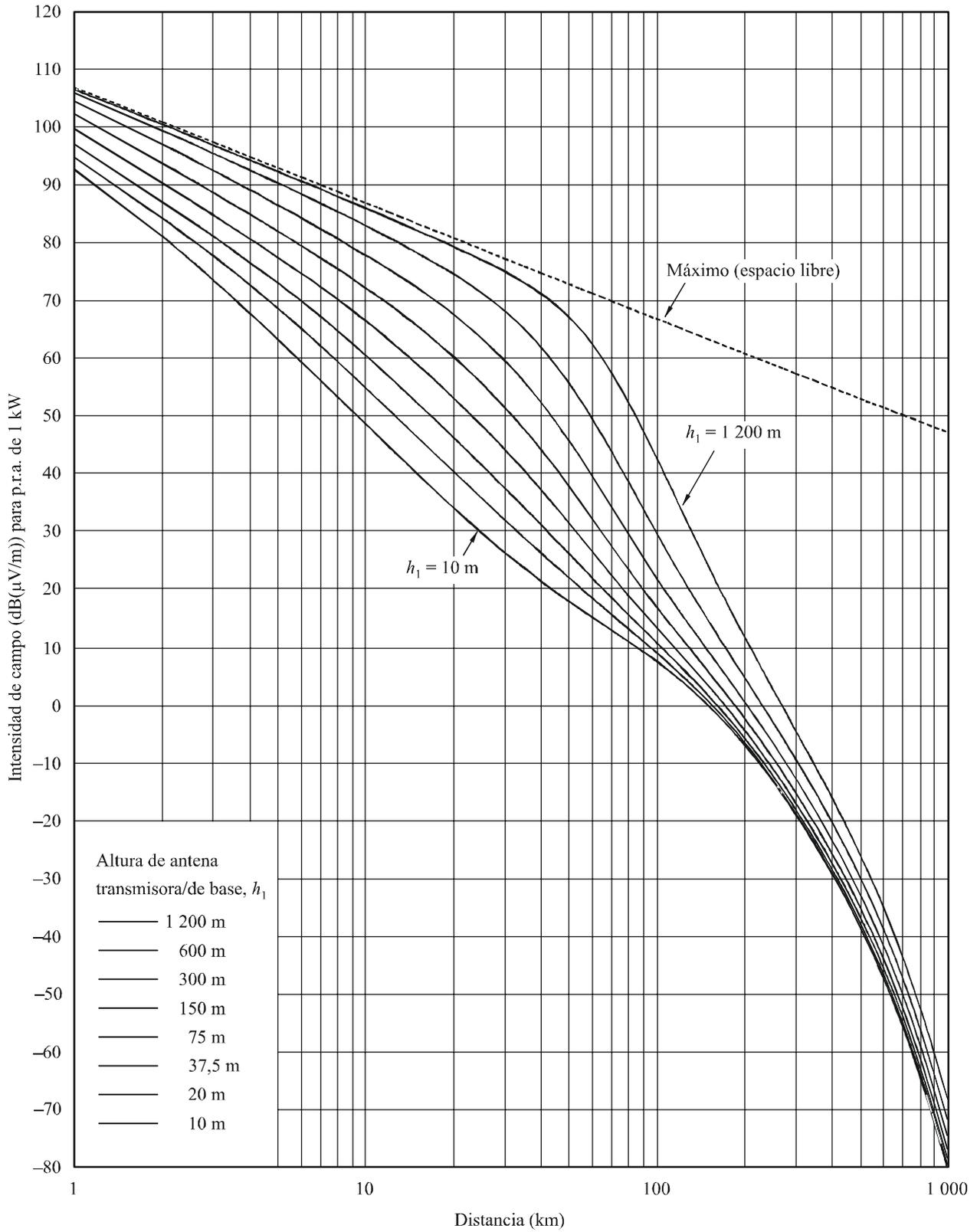
**2** Las curvas de las Figs. 9 a 11 representan los valores de intensidad de campo rebasados en el 50% de las ubicaciones dentro de un área de aproximadamente 500 m por 500 m durante el 50%, el 10% y el 1% del tiempo para trayectos terrestres.

**3** La distribución de la intensidad de campo en función del porcentaje de ubicaciones se puede calcular utilizando la información del § 12 del Anexo 5.

**4** Las curvas de las Figs. 12 a 16 representan los valores de intensidad de campo rebasados en el 50% de las ubicaciones durante el 50%, el 10% y el 1% de tiempo, para trayectos marítimos sobre mares fríos y mares cálidos, cuyas características son, por ejemplo, las que se observan en el Mar del Norte y el Mar Mediterráneo, respectivamente.

**5** En las zonas sujetas a fenómenos de superrefracción intensa se deberán tener en cuenta las informaciones contenidas en el § 14 del Anexo 1.

FIGURA 9  
600 MHz, trayecto terrestre, 50% del tiempo

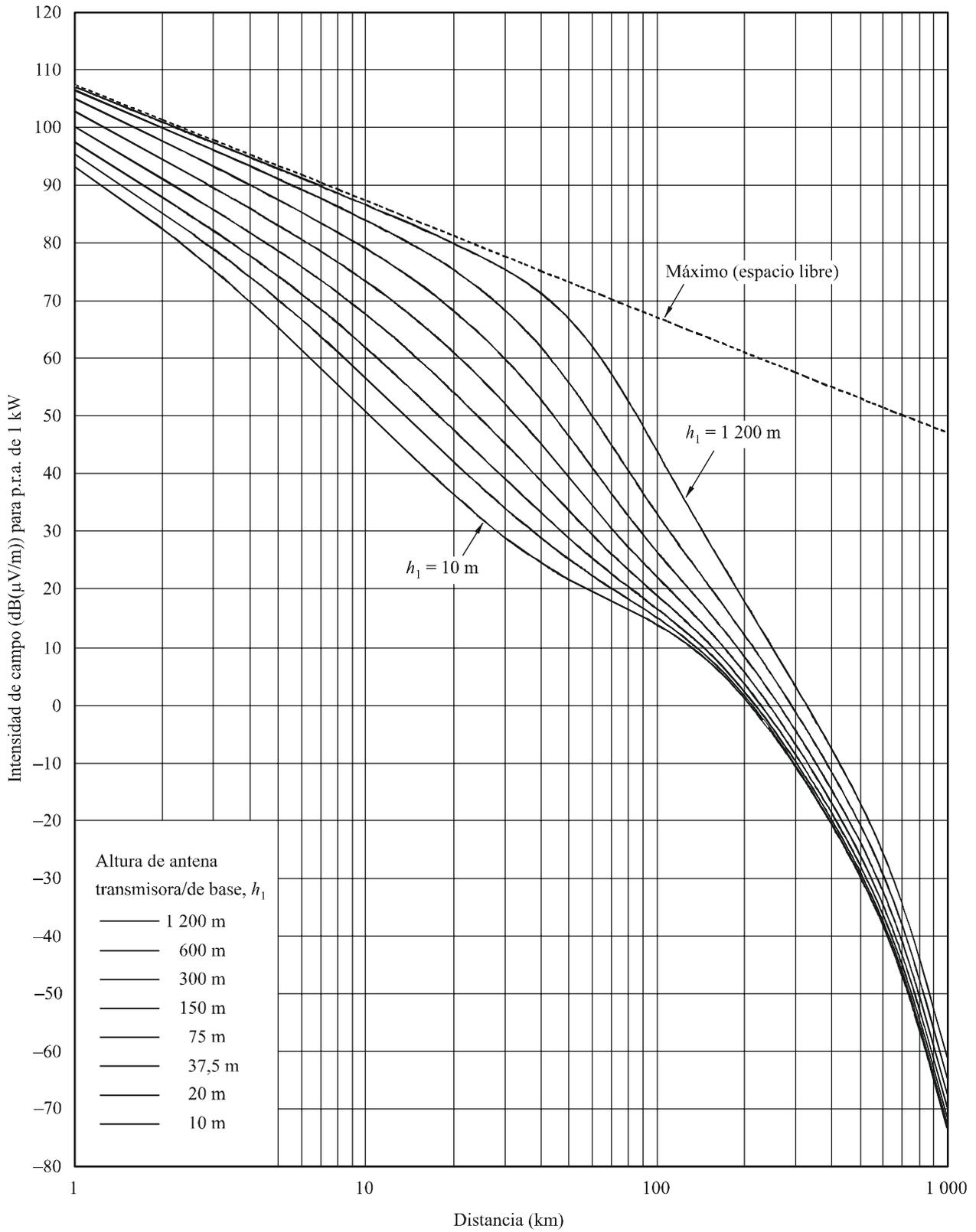


50% de las ubicaciones

$h_2$ : altura representativa de los obstáculos

FIGURA 10

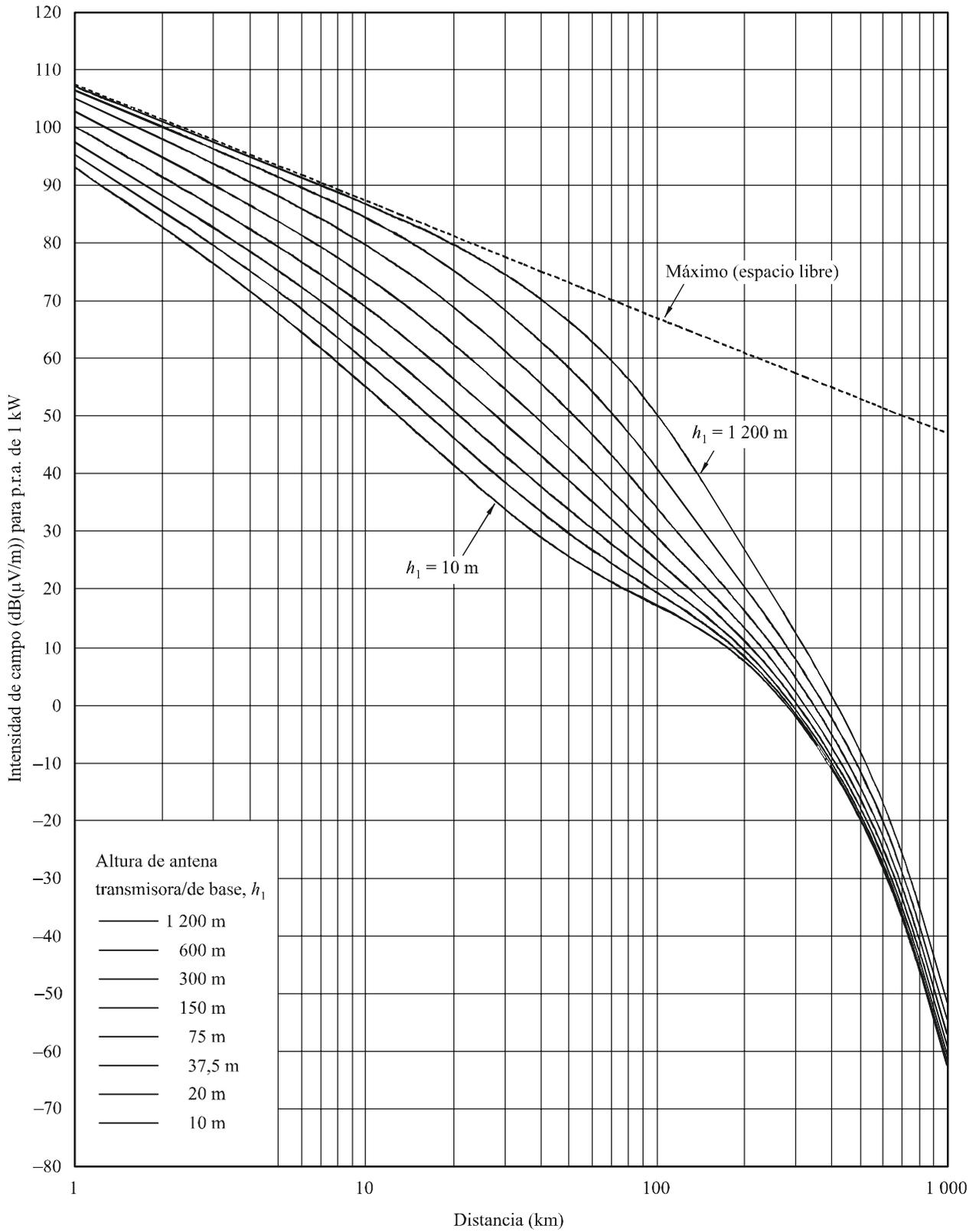
600 MHz, trayecto terrestre, 10% del tiempo



50% de las ubicaciones

$h_2$ : altura representativa de los obstáculos

FIGURA 11  
600 MHz, trayecto terrestre, 1% del tiempo

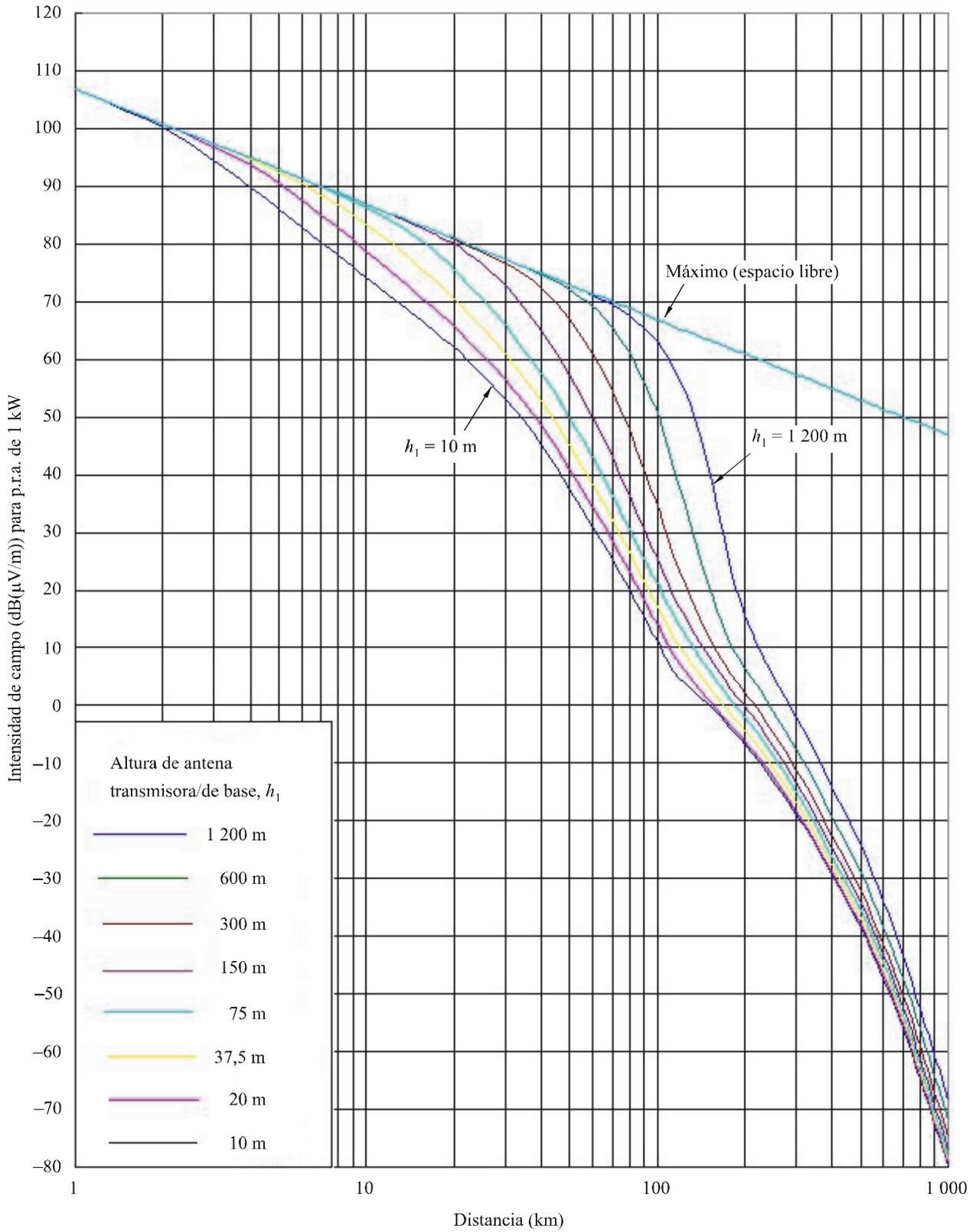


50% de las ubicaciones

$h_2$ : altura representativa de los obstáculos

FIGURA 12

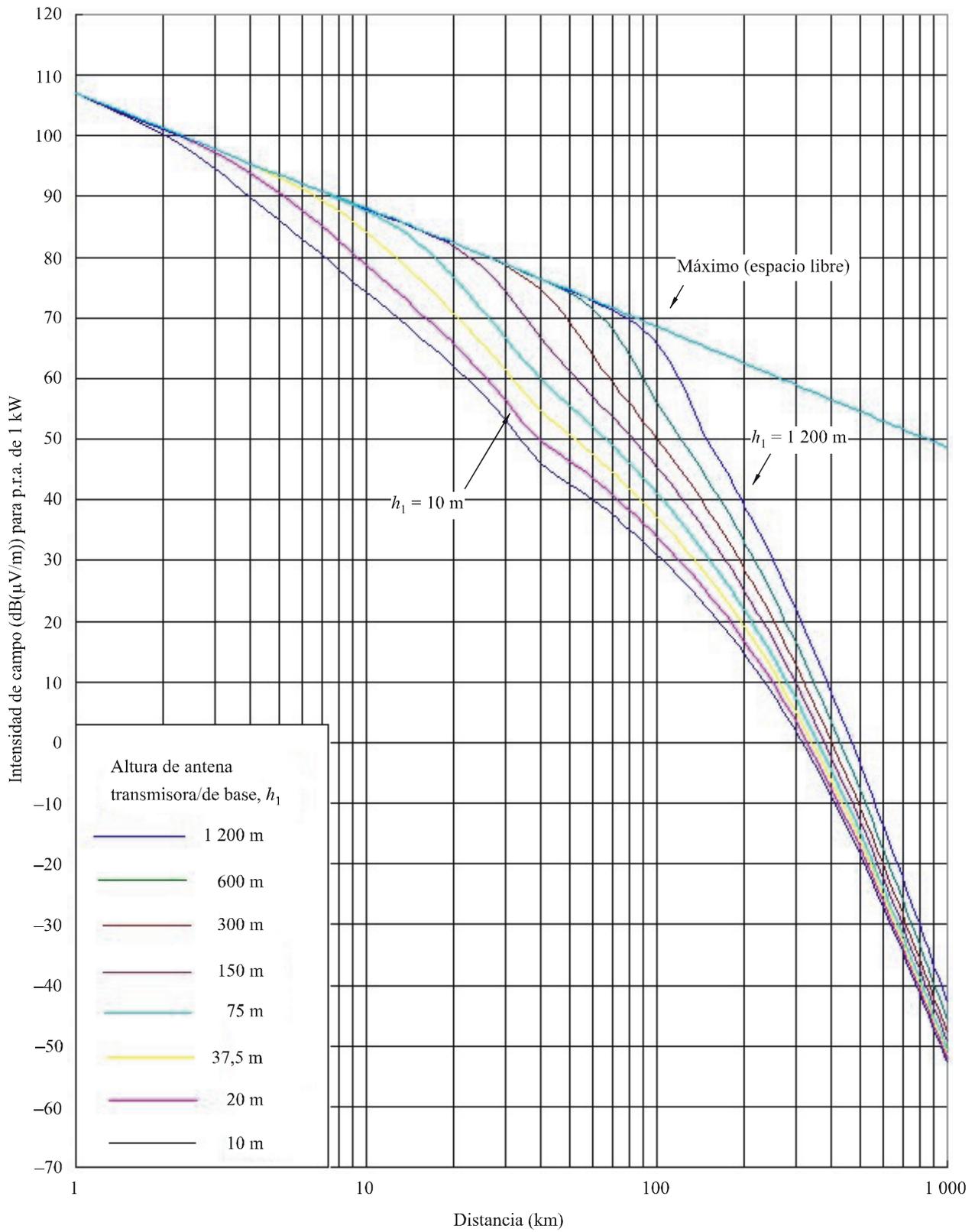
600 MHz, trayecto marítimo, 50% del tiempo



50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$  m

FIGURA 13  
600 MHz, trayecto sobre mares fríos, 10% del tiempo

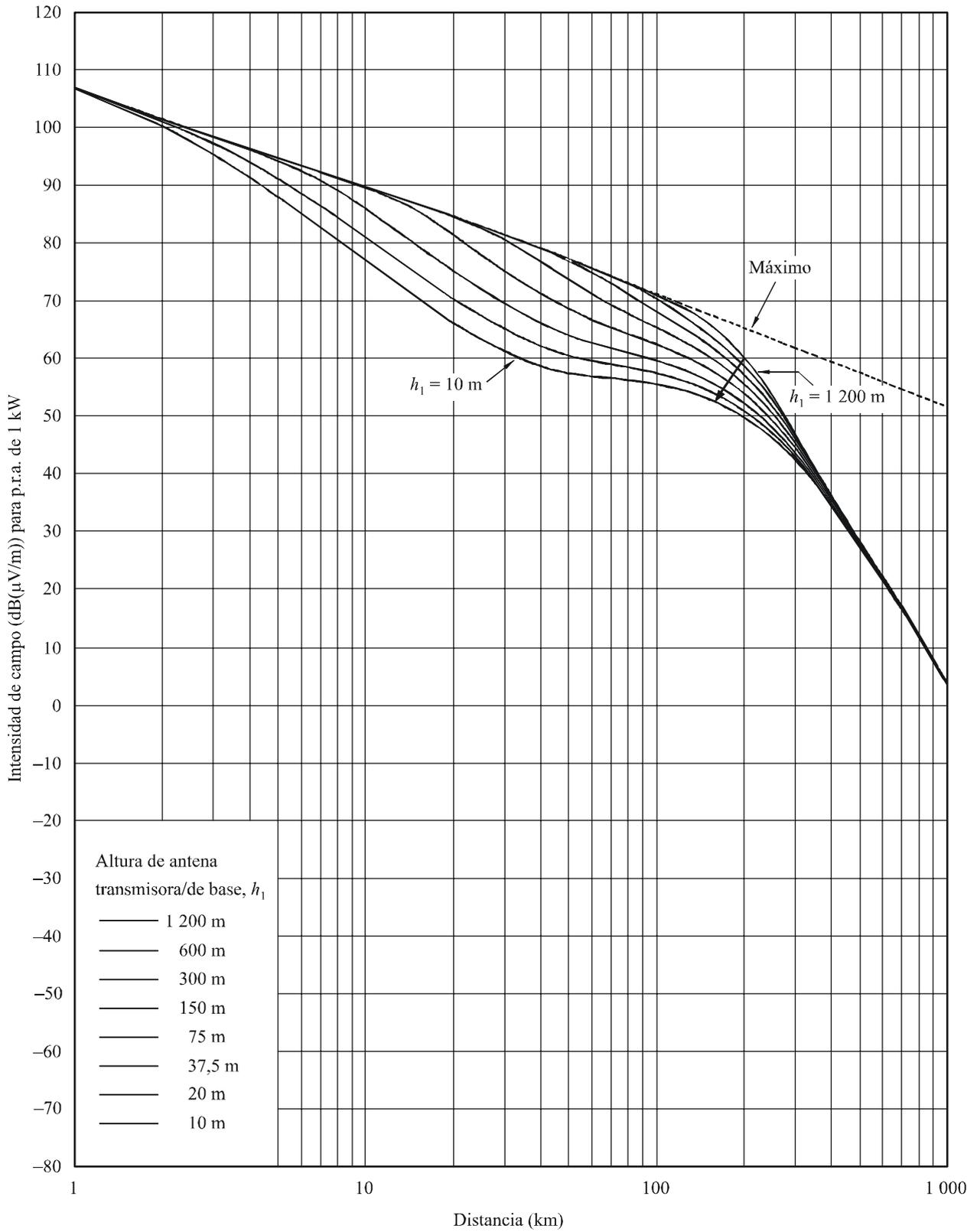


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10\ m$

FIGURA 14

600 MHz, trayecto sobre mares fríos, 1% del tiempo

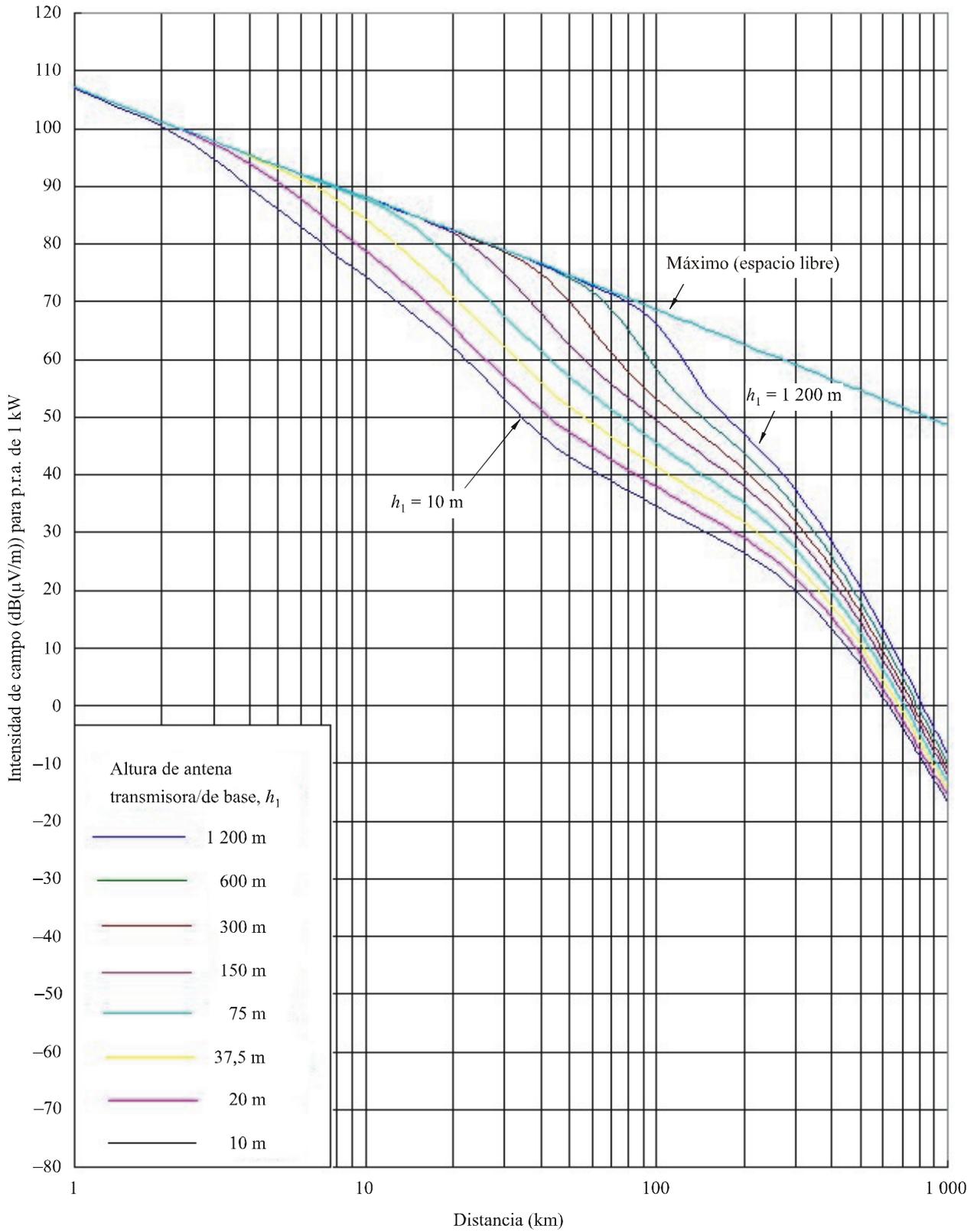


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$  m

FIGURA 15

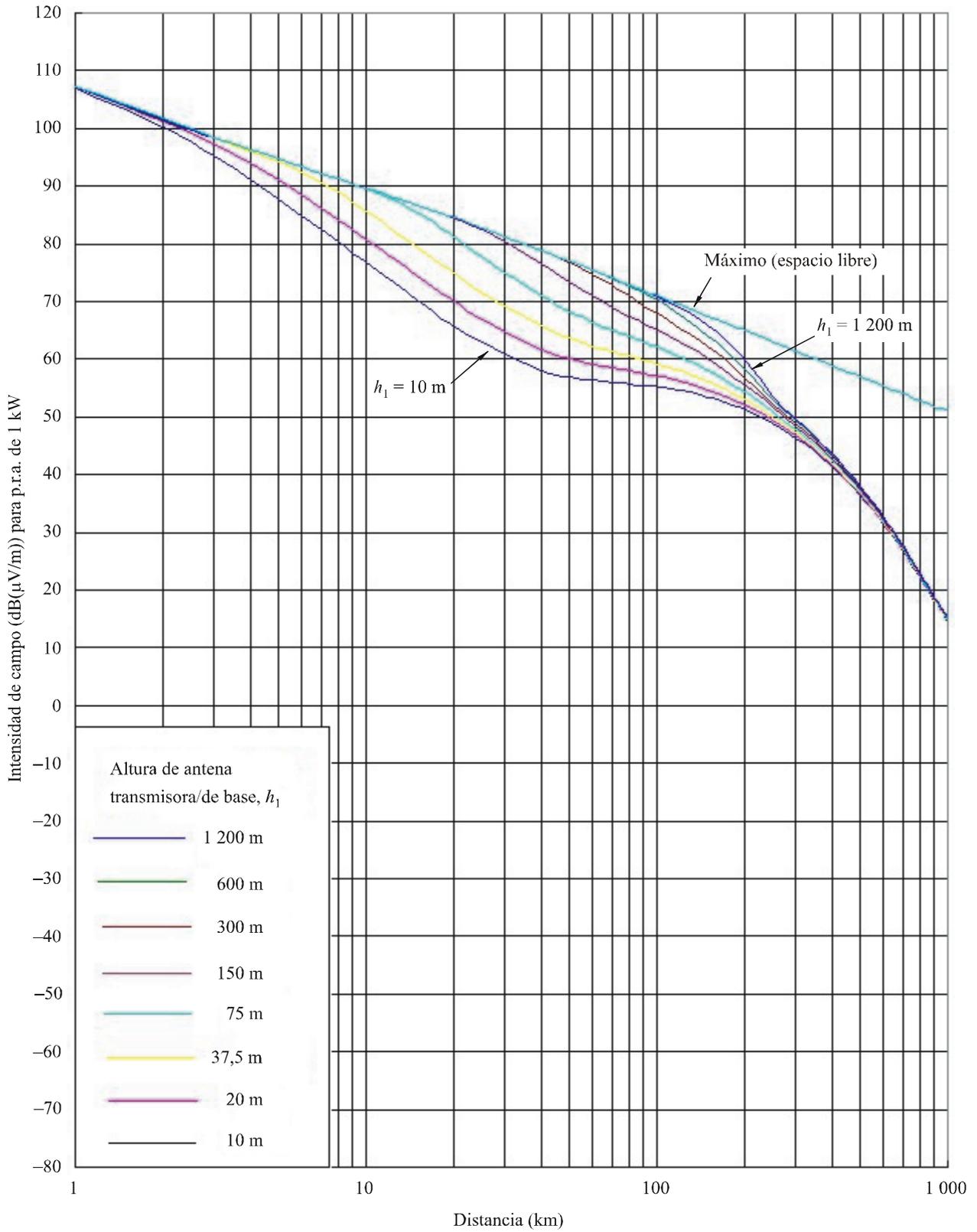
600 MHz, trayecto sobre mares cálidos, 10% del tiempo



50% de las ubicaciones

h<sub>2</sub> = 10 m

FIGURA 16  
600 MHz, trayecto sobre mares cálidos, 1% del tiempo



50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$  m

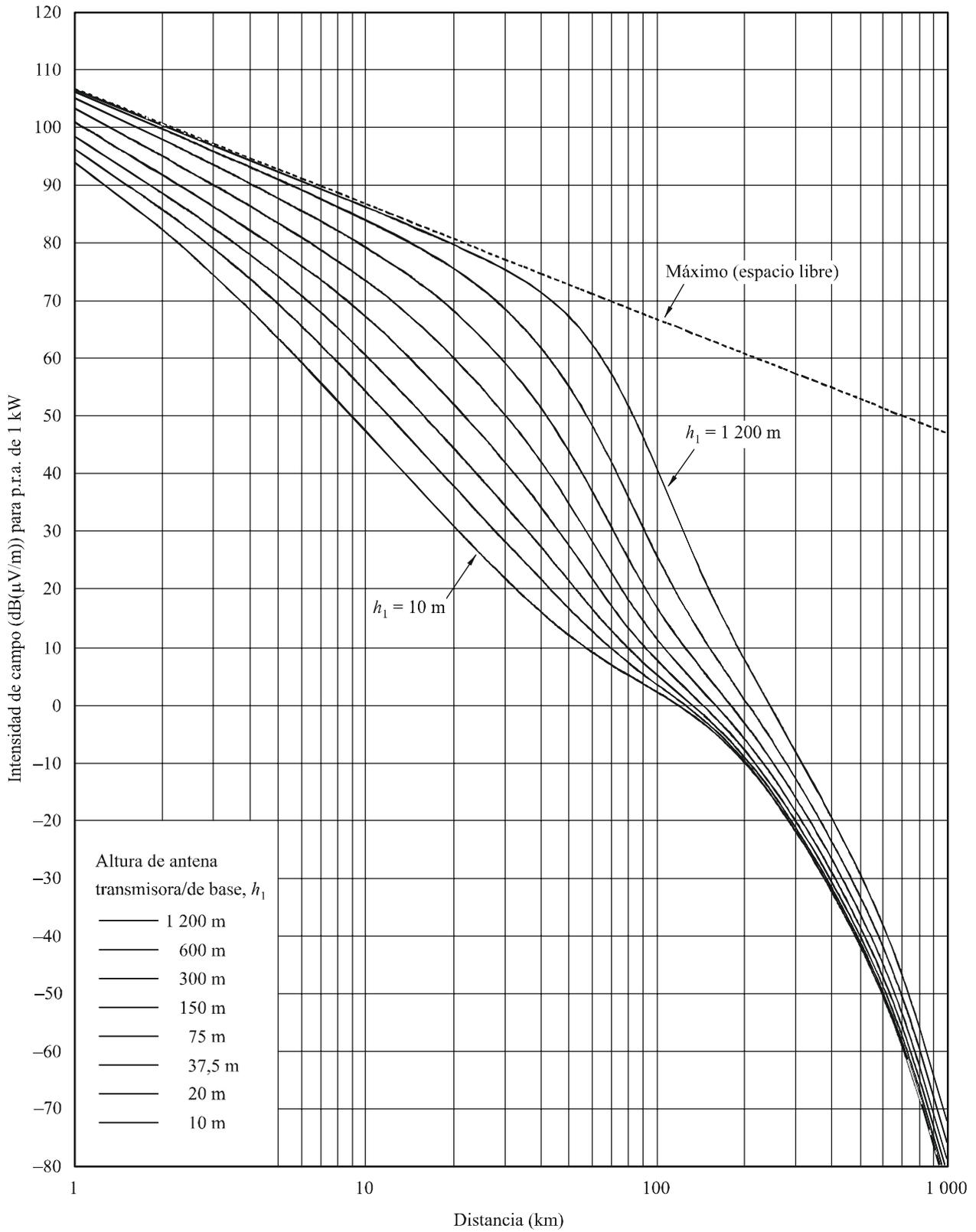
## Anexo 4

### Gama de frecuencias de 1000 a 3000 MHz

- 1** Las curvas de intensidad de campo en función de la distancia que se muestran en este Anexo corresponden a una frecuencia de 2000 MHz. Se pueden utilizar para frecuencias comprendidas en la gama de 1 000 a 3 000 MHz, pero se debe aplicar el procedimiento indicado en el § 6 del Anexo 5 para obtener una mayor exactitud. El mismo procedimiento deberá aplicarse cuando se utilicen los valores tabulados de intensidad de campo en función de la distancia (véase el § 3 del Anexo 1).
- 2** Las curvas de las Figs. 17 a 19 representan los valores de intensidad de campo rebasados en el 50% de las ubicaciones dentro de un área de aproximadamente 500 m por 500 m durante el 50%, el 10% y el 1% del tiempo para trayectos terrestres.
- 3** La distribución de la intensidad de campo en función del porcentaje de ubicaciones se puede calcular utilizando la información del § 12 del Anexo 5.
- 4** Las curvas de las Figs. 20 a 24 representan los valores de intensidad de campo rebasados en el 50% de las ubicaciones durante el 50%, el 10% y el 1% del tiempo, para trayectos marítimos sobre mares fríos y mares cálidos, cuyas características son, por ejemplo, las que se observan en el Mar del Norte y el Mar Mediterráneo, respectivamente.
- 5** En las zonas sujetas a fenómenos de superrefracción intensa se deberán tener en cuenta las informaciones contenidas en el § 14 del Anexo 1.

FIGURA 17

2 000 MHz, trayecto terrestre, 50% del tiempo

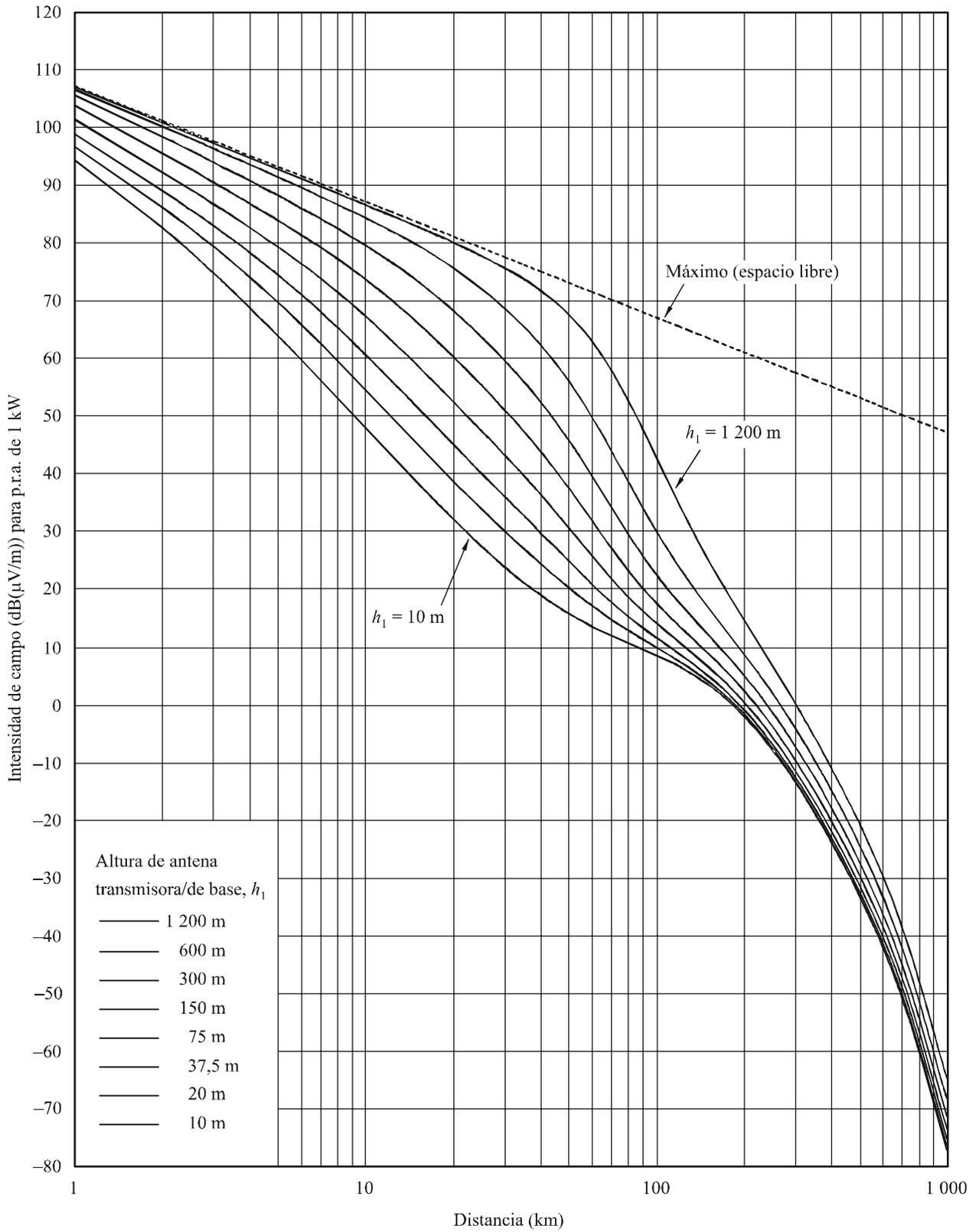


50% de las ubicaciones

$h_2$ : altura representativa de los obstáculos

FIGURA 18

2 000 MHz, trayecto terrestre, 10% del tiempo

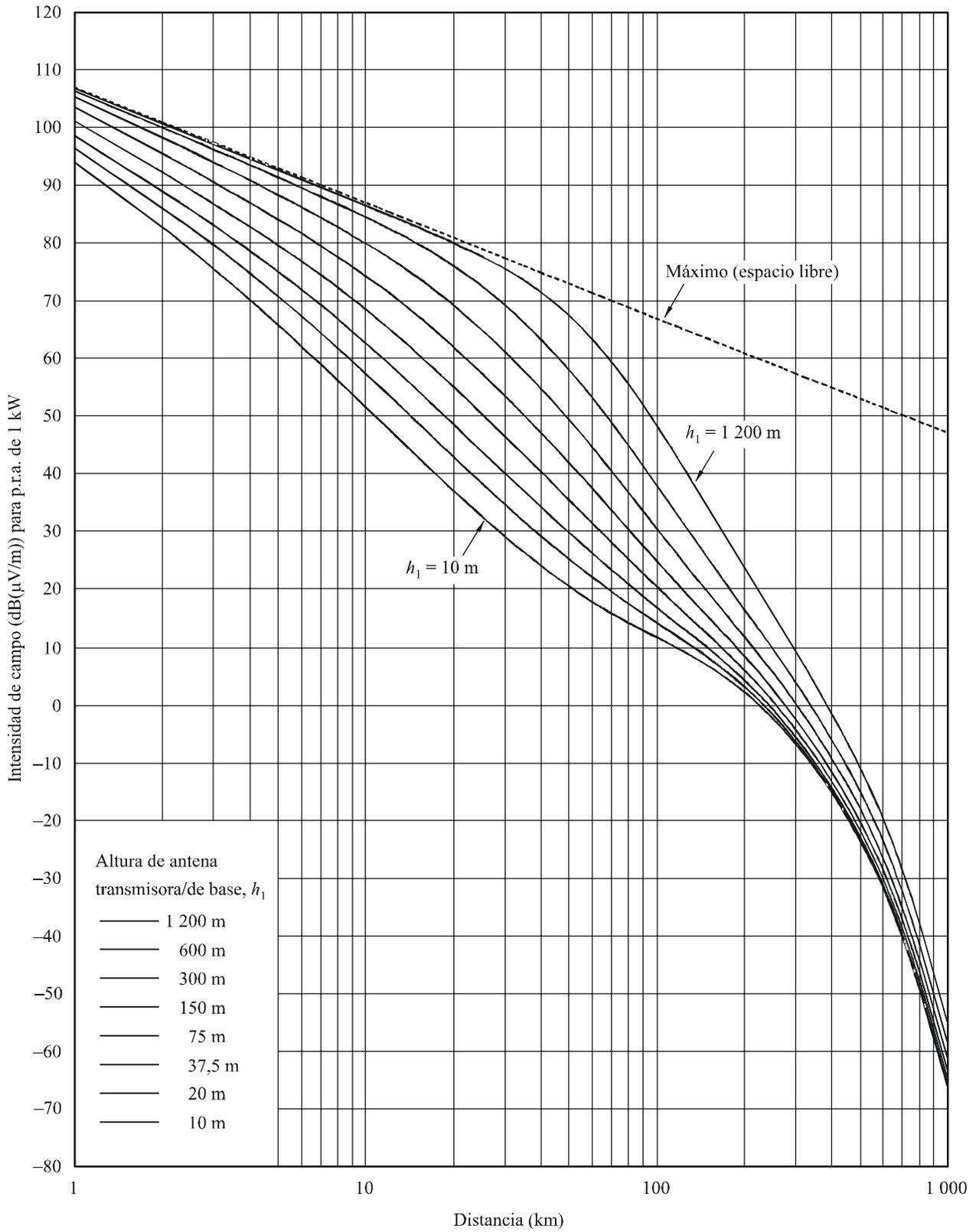


50% de las ubicaciones

$h_2$ : altura representativa de los obstáculos

FIGURA 19

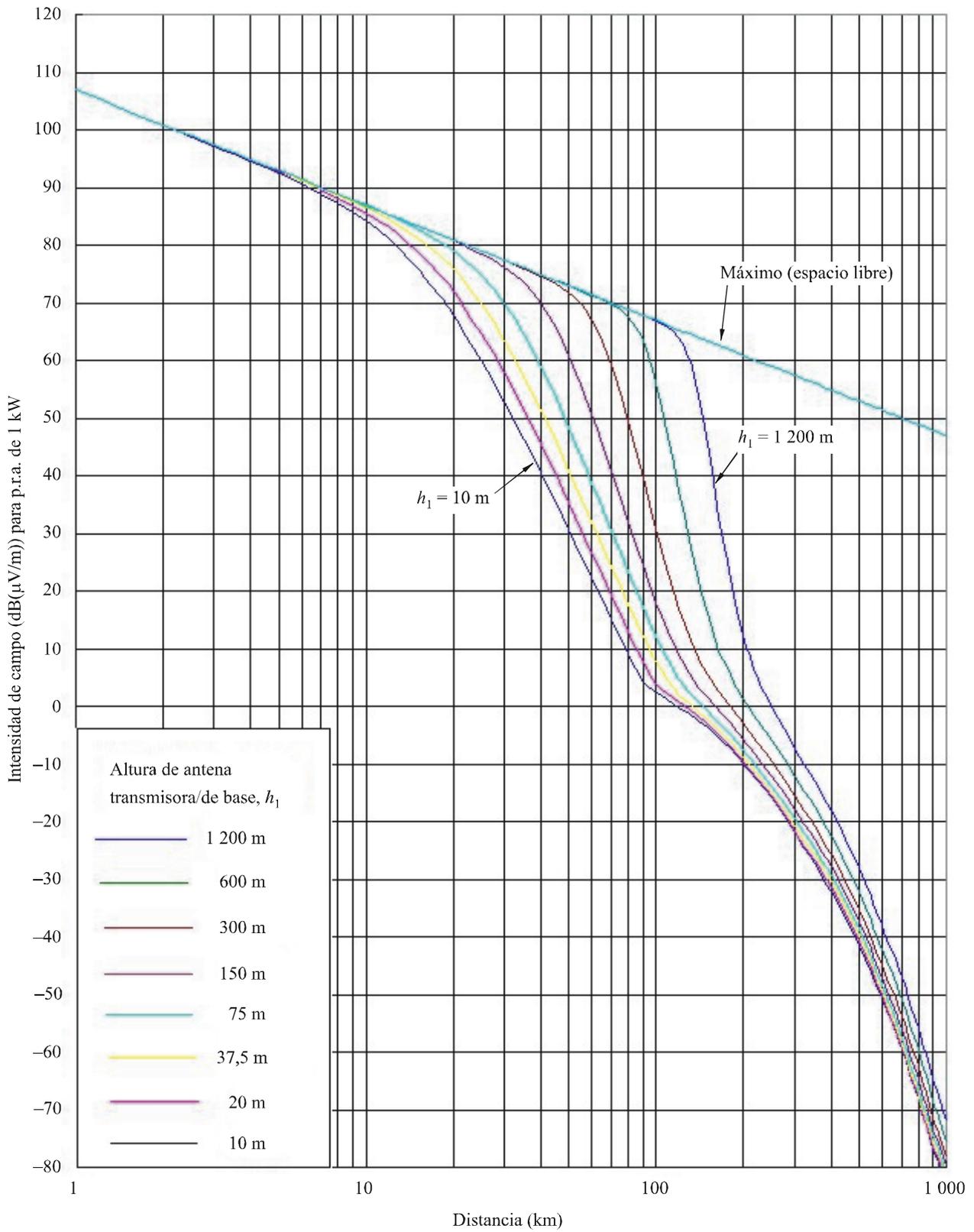
2 000 MHz, trayecto terrestre, 1% del tiempo



50% de las ubicaciones

$h_2$ : altura representativa de los obstáculos

FIGURA 20  
2 000 MHz, trayecto marítimo, 50% del tiempo

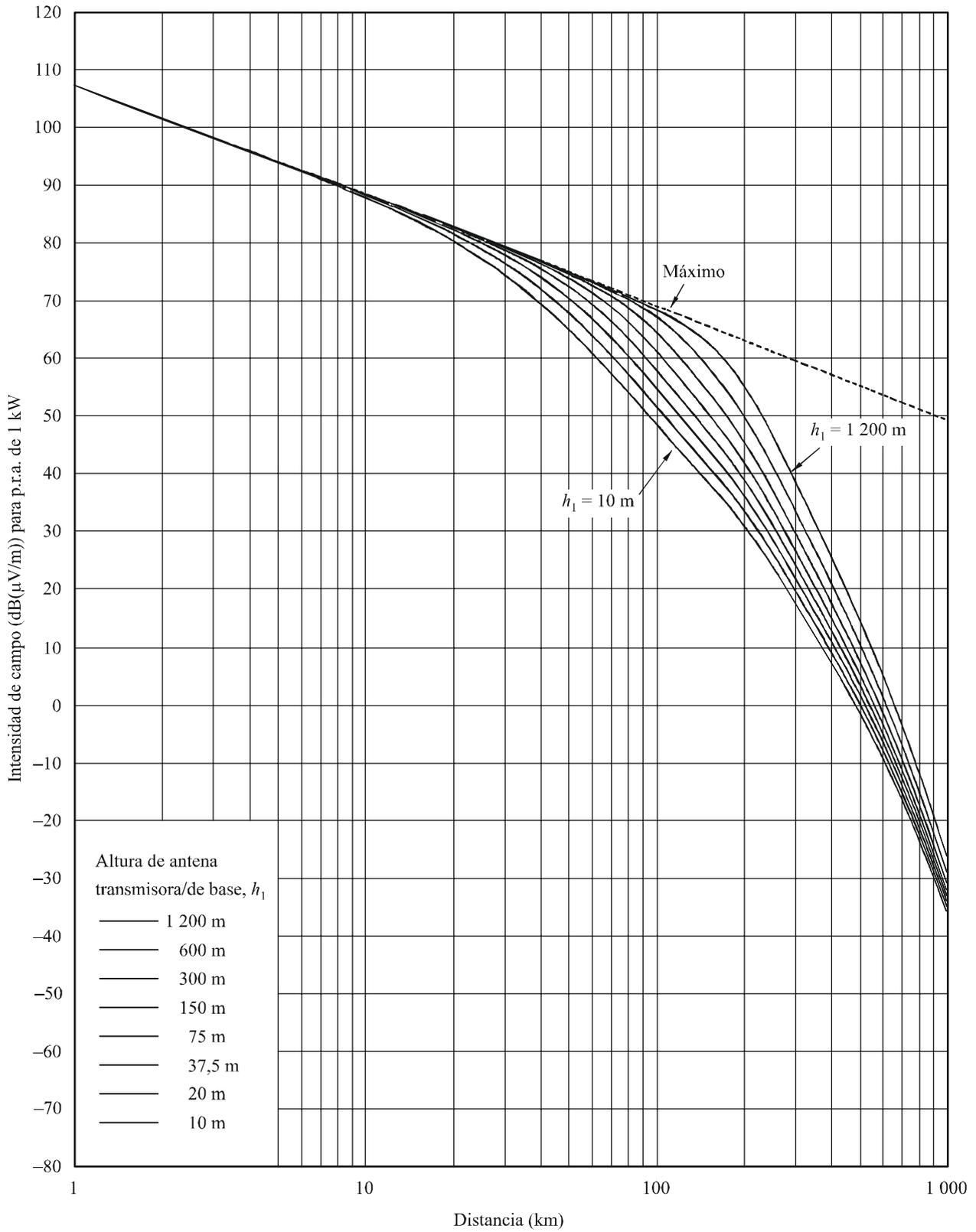


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10 \text{ m}$

FIGURA 21

2 000 MHz, trayecto sobre mares fríos, 10% del tiempo

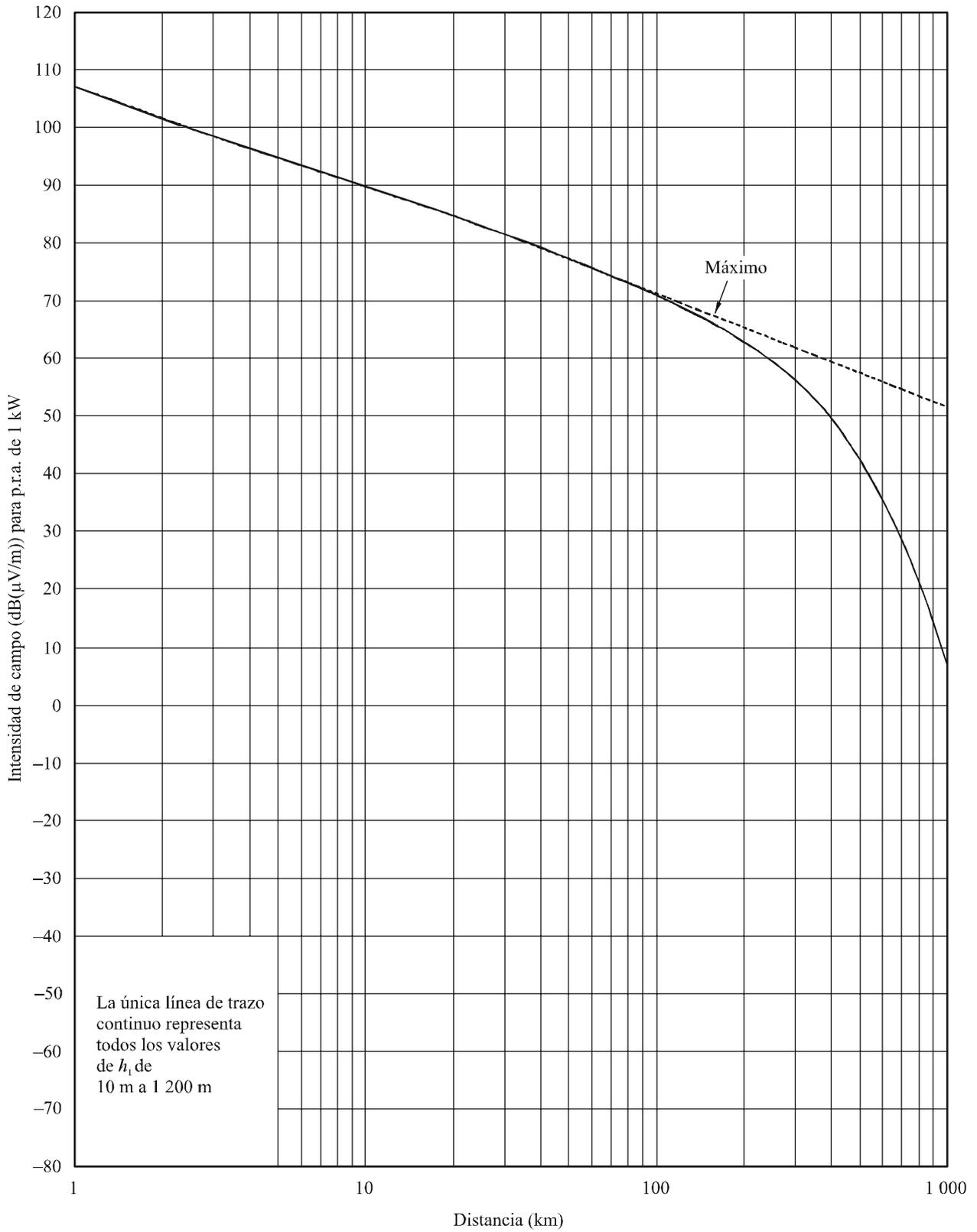


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10\ m$

FIGURA 22

2 000 MHz, trayecto sobre mares fríos, 1% del tiempo

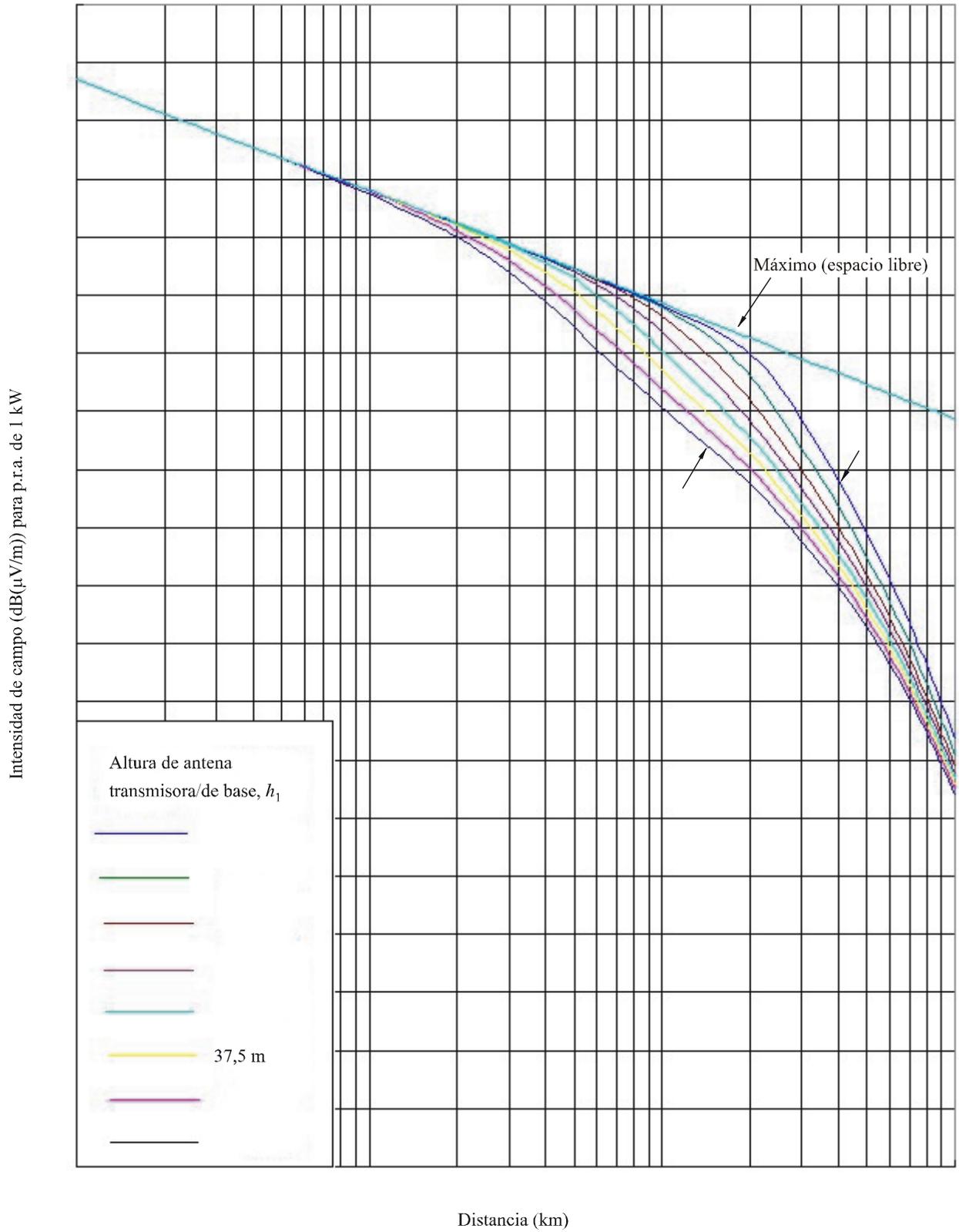


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$  m

FIGURA 23

2 000 MHz, trayecto sobre mares cálidos, 10% del tiempo

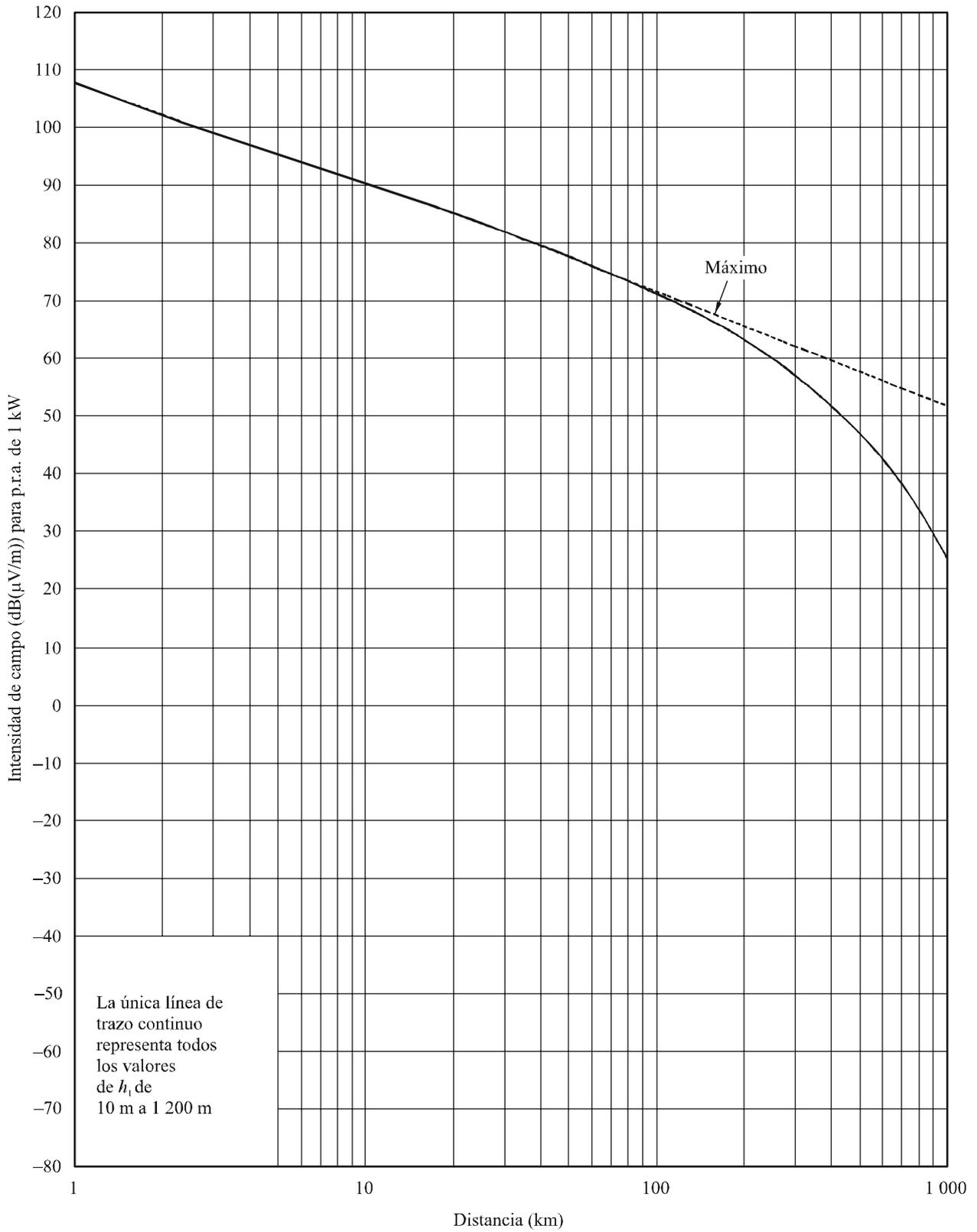


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$  m

FIGURA 24

2 000 MHz, trayecto sobre mares cálidos, 1% del tiempo



50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$  m

## Anexo 5

### Información adicional y procedimientos de aplicación del método de predicción

#### 1 Introducción

En el presente Anexo se describen diversas etapas del método de cálculo. El Anexo 6 contiene una descripción paso a paso del método global.

En los § 2 a 7 de este Anexo se describe cómo se calculan las intensidades de campo de las familias de curvas con interpolación de distancia,  $h_1$ , frecuencia y porcentaje de tiempo. En el § 8 se describe cómo se combinan las intensidades de campo para un trayecto mixto terrestre-marítimo. En los § 9 a 13 se describen las correcciones que pueden introducirse en las predicciones de la intensidad de campo para lograr una mayor precisión. En los § 14 a 17 se suministra información adicional.

#### 1.1 Designaciones de los terminales

Esta Recomendación no es recíproca en cuanto a las designaciones de la estación transmisora/de base y la estación/terminal receptor/móvil. La aplicación de esta Recomendación está orientada principalmente a la radiodifusión y a los servicios móviles donde la antena transmisora/de base se encuentra por encima del nivel del obstáculo local. Cuando se emplee para calcular la cobertura o la coordinación de estaciones de radiodifusión y/o de base a móvil, la estación transmisora/de base real debe tratarse como la estación «transmisora/de base». En otros casos, cuando no hay un motivo a priori para considerar cualquiera de los terminales como «transmisor/de base», la elección del terminal que debe designarse como estación «transmisora/de base» para los fines de esta Recomendación puede realizarse como sigue:

- a) Si ambos terminales se encuentran por debajo de los niveles del obstáculo en sus inmediaciones respectivas, esta Recomendación no permitirá obtener predicciones precisas para el problema que nos ocupa. Los usuarios tendrán que encontrar orientación en otras Recomendaciones del UIT-R, más apropiadas.
- b) Si un terminal se encuentra en una ubicación abierta o por encima del nivel del obstáculo circundante, y el otro está por debajo de ese nivel, el terminal abierto/sin obstáculo se considerará como «estación transmisora/de base» con el fin de identificarla con certeza como la estación transmisora/de base o estación receptora/móvil.
- c) Si ambos terminales se encuentran en una ubicación abierta/sin obstáculos, el terminal que tenga la mayor altura efectiva se considerará como la estación «transmisora/de base» para los fines de esta Recomendación.

Ya se indicó antes que esta Recomendación no es recíproca. No obstante, en algunos casos especiales podría considerarse como tal. En los casos particulares que pueden aparecer, por ejemplo, para la supervisión y predicción de la cobertura y/o interferencia de la estación receptora/móvil a la estación transmisora/de base, podría ser útil, según los apartados b) y c) anteriores, designar el terminal que se encuentre en la ubicación abierta, que siempre debe tener además la mayor altura efectiva, como la estación transmisora/de base con la antena «alta», y designar el terminal en la ubicación con obstáculo como la estación receptora/móvil con la antena «baja», independientemente de qué terminal sea realmente la estación transmisora/de base y cuál la estación receptora/móvil. Los usuarios de esta Recomendación deben observar que, para los fines de cálculo, si van a utilizarse las designaciones «alta» y «baja», la terminación con antena «alta»

siempre será sinónimo de (y equivalente a) la altura efectiva de la estación transmisora/de base,  $h_1$ , y la terminación con antena «baja» siempre será sinónimo de (y equivalente a) la altura de la estación receptora/móvil,  $h_2$ , con el mismo calificador, en el cálculo subsiguiente de la intensidad de campo o de las pérdidas de transmisión básica.

## 2 Valores máximos de la intensidad de campo

La intensidad de campo no debe rebasar un valor máximo,  $E_{m\acute{a}x}$ , dado por:

$$E_{m\acute{a}x} = E_{fs} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{para trayectos terrestres} \quad (1a)$$

$$E_{m\acute{a}x} = E_{fs} + E_{se} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{para trayectos marítimos} \quad (1b)$$

donde  $E_{fs}$  es la intensidad de campo en espacio libre para una p.r.a. de 1 kW dada por:

$$E_{fs} = 106,9 - 20 \log(d) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (2)$$

y  $E_{se}$  es una corrección de mejora para curvas de trayectos marítimos dada por:

$$E_{se} = 2,38 \{1 - \exp(-d/8,94)\} \log(50/t) \quad \text{dB} \quad (3)$$

donde:

- $d$ : distancia (km)
- $t$ : porcentaje de tiempo.

En principio, debe evitarse que cualquier corrección que aumente la intensidad de campo genere valores superiores a estos límites para la familia de curvas y la distancia de que se trate. No obstante, la limitación de los valores máximos sólo deberá aplicarse donde se indique en el Anexo 6.

## 3 Determinación de la altura de la antena transmisora/de base, $h_1$

La altura de la antena transmisora/de base,  $h_1$ , que se ha de utilizar en el cálculo depende del tipo y la longitud del trayecto y de diversos datos de alturas, de los que quizás no se disponga en su totalidad.

En el caso de trayectos marítimos  $h_1$  es la altura de la antena sobre el nivel del mar.

En el caso de trayectos terrestres, la altura efectiva de la antena transmisora/de base,  $h_{eff}$ , se define como su altura (m) por encima del nivel medio del terreno para las distancias comprendidas entre 3 y 15 km desde dicha antena en la dirección de la antena receptora/móvil. Cuando el valor de la altura efectiva de la antena transmisora/de base,  $h_{eff}$ , no sea conocido, deberá estimarse utilizando información geográfica de carácter general. La presente Recomendación no es válida cuando la antena transmisora/de base está por debajo de la altura del conjunto de los obstáculos circundantes.

El valor de  $h_1$ , que se ha de utilizar en el cálculo deberá obtenerse aplicando el método indicado en los § 3.1, 3.2 ó 3.3, según proceda.

### 3.1 Trayectos terrestres inferiores a 15 km

Para los trayectos terrestres inferiores a 15 km deberá aplicarse uno de los dos métodos que siguen:

#### 3.1.1 Información sobre el terreno no disponible

Cuando no se dispone de información sobre el terreno para efectuar las predicciones de propagación, el valor de  $h_1$  se calcula de acuerdo con la longitud del trayecto,  $d$ , como sigue:

$$h_1 = h_a \quad \text{m} \quad \text{para } d \leq 3 \text{ km} \quad (4)$$

$$h_1 = h_a + (h_{eff} - h_a) (d - 3) / 12 \quad \text{m} \quad \text{para } 3 \text{ km} < d < 15 \text{ km} \quad (5)$$

donde  $h_a$  es la altura de la antena sobre el suelo (por ejemplo, altura del mástil).

#### 3.1.2 Información sobre el terreno disponible

Cuando se dispone de información sobre el terreno para efectuar las predicciones de propagación:

$$h_1 = h_b \quad \text{m} \quad (6)$$

donde  $h_b$  es la altura de la antena por encima del nivel del terreno promediado entre  $0,2d$  y  $d$  km.

### 3.2 Trayectos terrestres de 15 km o superiores

Para estos trayectos:

$$h_1 = h_{eff} \quad \text{m} \quad (7)$$

### 3.3 Trayectos marítimos

En el caso de trayectos totalmente marítimos,  $h_1$  representa la altura física de la antena por encima de la superficie del mar. La presente Recomendación es poco fiable en el caso de un trayecto marítimo cuando los valores de  $h_1$  son inferiores a unos 3 m, y deberá tomarse como límite inferior absoluto un valor de 1 m.

## 4 Aplicación de la altura de antena transmisora/de base, $h_1$

El valor de  $h_1$  controla la curva o las curvas que se seleccionan y de las que se obtienen los valores de intensidad de campo, y la interpolación o extrapolación que pueda ser necesaria. Cabe distinguir los casos que se indican a continuación.

### 4.1 Altura de antena transmisora/de base, $h_1$ , en la gama de 10 a 3000 m

Si el valor de  $h_1$  coincide con una de las ocho alturas para las que se dan curvas, a saber, 10, 20, 37,5, 75, 150, 300, 600 ó 1200 m, la intensidad de campo requerida puede obtenerse directamente de las curvas trazadas o de las tabulaciones asociadas. En los demás casos, la intensidad de campo requerida deberá interpolarse o extrapolarse a partir de las intensidades de campo obtenidas de dos curvas utilizando la ecuación siguiente:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log (h_1 / h_{inf}) / \log (h_{sup} / h_{inf}) \quad \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad (8)$$

donde:

$h_{inf}$ : 600 m si  $h_1 > 1200$  m, de no ser así, la altura efectiva nominal más cercana por debajo de  $h_1$

$h_{sup}$ : 1200 m si  $h_1 > 1200$  m, de no ser así, la altura efectiva nominal más cercana por encima de  $h_1$

$E_{inf}$ : valor de la intensidad de campo para  $h_{inf}$  a la distancia requerida

$E_{sup}$ : valor de la intensidad de campo para  $h_{sup}$  a la distancia requerida.

La intensidad de campo resultante de la extrapolación para  $h_1 > 1200$  m deberá limitarse si fuese necesario de manera que no rebase el máximo definido en el § 2.

La presente Recomendación no es válida para  $h_1 > 3000$  m.

#### 4.2 Altura de antena transmisora/de base, $h_1$ , en la gama de 0 a 10 m

Cuando  $h_1$  es inferior a 10 m, el método depende de si el trayecto está sobre tierra o sobre el mar.

*Para un trayecto terrestre:*

En este caso, la intensidad de campo a la distancia solicitada  $d$  km para  $0 \leq h_1 < 10$  m se calcula mediante la ecuación:

$$E = E_{zero} + 0,1 h_1 (E_{10} - E_{zero}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (9)$$

donde:

$$E_{zero} = E_{10} + 0,5 (C_{1020} + C_{h1neg10}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (9a)$$

$$C_{1020} = E_{10} - E_{20} \quad \text{dB} \quad (9b)$$

$C_{h1neg10}$  = corrección  $C_{h1}$  en dB que se calcula mediante la ecuación (12) del § 4.3, a la distancia requerida para  $h_1 = -10$  m

$E_{10}$  y  $E_{20}$  = intensidades de campo en dB( $\mu\text{V/m}$ ) que se calculan con arreglo al § 4.1, a la distancia requerida para  $h_1 = 10$  m y  $h_1 = 20$  m, respectivamente.

Obsérvese que las correcciones  $C_{1020}$  y  $C_{h1neg10}$  deben traducirse en cantidades negativas.

*Para un trayecto marítimo:*

Se señala que, para un trayecto marítimo,  $h_1$  no deberá ser inferior a 1 m. El procedimiento necesita conocer la distancia para la cual la superficie del mar libera exactamente el 0,6 de la primera zona de Fresnel. Dicha distancia viene dada por:

$$D_{h1} = D_{06}(f, h_1, 10) \quad \text{km} \quad (10a)$$

donde  $f$  es la frecuencia nominal (MHz) y la función de  $D_{06}$  se define en el § 17.

Si  $d > D_{h1}$  será necesario calcular también la distancia de despejamiento del 0,6 de la zona de Fresnel para un trayecto marítimo en el que la altura de la antena transmisora/de base es de 20 m, distancia dada por:

$$D_{20} = D_{06}(f, 20, 10) \quad \text{km} \quad (10b)$$

La intensidad de campo a la distancia requerida,  $d$ , y el valor de  $h_1$ , vienen dados entonces por:

$$E = E_{m\acute{a}x} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{para} \quad d \leq D_{h_1} \quad (11a)$$

$$= E_{D_{h_1}} + (E_{D_{20}} - E_{D_{h_1}}) \log(d / D_{h_1}) / \log(D_{20} / D_{h_1}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{para} \quad D_{h_1} < d < D_{20} \quad (11b)$$

$$= E' (1 - F_s) + E'' F_s \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{para} \quad d \geq D_{20} \quad (11c)$$

donde:

$E_{m\acute{a}x}$ : intensidad de campo máxima a la distancia requerida, dada en el § 2

$E_{D_{h_1}}$ :  $E_{m\acute{a}x}$  para la distancia de  $D_{h_1}$  dada en el § 2

$E_{D_{20}} = E_{10}(D_{20}) + (E_{20}(D_{20}) - E_{10}(D_{20})) \log(h_1/10)/\log(20/10)$

$E_{10}(x)$ : intensidad de campo para  $h_1 = 10$  m interpolada para la distancia  $x$

$E_{20}(x)$ : intensidad de campo para  $h_1 = 20$  m interpolada para la distancia  $x$

$E' = E_{10}(d) + (E_{20}(d) - E_{10}(d)) \log(h_1/10)/\log(20/10)$

$E''$ : intensidad de campo para la distancia  $d$  calculada utilizando la ecuación (9)

$F_s = (d - D_{20})/d$ .

### 4.3 Valores negativos de la altura de la antena transmisora/de base, $h_1$

En trayectos terrestres es posible que la altura efectiva de la antena transmisora/de base,  $h_{eff}$ , tenga un valor negativo ya que se basa en la altura media del terreno para distancias comprendidas entre 3 y 15 km. Así pues  $h_1$  puede ser una altura negativa. En este caso, debe tenerse en cuenta el efecto de la difracción provocada por los obstáculos en las inmediaciones.

El procedimiento para los valores negativos de  $h_1$  consiste en obtener la intensidad de campo correspondiente a  $h_1 = 0$  como se describe en el § 4.2, y añadir una corrección  $C_{h_1}$  que se calcula como sigue.

El efecto de pérdida por difracción se tiene en cuenta introduciendo un factor de corrección,  $C_{h_1}$ , conforme a los casos a) o b) que aparecen a continuación:

- a) Si se dispone de una base de datos del terreno y la posibilidad de que surjan discontinuidades en la transición en torno a  $h_1 = 0$  no es importante para la aplicación de esta Recomendación, el ángulo de despejamiento del terreno,  $\theta_{eff1}$ , desde la antena transmisora/de base se calcula como el ángulo de elevación de una línea rasante a todos los obstáculos del terreno hasta 15 km de la antena transmisora/de base en la dirección (pero sin ir más allá) de la antena receptora/móvil. Este ángulo de despejamiento, que tendrá un valor positivo, deberá utilizarse en lugar de  $\theta_{ica}$  de la ecuación (30c) en el método de corrección del ángulo de despejamiento del terreno que figura en el § 11 para obtener  $C_{h_1}$ . Se señala que utilizando este método, se puede producir una discontinuidad en la intensidad de campo en la transición en torno a  $h_1 = 0$ .
- b) Si no se dispone de una base de datos del terreno o cuando se dispone de ella pero el método no debe producir en ningún caso discontinuidades de la intensidad de campo en la transición en torno a  $h_1 = 0$ , el ángulo efectivo de despejamiento del terreno (positivo),  $\theta_{eff2}$ , se puede estimar suponiendo una obstrucción de altura  $h_1$  a una distancia de 9 km desde la antena transmisora/de base. Obsérvese que esto se utiliza para todas las longitudes de trayecto, aún cuando sean menores de 9 km. Es decir, se considera que el terreno es aproximadamente una cuña irregular para una distancia comprendida entre 3 y 15 km desde la antena transmisora/de base con su valor medio en 9 km, como se indica en la Fig. 25.

Este método tiene en cuenta, de manera menos explícita, las variaciones del terreno, pero garantiza que no hay discontinuidad de la intensidad de campo en la transición en torno a  $h_1 = 0$ . La corrección que se ha de añadir a la intensidad de campo en este caso se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$C_{h_1} = 6,03 - J(v) \quad \text{dB} \quad (12)$$

donde:

$$J(v) = \left[ 6,9 + 20 \log \left( \sqrt{(v-0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right) \right] \quad (12a)$$

$$v = K_v \theta_{eff2} \quad (12b)$$

y

$$\theta_{eff2} = \arctg(-h_1/9000) \quad \text{grados} \quad (12c)$$

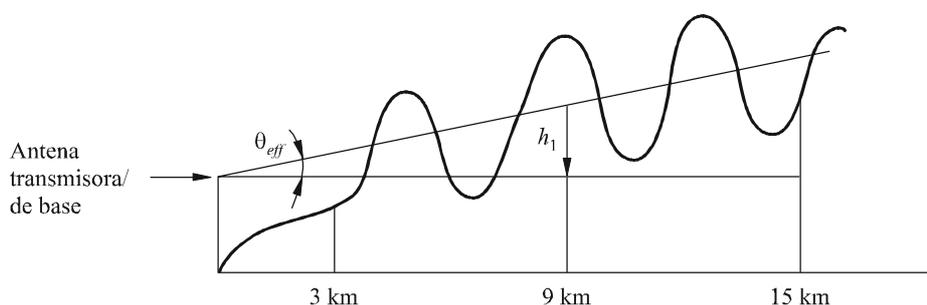
$$K_v = 1,35 \quad \text{para } 100 \text{ MHz}$$

$$K_v = 3,31 \quad \text{para } 600 \text{ MHz}$$

$$K_v = 6,00 \quad \text{para } 2000 \text{ MHz}$$

FIGURA 25

Ángulo de despejamiento efectivo para  $h_1 < 0$



$\theta_{eff}$ : ángulo de despejamiento del terreno efectivo (positivo)

$h_1$ : altura de antena transmisora/de base utilizada para el cálculo

1546-25

La corrección anterior, que siempre es menor que cero, se añade a la intensidad de campo resultante para  $h_1=0$ .

## 5 Interpolación de la intensidad de campo en función de la distancia

Las Figs. 1 a 24 muestran la intensidad de campo representada en función de la distancia  $d$  en la gama de 1 km a 1000 km. Si la intensidad de campo se lee directamente en alguno de esos gráficos no es necesaria la interpolación de distancias. Para mayor precisión, y a efectos de la aplicación informática, las intensidades de campo deberán obtenerse a partir de las tabulaciones asociadas (véase el § 3 del Anexo 1). En este caso, a menos que  $d$  coincida con una de las distancias de tabulación dadas en el Cuadro 1, la intensidad de campo  $E$  (dB( $\mu$ V/m)) deberá ser interpolada linealmente para el logaritmo de la distancia utilizando la ecuación siguiente:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log (d / d_{inf}) / \log (d_{sup} / d_{inf}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (13)$$

donde:

- $d$ : distancia para la que se requiere la predicción
- $d_{inf}$ : distancia de la tabulación más cercana inferior a  $d$
- $d_{sup}$ : distancia de la tabulación más cercana superior a  $d$
- $E_{inf}$ : valor de la intensidad de campo para  $d_{inf}$
- $E_{sup}$ : valor de la intensidad de campo para  $d_{sup}$ .

La presente Recomendación no es válida para valores de  $d$  inferiores a 1 km o superiores a 1 000 km.

CUADRO 1

**Valores de distancia (km) utilizados en los cuadros de intensidades de campo**

1	14	55	140	375	700
2	15	60	150	400	725
3	16	65	160	425	750
4	17	70	170	450	775
5	18	75	180	475	800
6	19	80	190	500	825
7	20	85	200	525	850
8	25	90	225	550	875
9	30	95	250	575	900
10	35	100	275	600	925
11	40	110	300	625	950
12	45	120	325	650	975
13	50	130	350	675	1 000

## 6 Interpolación y extrapolación de la intensidad de campo en función de la frecuencia

Los valores de la intensidad de campo para una frecuencia requerida deberán obtenerse interpolando entre los valores correspondientes a los de las frecuencias nominales de 100 MHz, 600 MHz y 2 000 MHz. En el caso de frecuencias por debajo de 100 MHz o por encima de 2 000 MHz, la interpolación debe ser reemplazada por una extrapolación a partir de los dos valores de frecuencia nominal más cercanos. En la mayoría de los trayectos se puede aplicar la interpolación o la extrapolación del logaritmo de la frecuencia, pero en algunos trayectos marítimos en los que la frecuencia requerida es inferior a 100 MHz es necesario utilizar un método alternativo.

Para trayectos terrestres, y para trayectos marítimos en los que se requiere una frecuencia superior a 100 MHz, la intensidad de campo requerida,  $E$ , deberá calcularse utilizando la ecuación siguiente:

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(f / f_{inf}) / \log(f_{sup} / f_{inf}) \quad \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad (14)$$

donde:

- $f$ : frecuencia para la que se requiere la predicción (MHz)
- $f_{inf}$ : frecuencia nominal inferior (100 MHz si  $f < 600$  MHz, si no 600 MHz)
- $f_{sup}$ : frecuencia nominal superior (600 MHz si  $f < 600$  MHz, si no 2 000 MHz)
- $E_{inf}$ : valor de la intensidad de campo para  $f_{inf}$
- $E_{sup}$ : valor de la intensidad de campo para  $f_{sup}$ .

La intensidad de campo resultante de la extrapolación para una frecuencia superior a 2 000 MHz deberá limitarse, si es necesario, de manera que no exceda del valor máximo dado en el § 2.

Para trayectos marítimos en los que se requiere una frecuencia inferior a 100 MHz deberá aplicarse un método alternativo, basado en las longitudes de trayecto en las que se libera exactamente el 0,6 de la primera zona de Fresnel por la superficie del mar. En el § 17 se da un método aproximado de cálculo de esta distancia.

El método alternativo deberá aplicarse si se cumplen todas las condiciones siguientes:

- El trayecto es un trayecto marítimo.
- La frecuencia requerida es inferior a 100 MHz.
- La distancia requerida es inferior a la distancia a la que el trayecto marítimo tiene un despejamiento del 0,6 de la zona de Fresnel a 600 MHz, distancia dada por  $D_{06}(600, h_1, 10)$  en el § 17.

Si no se cumple alguna de las condiciones anteriores, deberá aplicarse el método de interpolación/extrapolación normal al que corresponde la ecuación (14).

Si se cumplen todas las condiciones anteriores, la intensidad de campo requerida,  $E$ , se calcula utilizando las ecuaciones siguientes:

$$E = E_{m\acute{a}x} \quad \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad \text{para } d \leq d_f \quad (15a)$$

$$= E_{d_f} + (E_{d_{600}} - E_{d_f}) \log(d/d_f) / \log(d_{600}/d_f) \quad \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad \text{para } d > d_f \quad (15b)$$

donde:

- $E_{m\acute{a}x}$ : intensidad de campo máxima a la distancia requerida definida en el § 2
- $E_{d_f}$ : intensidad de campo máxima a la distancia  $d_f$  definida en el § 2
- $d_{600}$ : distancia a la que el trayecto tiene un despejamiento del 0,6 de la zona de Fresnel a 600 MHz calculada como  $D_{06}(600, h_1, 10)$  en el § 17
- $d_f$ : distancia a la que el trayecto tiene un despejamiento del 0,6 de la zona de Fresnel a la frecuencia requerida, calculada como  $D_{06}(f, h_1, 10)$  en el § 17
- $E_{d_{600}}$ : intensidad de campo a la distancia  $d_{600}$  y la frecuencia requerida calculada utilizando la ecuación (14).

## 7 Interpolación de la intensidad de campo en función del porcentaje de tiempo

Los valores de la intensidad de campo para un determinado porcentaje de tiempo comprendido entre el 1% y el 50% deberán calcularse interpolando entre los valores nominales del 1% y el 10% o entre los valores nominales del 10% y el 50% del tiempo utilizando la ecuación siguiente:

$$E = E_{sup} (Q_{inf} - Q_t) / (Q_{inf} - Q_{sup}) + E_{inf} (Q_t - Q_{sup}) / (Q_{inf} - Q_{sup}) \quad \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad (16)$$

donde:

$$\begin{aligned}
 t: & \text{ porcentaje de tiempo para el que se requiere la predicción} \\
 t_{inf}: & \text{ porcentaje de tiempo nominal inferior} \\
 t_{sup}: & \text{ porcentaje de tiempo nominal superior} \\
 Q_t = & Q_i(t/100) \\
 Q_{inf} = & Q_i(t_{inf}/100) \\
 Q_{sup} = & Q_i(t_{sup}/100) \\
 E_{inf}: & \text{ valor de la intensidad de campo para el porcentaje de tiempo } t_{inf} \\
 E_{sup}: & \text{ valor de la intensidad de campo para el porcentaje de tiempo } t_{sup}
 \end{aligned}$$

siendo  $Q_i(x)$  la función de distribución normal acumulativa complementaria inversa.

La presente Recomendación es válida para intensidades de campo rebasadas en los porcentajes de tiempo de la gama del 1% al 50% solamente. La extrapolación fuera de la gama del 1% al 50% no es válida.

En el § 15 del Anexo 5 se da un método de cálculo de  $Q_i(x)$ .

## 8 Trayectos mixtos

En la descripción que sigue del método de los trayectos mixtos se utilizan  $E_{land}(d)$  y  $E_{sea}(d)$  para representar la intensidad de campo a la distancia,  $d$ , desde la antena transmisora/móvil para la altura,  $R$ , representativa de los obstáculos para trayectos todo terrestres y todo marítimos respectivamente, con interpolación/extrapolación de la altura de antena transmisora/de base  $h_1$ , la frecuencia y el porcentaje de tiempo, según se requiera.

Para determinar la intensidad de campo de cualquier trayecto con una combinación de partes terrestres y partes marítimas deberán seguirse los pasos que se indican a continuación. Si el trayecto contiene tramos de mar cálido y tramos de mar frío, en el cálculo de  $E_{sea}(d)$  deberán utilizarse las curvas de mar cálido. El valor de  $h_1$  debe calcularse utilizando el § 3 del Anexo 5, tomando la altura de cualquier superficie marítima como si fuese terrestre. Normalmente, este valor de  $h_1$  se utilizará para  $E_{land}(d)$  y  $E_{sea}(d)$ . Sin embargo, si  $h_1$  es menor de 3 m debe seguir utilizándose para  $E_{land}(d)$ , pero para  $E_{sea}(d)$  debe emplearse un valor de 3 m.

La intensidad de campo del trayecto mixto,  $E$ , se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$E = (1 - A) \cdot E_{land}(d_{total}) + A \cdot E_{sea}(d_{total}) \quad (17)$$

con un factor de interpolación del trayecto mixto,  $A$ , que figura en el § 8.1.

*Lo que sigue hasta la ecuación 21 es pertinente sólo para el método de predicción de propagación aprobado por la Conferencia Regional de Radiocomunicaciones CRR-06 y no para la presente Recomendación.*

Esta orientación completa el debate del método de trayecto mixto empleando las curvas básicas propuestas en los Anexos 2-4. En este caso, continúa en § 8.1. No obstante, el tipo zona costera de los mapas con zonas costeras en el mapa mundial digitalizado de la IFRB (IDWM) no debe interpretarse como zona costera en el siguiente contexto.

El método de trayecto mixto, dado en la ecuación (17), es general. También tiene aplicación en situaciones en las que las familias de curvas de la intensidad de campo se definen según las distintas zonas de propagación. (Por ejemplo, podrían especificarse diferentes zonas de propagación modificando las curvas básicas de la intensidad de campo que se presentan en los Anexos 2-4,

mediante el método del Anexo 8, o algún otro método facultativo de especificación de zonas, como el que se propone en el Acuerdo GE06. Estas diferentes especificaciones de zonas podrían, posiblemente, incluir la zona costera, sin embargo, éstas se definen como zonas de propagación independientes, con condiciones de propagación que se asemejan más a los trayectos marítimos que a los trayectos terrestres.) Si, además, es necesario calcular la intensidad de campo de un trayecto mixto que atraviesa dos o más zonas de propagación diferentes, en ese caso se recomienda utilizar el siguiente método de trayecto mixto:

- a) para todas las frecuencias y todos los porcentajes de tiempo y para las distintas combinaciones de zonas de propagación que no incluyen transiciones de zonas terrestres/marítimas o terrestres/costeras, deberá utilizarse el siguiente procedimiento para calcular la intensidad de campo:

$$E = \sum_i \frac{d_i}{d_{total}} E_i(d_{total}) \quad (18)$$

donde:

$E$ : intensidad de campo para el trayecto mixto (dB( $\mu$ V/m))

$E_i(d_{total})$ : intensidad de campo para el trayecto en la zona  $i$  cuya longitud es igual al trayecto mixto (dB( $\mu$ V/m))

$d_i$ : longitud del trayecto en la zona  $i$

$d_{total}$ : longitud del trayecto total;

- b) para todas las frecuencias y todos los porcentajes de tiempo y para las combinaciones de zonas de propagación que incluyen sólo una categoría de propagación terrestre única y una categoría de propagación marítima o costera única, debe utilizarse la ecuación (18);
- c) para todas las frecuencias y todos los porcentajes de tiempo y para las combinaciones de tres o más zonas de propagación que incluyen al menos una zona limítrofe terrestre/marítima o terrestre/costera, se utilizará el siguiente procedimiento para calcular la intensidad de campo:

$$E = (1-A) \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_l} d_i E_{land,i}}{d_{IT}} + A \cdot \frac{\sum_{j=1}^{n_s} d_j E_{sea,j}}{d_{sT}} \quad (19)$$

donde:

$E$ : intensidad de campo para el trayecto mixto (dB( $\mu$ V/m))

$E_{land,i}$ : intensidad de campo para el trayecto terrestre  $i$  cuya longitud es igual al trayecto mixto,  $i = 1, \dots, n_l$ ;  $n_l$  corresponde al número de zonas terrestres recorridas (dB( $\mu$ V/m))

$E_{sea,j}$ : intensidad de campo para el trayecto marítimo y costero  $j$  cuya longitud es igual al trayecto mixto,  $j = 1, \dots, n_s$ ;  $n_s$  corresponde al número de las zonas marítimas y costeras recorridas (dB( $\mu$ V/m))

$A$ : factor de interpolación como figura en el § 8.1 (obsérvese que la fracción de trayecto sobre el mar se calcula como:  $\frac{d_{sT}}{d_{total}}$ )

$d_i, d_j$ : longitud del trayecto en las zonas  $i, j$

$d_{IT}$ : longitud del trayecto terrestre total =  $\sum_{i=1}^{n_l} d_i$

$d_{sT}$ : longitud del trayecto marítimo y costero total =  $\sum_{j=1}^{n_s} d_j$

$d_{total}$ : longitud del trayecto de propagación total =  $d_{IT} + d_{sT}$ .

### 8.1 El factor de interpolación del trayecto mixto, $A$

Se utilizará la siguiente notación:

$N_s$ : número total de zonas marítimas y zonas costeras

$n$ : trayecto marítimo o número de zonas del trayecto costero;  $n = 1, 2, \dots, N_s$

$M_l$ : número total de zonas terrestres

$m$ : número de zonas del trayecto terrestre;  $m = 1, 2, \dots, M_l$

$d_{sn}$ : distancia recorrida en zona marítima o en zona costera  $n$  (km)

$d_{lm}$ : distancia recorrida en zona terrestre  $m$  (km),

por lo que:

$$d_{sT} = \sum_{n=1}^{N_s} d_{sn} : \text{la longitud total de los trayectos marítimos y costeros recorridos} \quad (20a)$$

$$d_{IT} = \sum_{m=1}^{M_l} d_{lm} : \text{la longitud total de los trayectos terrestres recorridos} \quad (20b)$$

$$d_T = d_{sT} + d_{IT} : \text{la longitud del trayecto de propagación total.} \quad (20c)$$

Se necesitan los siguientes valores de intensidad de campo:

$E_{sn}(d_T)$ : valor de intensidad de campo (dB( $\mu$ V/m)) para la distancia  $d_T$ , suponiendo que se trata de zonas marítimas o costeras del tipo  $n$

$E_{lm}(d_T)$ : valor de intensidad de campo (dB( $\mu$ V/m)) para la distancia  $d_T$ , suponiendo que se trata de zonas terrestres del tipo  $m$ .

*Fin de la parte pertinente sólo al método de predicción de propagación aprobado por la Conferencia Regional de Radiocomunicaciones CRR-06.*

El factor de interpolación<sup>1</sup>,  $A$ , se expresa mediante:

$$A = A_0 (F_{sea})^V \quad (21)$$

<sup>1</sup> El factor de interpolación se aplica a todas las frecuencias y a todos los porcentajes de tiempo. Debe observarse que la interpolación sólo se aplica a:

- trayectos terrestres-marítimos
- trayectos terrestres-costeros
- trayectos terrestres-(marítimos + costeros)

y no a:

- trayectos terrestres-terrestres
- o cualquier combinación del tipo trayectos marítimos y/o costeros.

donde  $A_0(F_{sea})$  es el factor de interpolación básico representado en la Fig. 26, expresado por

$$A_0(F_{sea})=1-(1-F_{sea})^{2/3} \tag{22}$$

La fracción del trayecto a través del mar,  $F_{sea}$ , utilizada en la Fig. 26 y la ecuación (23) viene expresada por:

$$F_{sea} = \frac{d_{sT}}{d_T} \tag{23}$$

y  $V$  se calcula utilizando la expresión:

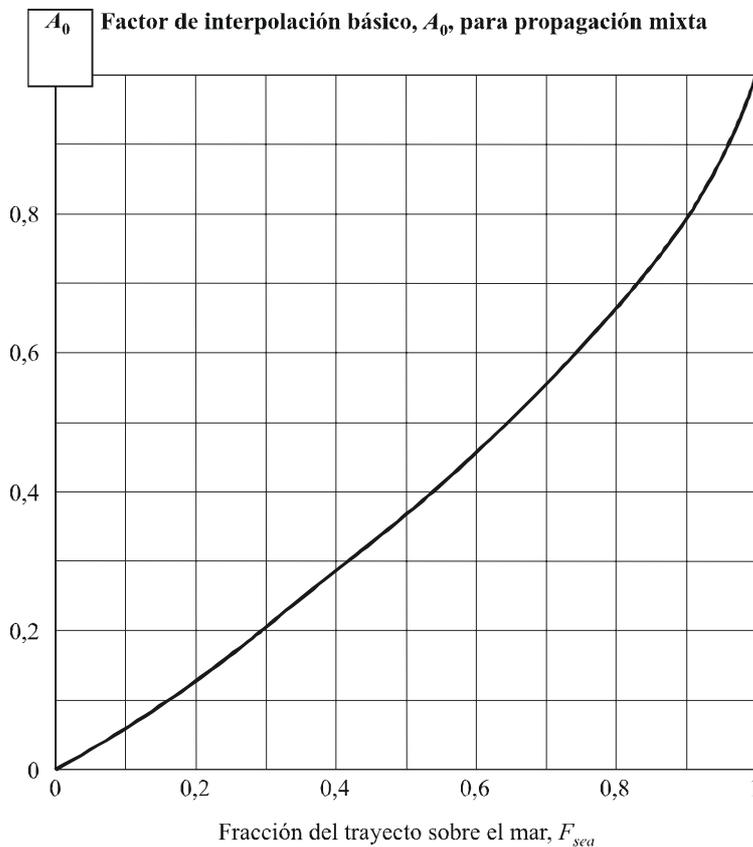
$$V = \text{máx} \left[ 1,0, 1,0 + \frac{\Delta}{40,0} \right] \tag{24}$$

con:

$$\Delta = \sum_{n=1}^{N_s} E_{sn}(d_T) \frac{d_{sn}}{d_{sT}} - \sum_{m=1}^{M_l} E_{lm}(d_T) \frac{d_{lm}}{d_{lT}} \tag{25}$$

En la Fig. 26 se muestra  $A_0(F_{sea})$ , que se aplica a todos los porcentajes de tiempo.

FIGURA 26



## 9 Corrección para altura de antena receptora/móvil

Los valores de intensidad de campo dados por las curvas de trayectos terrenos y las tabulaciones asociadas de la presente Recomendación corresponden a una altura de antena receptora/móvil de referencia,  $R$  (m), que representa la altura de la ocupación del terreno que rodea a la antena receptora/móvil, con un límite inferior de altura de 10 m. Ejemplos de alturas de referencia son 20 m para una zona urbana, 30 m para una zona urbana densamente poblada y 10 m para una zona suburbana. Para los trayectos marítimos, el valor teórico de  $R$  es 10 m.

Cuando la antena receptora/móvil esté situada en el terreno, habrá que tener en cuenta en primer lugar el ángulo de elevación del rayo incidente calculando una altura representativa de los obstáculos circundantes modificada,  $R'$  (m), dada por:

$$R' = (1000 d R - 15 h_1) / (1000 d - 15) \quad \text{m} \quad (26)$$

donde  $h_1$  y  $R$  (m) y la distancia  $d$  (km).

Véase que para  $h_1 < 6,5d + R$ ,  $R' \approx R$ .

Si es necesario, habrá que limitar el valor de  $R'$  de manera que no sea inferior a 1 m.

Cuando la antena receptora/móvil está en un entorno urbano, la corrección viene dada por:

$$\text{Corrección} = 6,03 - J(v) \quad \text{dB} \quad \text{para } h_2 < R' \quad (27a)$$

$$= K_{h_2} \log(h_2 / R') \quad \text{dB} \quad \text{para } h_2 \geq R' \quad (27b)$$

donde  $J(v)$  se obtiene mediante la ecuación (12a),

y:

$$v = K_{nu} \sqrt{h_{dif} \theta_{clut}} \quad (27c)$$

$$h_{dif} = R' - h_2 \quad \text{m} \quad (27d)$$

$$\theta_{clut} = \arctg(h_{dif} / 27) \quad \text{grados} \quad (27e)$$

$$K_{h_2} = 3,2 + 6,2 \log(f) \quad (27f)$$

$$K_{nu} = 0,0108 \sqrt{f} \quad (27g)$$

$f$ : frecuencia (MHz).

Cuando se trata de un entorno urbano en el que  $R'$  es inferior a 10 m, la corrección dada por la ecuación (27) debe reducirse a  $K_{h_2} \log(10/R')$ .

Cuando la antena receptora/móvil está situada en el terreno en un entorno rural o abierto, la corrección debe calcularse utilizando la ecuación (28b) para todos los valores de  $h_2$  con  $R'$  fijada a 10 m.

En lo que sigue, la expresión «junto al mar» se utiliza en los casos en que la antena receptora/móvil se encuentra situada sobre el mar, o inmediatamente junto al mar sin obstáculos de importancia en la dirección de la estación transmisión/de base.

Cuando la antena receptora/móvil está situada junto al mar para  $h_2 \geq 10$  m, la corrección debe calcularse utilizando la ecuación (27b) con  $R'$  fijada en 10 m.

Cuando la antena receptora/móvil está situada junto al mar para  $h_2 < 10$  m, debe utilizarse un método alternativo basado en las longitudes de trayecto para las cuales la superficie del mar libera exactamente el 0,6 de la primera zona de Fresnel. En el § 17 se da un método aproximado de cálculo de esta distancia.

La distancia a la que el trayecto tendría justamente un despejamiento del 0,6 de la primera zona de Fresnel para el valor requerido de  $h_1$  y para  $h_2 = 10$  m,  $d_{10}$ , deberá calcularse como  $D_{06}(f, h_1, 10)$  según se indica en el § 17.

Si la distancia requerida es igual o mayor que  $d_{10}$ , la corrección para el valor requerido de  $h_2$  deberá calcularse de nuevo utilizando la ecuación (27b) con  $R'$  fijada en 10 m.

Si la distancia requerida es inferior a  $d_{10}$ , la corrección que se ha de efectuar en la intensidad de campo deberá calcularse aplicando las fórmulas siguientes:

$$\text{Corrección} = 0,0 \quad \text{dB} \quad \text{para} \quad d \leq d_{h_2} \quad (28a)$$

$$= (C_{10}) \log(d / d_{h_2}) / \log(d_{10} / d_{h_2}) \quad \text{dB} \quad \text{para} \quad d_{h_2} < d < d_{10} \quad (28b)$$

donde:

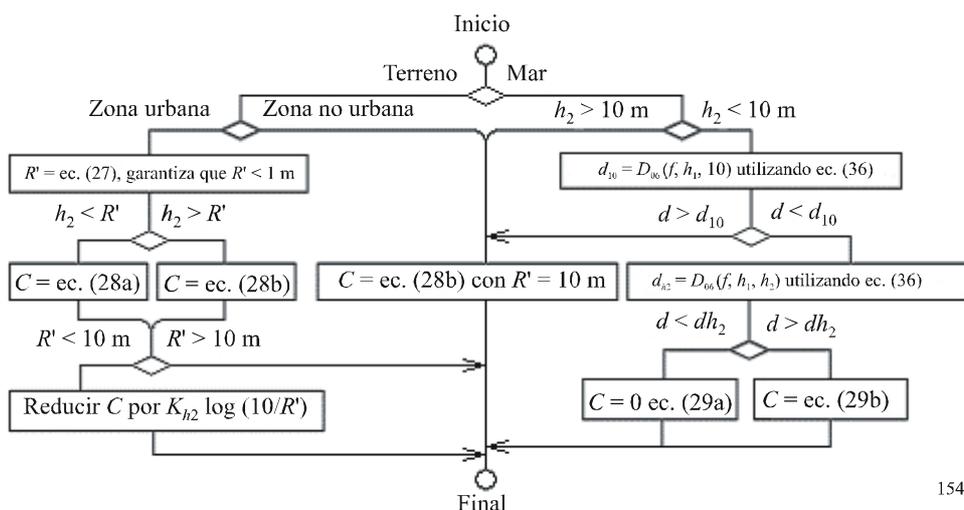
- $C_{10}$ : corrección para el valor requerido de  $h_2$  a distancia  $d_{10}$  utilizando la ecuación (27b) con  $R'$  fijada a 10 m
- $d_{10}$ : distancia a la que el trayecto tiene justamente un despejamiento del 0,6 de la primera zona de Fresnel para  $h_2 = 10$  m calculada como  $D_{06}(f, h_1, 10)$  según se indica en el § 17
- $d_{h_2}$ : distancia a la que el trayecto tiene justamente un despejamiento del 0,6 de la primera zona de Fresnel para el valor requerido de  $h_2$ , calculada como  $D_{06}(f, h_1, h_2)$  según se indica en el § 17.

La presente Recomendación no es válida para alturas de antena receptora/móvil,  $h_2$ , inferiores a 1 m cuando la antena está situada junto al terreno, o inferiores a 3 m cuando está situada junto al mar.

La corrección total anterior para la altura de antena receptora/móvil puede resumirse en el organigrama de la Fig. 27.

FIGURA 27

Organigrama para la corrección de altura de antena receptora/móvil



## 10 Corrección para trayectos cortos urbanos/suburbanos

Si un trayecto de longitud inferior a 15 km incluye edificios de altura uniforme sobre terreno llano, debe añadirse a la intensidad de campo una corrección representativa de la reducción de la intensidad de campo debida a los ecos de los edificios. La corrección viene dada por:

$$\text{Corrección} = -3,3(\log(f))(1 - 0,85 \log(d))(1 - 0,46 \log(1 + h_a - R)) \quad (29)$$

donde  $h_a$  es la altura de la antena sobre el suelo (m) (por ejemplo, altura del mástil) y  $R$  representa la altura de la cobertura del suelo que rodea la antena receptora/móvil tal como se define en el § 9, que también representa la altura de la cobertura del suelo que rodea la antena de base/transmisora. Esta corrección se aplica únicamente cuando  $d$  es inferior a 15 km y  $h_1 - R$  es inferior a 150 m.

## 11 Corrección debida al ángulo de despejamiento del terreno

En el caso de trayectos terrestres, y cuando la antena receptora/móvil se halla en una sección terrestre de un trayecto mixto, si se ha de predecir con mayor precisión la intensidad de campo para condiciones de recepción en zonas específicas, por ejemplo en una zona de recepción pequeña, se puede efectuar una corrección basada en el ángulo de despejamiento del terreno. El ángulo de despejamiento del terreno  $\theta_{ica}$  viene dado por:

$$\theta_{ica} = \theta - \theta_r \quad \text{grados} \quad (30)$$

donde  $\theta$  es el ángulo de elevación de la línea que, con origen en la antena receptora/móvil, es rasante a todos los obstáculos hasta una distancia de 16 km, pero sin ir más allá, de la antena transmisora/de base.

Al calcular  $\theta$  no se debe tener en cuenta la curvatura de la Tierra. El valor de  $\theta_{ica}$  debe limitarse de manera que no sea inferior a  $+0,55^\circ$  o superior a  $+40,0^\circ$ .

Cuando se dispone de la información pertinente sobre el ángulo de despejamiento del terreno, la corrección de la intensidad de campo que se debe efectuar se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$\text{Corrección} = j(v') - J(v) \quad \text{dB} \quad (30a)$$

donde  $J(v)$  se obtiene mediante la ecuación (12a):

$$v' = 0,036 \sqrt{f} \quad (30b)$$

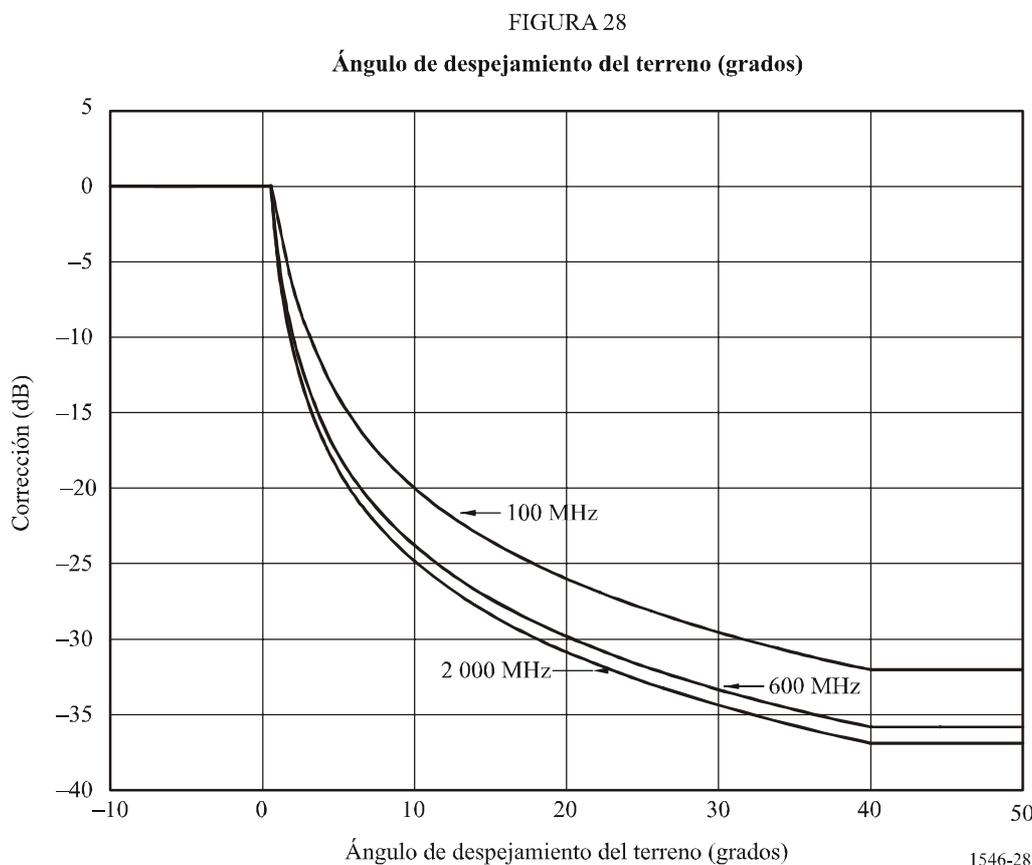
$$v = 0,065 \theta_{ica} \sqrt{f} \quad (30c)$$

$\theta_{ica}$ : ángulo de despejamiento del terreno (grados)

$f$ : frecuencia requerida (MHz).

Conviene señalar que las curvas de intensidad de campo para trayectos terrestres tienen en cuenta las pérdidas debidas al apantallamiento típico de la antena receptora/móvil que provoca el terreno circundante cuando éste es ligeramente ondulado. Así pues, las correcciones debidas al ángulo de despejamiento del terreno son nulas si dicho ángulo es positivo y pequeño, lo cual es lo habitual en las posiciones de las antenas receptoras/móvil.

La Fig. 28 ilustra la corrección debida al ángulo de despejamiento del terreno correspondiente a las frecuencias nominales.



## 12 Variabilidad con las ubicaciones de las predicciones de cobertura terrestre zonal

Los métodos de predicción de la cobertura de una zona tienen por objeto ofrecer estadísticas de las condiciones de recepción en una zona determinada, más que en un punto en particular. La interpretación de dichas estadísticas dependerá del tamaño de la zona considerada.

Cuando un terminal de un trayecto radioeléctrico es estacionario y el otro terminal se mueve, la pérdida del trayecto varía continuamente con la posición, de acuerdo con la totalidad de las influencias que la afectan. Es conveniente clasificar estas influencias en tres categorías principales:

*Variaciones debidas a la propagación por trayectos múltiples:* Se producirán variaciones de la señal en recorridos del orden de una longitud de onda debido a la adición de los fasores correspondientes a trayectos múltiples, como por ejemplo las reflexiones en el suelo, en edificios, etc. Las estadísticas de estas variaciones normalmente siguen la distribución de Rayleigh.

*Variaciones debidas a la ocupación del suelo en las inmediaciones (morfografía local):* Se producirán variaciones de la señal debido a las obstrucciones en el suelo en la zona circundante, como por ejemplo edificios, árboles, etc., con escalas del orden del tamaño de esos objetos. La magnitud de estas variaciones es normalmente bastante mayor que la de las variaciones debidas a la propagación por trayectos múltiples.

*Variaciones del trayecto:* También se producirán variaciones de la señal debido a los cambios de la geometría del trayecto de propagación completo (por ejemplo, presencia de colinas, etc.). En todos los trayectos, salvo los muy cortos, la escala de estas variaciones será bastante mayor que la de las variaciones debidas a la ocupación del suelo en las inmediaciones.

En esta Recomendación, y por lo general, la variabilidad con las ubicaciones se refiere a las estadísticas espaciales de las variaciones debidas a la ocupación del suelo en las inmediaciones. Esto representa un resultado útil a escalas sustancialmente mayores que la de las variaciones debidas a la ocupación del suelo y cuando las variaciones del trayecto son insignificantes dentro de esas distancias. Dado que la variabilidad con las ubicaciones se define para excluir las variaciones debidas a la propagación por trayectos múltiples, ésta no depende de la anchura de banda del sistema.

En la planificación de los sistemas radioeléctricos, también será necesario tener en cuenta los efectos que producen los trayectos múltiples. La incidencia de estos efectos variará con los sistemas, dependiendo de la anchura de banda, la modulación y el sistema de codificación. En la Recomendación UIT-R P.1406 se da la orientación relativa al modelado de estos efectos.

La variabilidad con las ubicaciones se ha definido de diversas formas. En algunos textos se define relacionándola con la variación del exceso de pérdidas del trayecto en toda la zona de servicio de un transmisor, incluyendo por consiguiente todos los efectos del terreno, además del ensombrecimiento local adicional. En otros casos, se relaciona con la variación de las pérdidas del trayecto de todos los puntos en un radio determinado a partir del transmisor. Una tercera definición se refiere a la variabilidad de la intensidad de campo en una zona pequeña, que se suele representar mediante un cuadrado de 500 m a 1 km de lado.

Como el método propuesto en esta Recomendación incluye una corrección de  $h_2$  (Anexo 5, § 9) que depende del entorno y facilita la utilización del ángulo de despejamiento del terreno (TCA) que depende del terreno (Anexo 5, § 11), existe el riesgo de que se computen dos veces estos efectos cuando se aplican correcciones de la variabilidad con las ubicaciones.

El método que se describe a continuación permite calcular la variabilidad con las ubicaciones en una zona pequeña, y es útil en los casos que se aplica el TCA para determinar con mayor precisión el valor mediano local de las intensidades de campo.

Cuando no se aplica el TCA, el valor pertinente de la variabilidad con las ubicaciones será mayor, y por lo general, variará en función del radio de la zona de servicio, puesto que se incluye una variedad más amplia de terreno y obstáculos.

Del extenso análisis de los datos se deduce que la distribución del valor mediano de la intensidad de campo debida a variaciones en la ocupación del suelo, en dicha área en entornos urbanos y suburbanos, es aproximadamente log-normal.

Así pues, en la ubicación de una antena receptora/móvil terrestre, la intensidad de campo  $E$  rebasada en el  $q\%$  de las ubicaciones viene dada por:

$$E(q) = E(\text{mediana}) + Q_i(q / 100) \sigma_L(f) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (31)$$

donde:

$Q_i(x)$ : distribución normal acumulativa complementaria inversa en función de la probabilidad

$\sigma_L$ : desviación típica de la distribución gaussiana de las medias locales en la zona en estudio.

Los valores de la desviación típica dependen de la frecuencia y el entorno, y los resultados de los estudios empíricos han mostrado que se produce una dispersión considerable. Los valores representativos para zonas de 500 m  $\times$  500 m vienen dados por la siguiente expresión:

$$\sigma_L = K + 1,3 \log(f) \quad \text{dB} \quad (32)$$

donde:

$K= 1,2$ , para receptores con antenas por debajo de la altura del obstáculo en entornos urbanos o suburbanos de sistemas móviles con antenas omnidireccionales colocadas en la parte superior del coche

$K= 1,0$ , para receptores con antenas en el tejado cerca de la altura del obstáculo

$K= 0,5$ , para receptores en zonas rurales

$f$ : frecuencia requerida (MHz).

Como se señaló antes, si el área en la que ha de aplicarse la variabilidad es mayor de  $500\text{ m} \times 500\text{ m}$ , o si la variabilidad ha de aplicarse a todas las zonas que se encuentren a una distancia determinada, en lugar de las variaciones en zonas específicas, el valor de  $\sigma_L$  será mayor. En estudios empíricos se sugiere que la variabilidad con las ubicaciones aumenta (con referencia a los valores de la zona pequeña) en hasta 4 dB para un radio de 2 km y en hasta 8 dB para un radio de 50 km.

El porcentaje de ubicaciones  $q$  puede variar entre 1 y 99. La presente Recomendación no es válida cuando el porcentaje de ubicaciones es inferior al 1% o superior al 99%.

La corrección por variabilidad con las ubicaciones no se aplica cuando la antena receptora/móvil está situada junto al mar.

Cabe señalar que, para algunos objetivos de planificación (por ejemplo, planes de adjudicación multilaterales) por lo general será necesario utilizar una definición de «variabilidad con las ubicaciones» que incluya un grado de desvanecimiento multitrayecto. Dicha definición deberá contemplar el caso de un receptor móvil, estacionario en un multitrayecto nulo, o el de una antena instalada encima del tejado a través de la cual han de recibirse una serie de frecuencias y no puede ubicarse de manera óptima para todas ellas. Asimismo, a efectos de esta planificación también puede ser necesario tener en cuenta la variabilidad en una zona más extensa que la supuesta en esta Recomendación.

En este contexto, se considera que los valores que figuran en el Cuadro 2 son adecuados para la planificación de muchos servicios de radiocomunicaciones.

CUADRO 2

**Valores de variabilidad utilizados en ciertas situaciones de planificación**

	Desviación típica (dB)		
	100 MHz	600 MHz	2 000 MHz
Radiodifusión, analógica	8,3	9,5	–
Radiodifusión, digital	5,5	5,5	5,5

### 13 Método de corrección basado en la dispersión troposférica

Existe la posibilidad de que la intensidad de campo calculada con los métodos descritos en § 1 a 12 de este anexo esté infravalorada, al no haber tenido en cuenta adecuadamente la dispersión troposférica.

Si se dispone de la información relativa al terreno debe calcularse una corrección de la dispersión troposférica con el siguiente procedimiento.

Se determina el ángulo de dispersión del trayecto en grados,  $\theta_s$ , mediante:

$$\theta_s = \frac{180d}{\pi ka} + \theta_{eff} + \theta \quad \text{grados} \quad (33)$$

donde:

- $\theta_{eff}$ : ángulo de despejamiento del terreno del terminal  $h_1$ , en grados, que se calculó con el método descrito en § 4.3 caso a), independientemente de que el valor de  $h_1$  sea negativo o no.
- $\theta$ : ángulo de despejamiento del terminal  $h_2$ , en grados, que se calculó con el método descrito en § 11, observando que se trata del ángulo de elevación relativo a la horizontal local.
- $d$ : longitud del trayecto, en km
- $a$ : 6 370 km, radio de la Tierra
- $k$ : 4/3, coeficiente del radio ficticio de la Tierra para unas condiciones de refractividad medianas.

Si  $\theta_s$  es menor que cero, se fija  $\theta_s$  a cero.

Se determina la intensidad de campo prevista para la dispersión troposférica,  $E_{ts}$  mediante:

$$E_{ts} = 24,4 - 20 \log(d) - 10 \theta_s - L_f + 0,15 N_0 + G_t \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (34)$$

donde:

- $L_f$  = pérdida en función de la frecuencia  
 $= 5 \log(f) - 2,5 [\log(f) - 3,3]^2$  (34a)
- $N_0$  = 325, valor mediano de la refractividad de la superficie, en unidades N, típica de los climas templados
- $G_t$  = mejora en función del tiempo  
 $= 10,1[-\log(0,02t)]^{0,7}$  (34b)
- $d$ : longitud del trayecto o distancia requerida, en km
- $f$ : frecuencia requerida, en MHz
- $t$ : porcentaje de tiempo necesario.

#### 14 Predicciones de la intensidad de campo para distancias menores de 1 km

Si se emplea esta Recomendación cuando pueden aparecer valores de  $d$  menores de 1 km y no resulta posible la aplicación del modelo de propagación a corta distancia necesitándose un medio sencillo para converger hacia intensidades de campo en el espacio libre en el caso de una distancia arbitrariamente corta (reconociendo que se trata sólo de razones de conveniencia y no de un modelo de propagación válido), puede aplicarse el siguiente procedimiento.

Se calcula la intensidad de campo,  $E$ , a una distancia menor de 1 km, mediante:

$$E = E_{maxnf} \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad d \leq d_{nf} \quad (35a)$$

$$= E_{maxd} \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad d_{nf} < d \leq 0,1 \quad \text{km} \quad (35b)$$

$$= E_{0,1\text{km}} + (E_{1\text{km}} - E_{0,1\text{km}}) \log(d / 0,1) \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad 0,1 \text{ km} < d < 1,0 \text{ km} \quad (35c)$$

donde:

$E_{maxnf}$  = máxima intensidad de campo a una distancia de  $d_{nf}$  km, expresada mediante las ecuaciones (1a) o (1b)

$E_{maxd}$  = máxima intensidad de campo a la distancia requerida, expresada mediante las ecuaciones (1a) o (1b)

$E_{0,1km}$  = máxima intensidad de campo a una distancia de 0,1 km, expresada mediante las ecuaciones (1a) o (1b)

$E_{1km}$  = intensidad de campo a una distancia de 1 km

y  $d_{nf}$  es una estimación de la distancia de campo cercano de la antena transmisora/de base dada por:

$$d_{nf} = 10^{0,1G/(10f)} \quad \text{km} \quad (35d)$$

donde:

$G$  es la *ganancia* de la antena, en dBi, y

$f$  es la frecuencia, en MHz.

Debe limitarse el valor de  $d_{nf}$  de modo que  $d_{nf} \leq 0,1$  km.

Se recomienda un valor por defecto de  $d_{nf} = 0,01$  km.

Las correcciones relativas a la estación receptora/móvil siguen siendo válidas. Si se aplican, ha de ser en el emplazamiento real de la estación receptora/móvil, y no a 1 km de la estación transmisora/de base.

### 15 Aproximación a la función de distribución normal acumulativa complementaria inversa

La siguiente aproximación a la función de distribución normal acumulativa complementaria inversa,  $Q_i(x)$ , es válida para  $0,01 \leq x \leq 0,99$ :

$$Q_i(x) = T(x) - \xi(x) \quad \text{si } x \leq 0,5 \quad (36a)$$

$$Q_i(x) = - \{ T(1 - x) - \xi(1 - x) \} \quad \text{si } x > 0,5 \quad (36b)$$

donde:

$$T(x) = \sqrt{[-2 \ln(x)]} \quad (36c)$$

$$\xi(x) = \frac{[(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x)] + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2) \cdot T(x) + D_1] \cdot T(x) + 1} \quad (36d)$$

$$C_0 = 2,515517$$

$$C_1 = 0,802853$$

$$C_2 = 0,010328$$

$$D_1 = 1,432788$$

$$D_2 = 0,189269$$

$$D_3 = 0,001308$$

En el Cuadro 3 se indican los valores dados por las fórmulas anteriores.

CUADRO 3

**Valores aproximados de la distribución normal acumulativa  
complementaria inversa**

<i>q</i> %	<i>Q<sub>i</sub></i> ( <i>q</i> /100)						
1	2,327	26	0,643	51	-0,025	76	-0,706
2	2,054	27	0,612	52	-0,050	77	-0,739
3	1,881	28	0,582	53	-0,075	78	-0,772
4	1,751	29	0,553	54	-0,100	79	-0,806
5	1,645	30	0,524	55	-0,125	80	-0,841
6	1,555	31	0,495	56	-0,151	81	-0,878
7	1,476	32	0,467	57	-0,176	82	-0,915
8	1,405	33	0,439	58	-0,202	83	-0,954
9	1,341	34	0,412	59	-0,227	84	-0,994
10	1,282	35	0,385	60	-0,253	85	-1,036
11	1,227	36	0,358	61	-0,279	86	-1,080
12	1,175	37	0,331	62	-0,305	87	-1,126
13	1,126	38	0,305	63	-0,331	88	-1,175
14	1,080	39	0,279	64	-0,358	89	-1,227
15	1,036	40	0,253	65	-0,385	90	-1,282
16	0,994	41	0,227	66	-0,412	91	-1,341
17	0,954	42	0,202	67	-0,439	92	-1,405
18	0,915	43	0,176	68	-0,467	93	-1,476
19	0,878	44	0,151	69	-0,495	94	-1,555
20	0,841	45	0,125	70	-0,524	95	-1,645
21	0,806	46	0,100	71	-0,553	96	-1,751
22	0,772	47	0,075	72	-0,582	97	-1,881
23	0,739	48	0,050	73	-0,612	98	-2,054
24	0,706	49	0,025	74	-0,643	99	-2,327
25	0,674	50	0,000	75	-0,674		

### 16 Pérdida básica de transmisión equivalente

Cuando se requiera, la pérdida básica de transmisión equivalente a una intensidad de campo dada se calcula como sigue:

$$L_b = 139,3 - E + 20 \log f \quad \text{dB} \quad (37)$$

donde:

$L_b$ : pérdida básica de transmisión (dB)

$E$ : intensidad de campo (dB( $\mu$ V/m)) para una p.r.a. de 1 kW

$f$ : frecuencia (MHz).

## 17 Aproximación a la longitud del trayecto de despejamiento del 0,6 de la zona de Fresnel

La longitud del trayecto a la que se alcanza justamente un despejamiento de 0,6 de la primera zona de Fresnel sobre una superficie de terreno lisa y curvada, para una frecuencia y unas alturas de antena  $h_1$  y  $h_2$ , viene dada aproximadamente por:

$$D_{06} = \frac{D_f \cdot D_h}{D_f + D_h} \quad \text{km} \quad (38)$$

donde:

$$\begin{aligned} D_f: & \text{ término dependiente de la frecuencia} \\ & = 0,0000389 f h_1 h_2 \quad \text{km} \end{aligned} \quad (39a)$$

$$\begin{aligned} D_h: & \text{ término asintótico definido por distancias al horizonte} \\ & = 4,1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad \text{km} \end{aligned} \quad (39b)$$

$f$ : frecuencia (MHz)

$h_1, h_2$ : alturas de las antenas por encima de terreno liso (m).

En las ecuaciones anteriores, el valor de  $h_1$  debe limitarse, si hace falta, de tal manera que no sea inferior a cero. Además, los valores resultantes de  $D_{06}$  deben limitarse, si hace falta, de forma que no sean inferiores a 0,001 km.

## Anexo 6

### Procedimiento de aplicación de la presente Recomendación

El procedimiento paso a paso que se indica a continuación se ha de aplicar a los valores obtenidos de los cuadros de intensidad de campo en función de la distancia de que dispone la BR. No obstante, también puede aplicarse a los valores obtenidos a partir de las curvas, en cuyo caso no se requiere el procedimiento de interpolación de la distancia del Paso 8.1.5. En el Cuadro 4 se presenta una lista mínima de los parámetros de entrada (y de sus límites) que puede servir como referencia para obtener los valores a partir de los cuadros de intensidad de campo en función de la distancia. El procedimiento pormenorizado es el siguiente:

## CUADRO 4

## Lista de los parámetros de entrada y de sus límites

Parámetro	Unidades	Definición	Límites
$f$	MHz	Frecuencia de funcionamiento	30-3 000 MHz
$d$	km	Longitud del trayecto	1-1 000 km
$p$	%	Porcentaje de tiempo. Se define en el Anexo 1, § 8	1-50%
$h_1$	m	Altura de la antena transmisora/de base según la referencia en las curvas. Se define en las ecuaciones (4) a (7) del Anexo 5, § 3. Los límites se definen en § 4.1	Terrestre – Sin límite inferior; límite superior de 3 000 m Marítimo – Como mínimo 1 m; límite superior de 3 000 m
$h_a$	m	Altura de la antena transmisora por encima del terreno. Se define en el Anexo 5, § 3.1.1. Los límites se definen en el Anexo 5, § 3	Ha de ser mayor que la altura del obstáculo local
$h_b$	m	Altura de la antena de base por encima del nivel medio del terreno entre 0,2 d y d km, donde d es menor que 15 km y se dispone de la información del terreno.	Ninguno – pero obsérvese que este parámetro sólo existe en trayectos terrestres donde $d < 15$ km
$h_2$	m	Altura de la antena receptora/móvil por encima del terreno. Se define en el Anexo 1, § 10.	Terrestre – Como mínimo 1 m, y menor de 3 000 m Marítimo – Como mínimo 3 m, y menor de 3 000 m
Altura del obstáculo en torno al transmisor	m	Altura representativa del obstáculo (en torno al transmisor)	Ninguno
$R$	m	Altura representativa del obstáculo (en torno al receptor)	Ninguno
$\theta_{tca}$	grados	Ángulo de despejamiento del terreno	0,55-40 grados
$\theta_{eff} \theta_{eff1} \theta_{eff2}$	grados	Ángulos efectivos de despejamiento del terreno de la estación transmisora/de base. Anexo 5, § 9.	Han de ser positivos

*Paso 1:* Determinar el tipo de trayecto de propagación, a saber, trayecto terrestre, sobre mares fríos o sobre mares cálidos. Si el trayecto es mixto, determinar dos tipos de trayecto a los que se denomina tipos de propagación primero y segundo. Si el trayecto se puede representar mediante un solo tipo, se le considera primer tipo de propagación y no se requiere el método del trayecto mixto del Paso 11.

*Paso 2:* Para cualquier porcentaje de tiempo (comprendido en la gama del 1% al 50%), determinar dos porcentajes de tiempo nominales como sigue:

- porcentaje de tiempo deseado  $> 1$  y  $< 10$ , siendo los porcentajes inferior y superior 1 y 10 respectivamente;

- porcentaje de tiempo deseado  $> 10$  y  $< 50$ , siendo los porcentajes inferior y superior 10 y 50, respectivamente.

Si el porcentaje de tiempo requerido es igual al 1% o el 10% o el 50%, este valor deberá considerarse como el porcentaje de tiempo nominal inferior y no se requerirá el proceso de interpolación del Paso 10.

*Paso 3:* Para cualquier frecuencia deseada (comprendida en la gama de 30 a 3 000 MHz), determinar dos frecuencias nominales como sigue:

- cuando la frecuencia deseada  $< 600$  MHz, las frecuencias inferior y superior son 100 y 600 MHz, respectivamente;
- cuando la frecuencia deseada  $> 600$  MHz, las frecuencias nominales inferior y superior son 600 y 2 000 MHz, respectivamente.

Si la frecuencia deseada es 100 ó 600 ó 2 000 MHz, este valor deberá considerarse como la frecuencia nominal inferior y no se requerirá el proceso de interpolación/extrapolación del Paso 9.

*Paso 4:* Determinar, a partir del Cuadro 1, las distancias nominales inferior y superior más próximas a la distancia requerida. Si la distancia requerida coincide con un valor del Cuadro 1, este valor deberá considerarse como distancia nominal inferior y no se requerirá el proceso de interpolación del Paso 8.1.5.

*Paso 5:* Para el primer tipo de propagación, seguir los Pasos 6 a 11.

*Paso 6:* Para el porcentaje de tiempo nominal inferior, seguir los Pasos 7 a 10.

*Paso 7:* Para la frecuencia nominal inferior, seguir los Pasos 8 y 9.

*Paso 8:* Obtener la intensidad de campo rebasada en el 50% de las ubicaciones para una antena receptora/móvil a la altura representativa de los obstáculos circundantes,  $R$ , por encima del suelo para la distancia y la altura de antena transmisora/de base requeridas como sigue:

*Paso 8.1:* Para una altura de antena transmisora/de base  $h_1$  igual o superior a 10 m, seguir los Pasos 8.1.1 a 8.1.6:

*Paso 8.1.1:* Determinar los valores nominales inferior y superior de  $h_1$  utilizando el método indicado en el § 4.1 del Anexo 5. Si  $h_1$  coincide con uno de los valores nominales 10, 20, 37,5, 75, 150, 300, 600 ó 1 200 m, este valor deberá considerarse como el valor nominal inferior de  $h_1$  y no se requerirá el proceso de interpolación del Paso 8.1.6.

*Paso 8.1.2:* Para el valor nominal inferior de  $h_1$ , seguir los Pasos 8.1.3 a 8.1.5.

*Paso 8.1.3:* Para el valor nominal inferior de la distancia, seguir el Paso 8.1.4.

*Paso 8.1.4:* Obtener la intensidad de campo rebasada en el 50% de las ubicaciones para una antena receptora/móvil a la altura representativa de los obstáculos circundantes,  $R$ , para los valores requeridos de distancia,  $d$ , y altura de la antena transmisora/de base,  $h_1$ .

*Paso 8.1.5:* Si la distancia requerida no coincide con la distancia nominal inferior, repetir el Paso 8.1.4 para la distancia nominal superior e interpolar las dos intensidades de campo para la distancia utilizando el método indicado en el § 5 del Anexo 5.

*Paso 8.1.6:* Si la altura requerida de la antena transmisora/de base,  $h_1$ , no coincide con uno de los valores nominales, repetir los Pasos 8.1.3 a 8.1.5 e interpolar/extrapolar para  $h_1$  utilizando el método indicado en el § 4.1 del Anexo 5. Si es necesario, limitar el resultado al máximo dado en el § 2 del Anexo 5.

*Paso 8.2:* Para una altura de antena transmisora/de base,  $h_1$ , inferior a 10 m, determinar la intensidad de campo para la altura y la distancia requeridas utilizando el método indicado en el § 4.2 del Anexo 5. Si  $h_1$  es inferior a cero, deberá utilizarse también el método indicado en el § 4.3 del Anexo 5.

*Paso 9:* Si la frecuencia requerida no coincide con la frecuencia nominal inferior, repetir el Paso 8 para la frecuencia nominal superior e interpolar o extrapolar las dos intensidades de campo utilizando el método indicado en el § 6 del Anexo 5. Si es necesario, limitar el resultado a la intensidad de campo máxima dada en el § 2 del Anexo 5.

*Paso 10:* Si el porcentaje de tiempo requerido no coincide con el porcentaje de tiempo nominal, repetir los Pasos 7 a 9 para el porcentaje de tiempo nominal superior e interpolar las dos intensidades de campo utilizando el método indicado en el § 7 del Anexo 5.

*Paso 11:* Si la predicción se hace para un trayecto mixto, seguir el procedimiento paso a paso indicado en el § 8 del Anexo 5. Para ello es preciso efectuar los Pasos 6 a 10 para los trayectos de cada tipo de propagación. Se señala que si secciones diferentes del trayecto están clasificadas como mares fríos y mares cálidos, todas las secciones marítimas deberán clasificarse como mar cálido.

*Paso 12:* Si se dispone de información sobre el ángulo de despejamiento del terreno para una antena receptora/móvil situada junto al terreno, corregir la intensidad de campo para el ángulo de despejamiento del terreno en la antena receptora/móvil utilizando el método indicado en el § 11 del Anexo 5.

*Paso 13:* Calcular la intensidad de campo estimada debida a la dispersión troposférica mediante el método que se describe en el Anexo 5 § 13, y, si es necesario, ajustar la intensidad de campo final prevista en consecuencia.

*Paso 14:* Corregir la intensidad de campo para la altura de la antena receptora/móvil,  $h_2$ , utilizando el método indicado en el § 9 del Anexo 5.

*Paso 15:* Caso de ser aplicable, reducir la intensidad de campo añadiendo la corrección para trayectos cortos urbanos/suburbanos, mediante el método del § 10 del Anexo 5.

*Paso 16:* Si se requiere la intensidad de campo en una antena receptora/móvil situada junto al terreno rebasada en un porcentaje de ubicaciones distinto del 50%, corregir la intensidad de campo para el porcentaje de ubicaciones requerido utilizando el método indicado en el § 12 del Anexo 5.

*Paso 17:* Si es necesario, limitar la intensidad de campo resultante al máximo indicado en el § 2 del Anexo 5. Si se ha efectuado un cálculo de trayecto mixto para un porcentaje de tiempo inferior al 50%, será necesario calcular la intensidad de campo máxima mediante interpolación lineal entre los valores de todo terrestre y todo marítimo. Ese cálculo es como sigue:

$$E_{m\acute{a}x} = E_{fs} + d_s E_{se} / d_{total} \quad \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad (40)$$

donde:

$E_{fs}$ : intensidad de campo de espacio libre dada por la ecuación (2) del § 2 del Anexo 5

$E_{se}$ : mejora para porcentajes de tiempo pequeños para un trayecto marítimo dada por la ecuación (3) del § 2 del Anexo 5

$d_s$ : distancia marítima total (km)

$d_{total}$ : distancia del trayecto total (km).

*Paso 18:* Si es preciso, convertir la intensidad de campo en pérdida básica de transmisión equivalente para el trayecto utilizando el método indicado en el § 16 del Anexo 5.

## Anexo 7

### Comparación con el método Okumura-Hata

El método Okumura-Hata se formula como sigue:

$$E = 69,82 - 6,16 \log f + 13,82 \log H_1 + a(H_2) - (44,9 - 6,55 \log H_1) (\log d)^b \quad (41)$$

donde:

$E$ : intensidad de campo (dB( $\mu$ V/m)) para una p.r.a. de 1 kW

$f$ : frecuencia (MHz)

$H_1$ : altura efectiva de la antena de la estación de base por encima del suelo (m) en la gama de 30 a 200 m

$H_2$ : altura de la antena de la estación móvil por encima del suelo (m) en la gama de 1 a 10 m

$d$ : distancia (km)

$$a(H_2) = (1,1 \log f - 0,7) H_2 - (1,56 \log f - 0,8)$$

$$b = 1 \text{ para } d \leq 20 \text{ km}$$

$$b = 1 + (0,14 + 0,000187 f + 0,00107 H_1') (\log [0,05 d])^{0,8} \quad \text{para } d > 20 \text{ km}$$

donde:

$$H_1' = H_1 / \sqrt{1 + 0,000007 H_1^2}$$

Esta Recomendación produce resultados similares a los del método Okumura-Hata para distancias de hasta 10 km,  $h_2 = H_2 = 1,5$  m,  $R = 15$ .

## Anexo 8

### Ajuste para las distintas regiones climáticas

Las curvas de los Anexos 2, 3 y 4 se basan en mediciones efectuadas en climas templados. Las intensidades de campo de las regiones del mundo en que el gradiente vertical de la refractividad atmosférica es significativamente distinto no podrán predecirse, en general de forma tan precisa.

El método indicado a continuación puede utilizarse para aplicar la información sobre el gradiente vertical de la refractividad de la Recomendación UIT-R P.453 en la corrección de las curvas de los Anexos 2, 3 y 4 para utilizarlas en cualquier parte del mundo. Los ficheros de datos de la Recomendación UIT-R P.453 dan gradientes de refractividad en unidades N/km correspondientes a los 65 m inferiores de la atmósfera como valores negativos.

A los efectos de este ajuste, se considera que las curvas de los Anexos 2, 3 y 4 representan valores de referencia del gradiente  $dN_0$  dados por:

$$\text{Para campos rebasados durante el 50\% del tiempo: } dN_0 = -43,3 \text{ unidades N/km} \quad (42a)$$

$$\text{Para campos rebasados durante el 10\% del tiempo: } dN_0 = -141,9 \text{ unidades N/km} \quad (42b)$$

Para campos rebasados durante el 1% del tiempo:  $dN_0 = -301,3$  unidades N/km (42c)

Para ajustar una familia de curvas de intensidad de campo a una región radioclimática del mundo distinta, se calcula la diferencia del gradiente  $\Delta N$  que viene dada por:

$$\Delta N = dN_0 - dN \quad (43)$$

donde:

$dN$ : gradiente rebasado durante el porcentaje de tiempo de las curvas que hay que ajustar, obtenido de los ficheros de datos de la Recomendación ITU-R P.453, DNDZ\_50.TXT, DNDZ\_10.TXT, DNDZ\_01.TXT para el 50%, 10% y 1% del tiempo, respectivamente

$dN_0$ : gradiente de referencia para el porcentaje de tiempo de la curva que hay que ajustar, de las ecuaciones (40).

Para cualquier distancia,  $d$  (km), si  $dN$  es inferior a  $-301,3$ , se añade un ajuste a la intensidad de campo máxima:

$$\delta E_{m\acute{a}x} = 0,007 (-301,3 - dN) \{1 - \exp(-d/50)\} \exp(-d/6\ 000) \quad \text{dB} \quad (44)$$

Véase que no se introduce ningún cambio en las intensidades de campo máximas si  $dN$  es mayor o igual a  $-301,3$ .

Se calcula el valor de escala  $K$  que viene dado por:

$$K = 14,94 - 6,693 \times 10^{-6} (1\ 494 - \Delta N)^2 \quad \Delta N > 0 \quad (45a)$$

$$= 0,08 \Delta N \quad \Delta N \leq 0 \quad (45b)$$

Para la curva inferior de la familia que se ha de ajustar, es decir, para  $h_1 = 10$  m, se añade un ajuste,  $\delta E_1$  dado por:

$$\delta E_1 = K \{1 - \exp(-d/50)\} \exp(-d/6\ 000) \quad \text{dB} \quad (46)$$

Si es necesario, se ha de limitar el valor de  $\delta E_1$  de la siguiente manera:

- $\delta E_1$  debe limitarse de forma que la intensidad de campo ajustada no rebase la intensidad de campo máxima ajustada.
- Si  $\Delta N$  es superior a cero,  $\delta E_1$  debe limitarse de forma que la diferencia entre la intensidad de campo máxima ajustada y la de  $h_1 = 10$  m no sea superior a la de las curvas no ajustadas. Véase que esta condición no debe aplicarse cuando  $\Delta N$  sea inferior a cero.

Se ajustan las intensidades de campo para otros valores de  $h_1$  de forma que ocupen la misma posición proporcional entre la intensidad de campo máxima y la de  $h_1 = 10$  m como intensidad de campo correspondiente en las curvas no ajustadas, utilizando:

$$E'_n = E'_1 + (E_n - E_1) (E'_{m\acute{a}x} - E'_1) / (E_{m\acute{a}x} - E_1) \quad (47)$$

donde:

$E_1$ : intensidad de campo para  $h_1 = 10$  m

$E_n$ : intensidad de campo para valores de  $h_1$  superiores a 10 m

$E_{m\acute{a}x}$ : intensidad de campo máxima

y el signo prima indica los valores ajustados.