

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R P.1546-5
(09/2013)

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

Serie P
Propagación de las ondas radioeléctricas



Prólogo

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

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

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

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

Series de las Recomendaciones UIT-R

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

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

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

Publicación electrónica
Ginebra, 2014

© UIT 2014

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

RECOMENDACIÓN UIT-R P.1546-5

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

(2001-2003-2005-2007-2009-2013)

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;
- f) que la Recomendación UIT-R P.2001 proporciona un modelo de propagación terrenal de gran alcance en la gama de frecuencias de 30 MHz a 50 GHz incluidas las estadísticas de desvanecimiento e incremento de la señal,

recomienda

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 hasta 1 000 km.

NOTA – Los trayectos de propagación a gran distancia también pueden aparecer en las ondas métricas a través de la ionosfera. Estos modos se resumen en la Recomendación UIT-R P.844.

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 § 1.1 del 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. 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 1 200 m. Para cualquier valor de h_1 comprendido entre 10 m y 3 000 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, o 10 m, tomando entre ambos el mayor valor. 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 Efecto de apantallamiento por obstáculos de la antena transmisora/de base

Si la antena transmisora/de base se encuentra sobre un terreno con obstáculos, o adyacente al mismo, debe aplicarse la corrección indicada en el § 10 del Anexo 5, independientemente de la altura de la antena transmisora/de base sobre el suelo.

12 Corrección debida al ángulo libre de obstáculos 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 libre de obstáculos 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 libre de obstáculos del terreno.

13 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.

14 Corrección basada en la dispersión troposférica

El § 13 del Anexo 5 presenta un método para tener en cuenta la dispersión troposférica que debe utilizarse si se dispone de información sobre el terreno. En principio, las curvas deben reflejar el efecto de cualquier señal significativa dispersada por la troposfera pero no es seguro que se hayan realizado las suficientes mediciones a larga distancia necesarias para capturar estos efectos. La corrección indicada en el § 13 del Anexo 5 tiene por objeto hacer improbable una subestimación importante de la intensidad de campo debido a que las curvas no representan adecuadamente los efectos de la dispersión troposférica.

15 Corrección relativa a la diferencia de altura de las antenas

El § 14 del Anexo 5, presenta una corrección para tener en cuenta la diferencia de altura sobre el suelo entre las dos antenas.

16 Distancias horizontales inferiores a 1 km

Las curvas de intensidad de campo cubren distancias horizontales desde 1 km hasta 1 000 km. El § 15 del Anexo 5 describe el método para distancias horizontales inferiores a 1 km.

17 Pérdida básica de transmisión equivalente

En el § 17 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.

18 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 7 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.

19 Compatibilidad con el método Okumura-Hata

El Anexo 8 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.

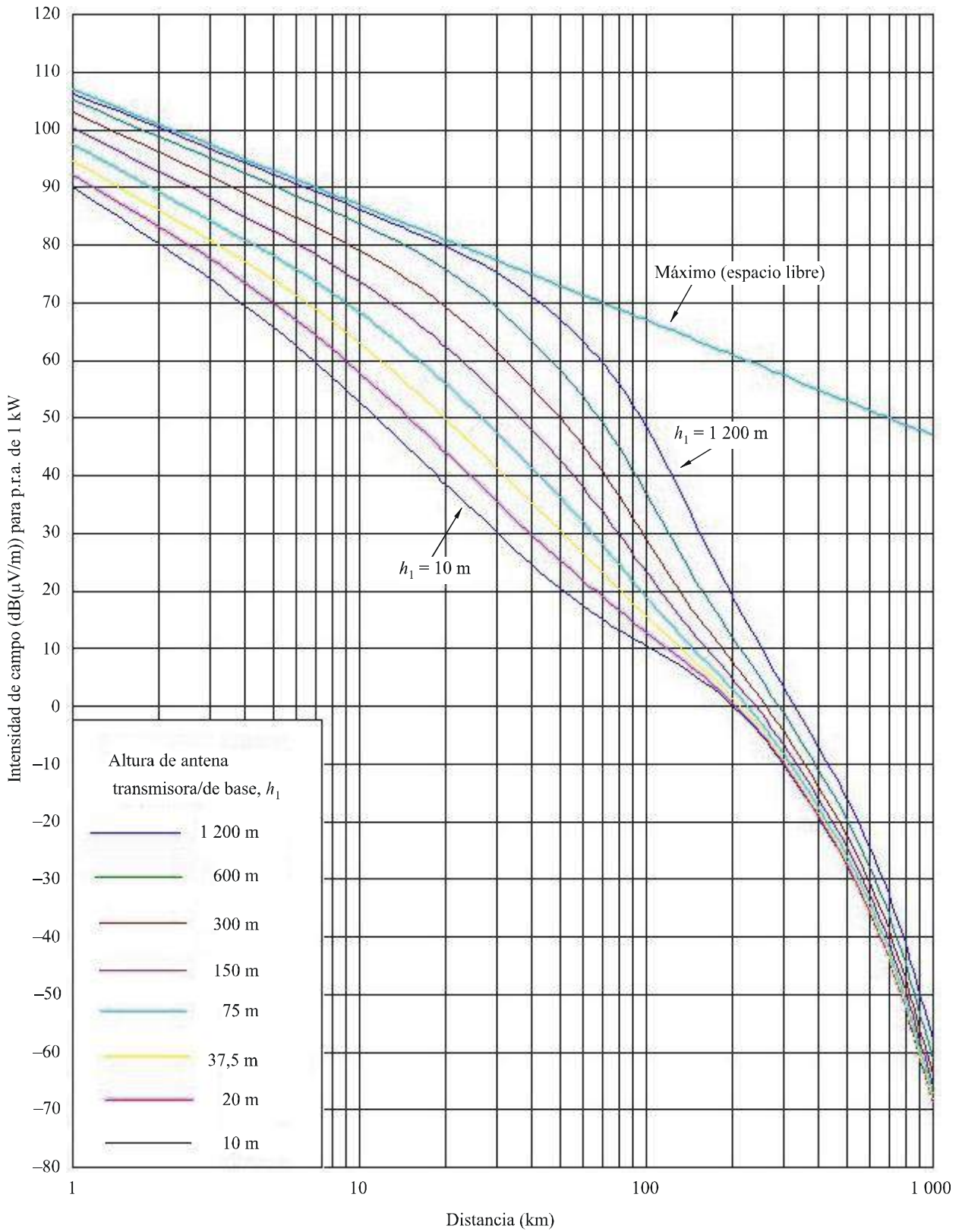
4 Las curvas de las Figs. 4 a 8 representan los valores de intensidad de campo rebasados en el 50% de las ubicaciones durante el 50%, el 10% y el 1% del tiempo, para trayectos marítimos sobre mares fríos y mares cálidos, cuyas características son, por ejemplo, las que se observan en el Mar del Norte 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 § 18 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

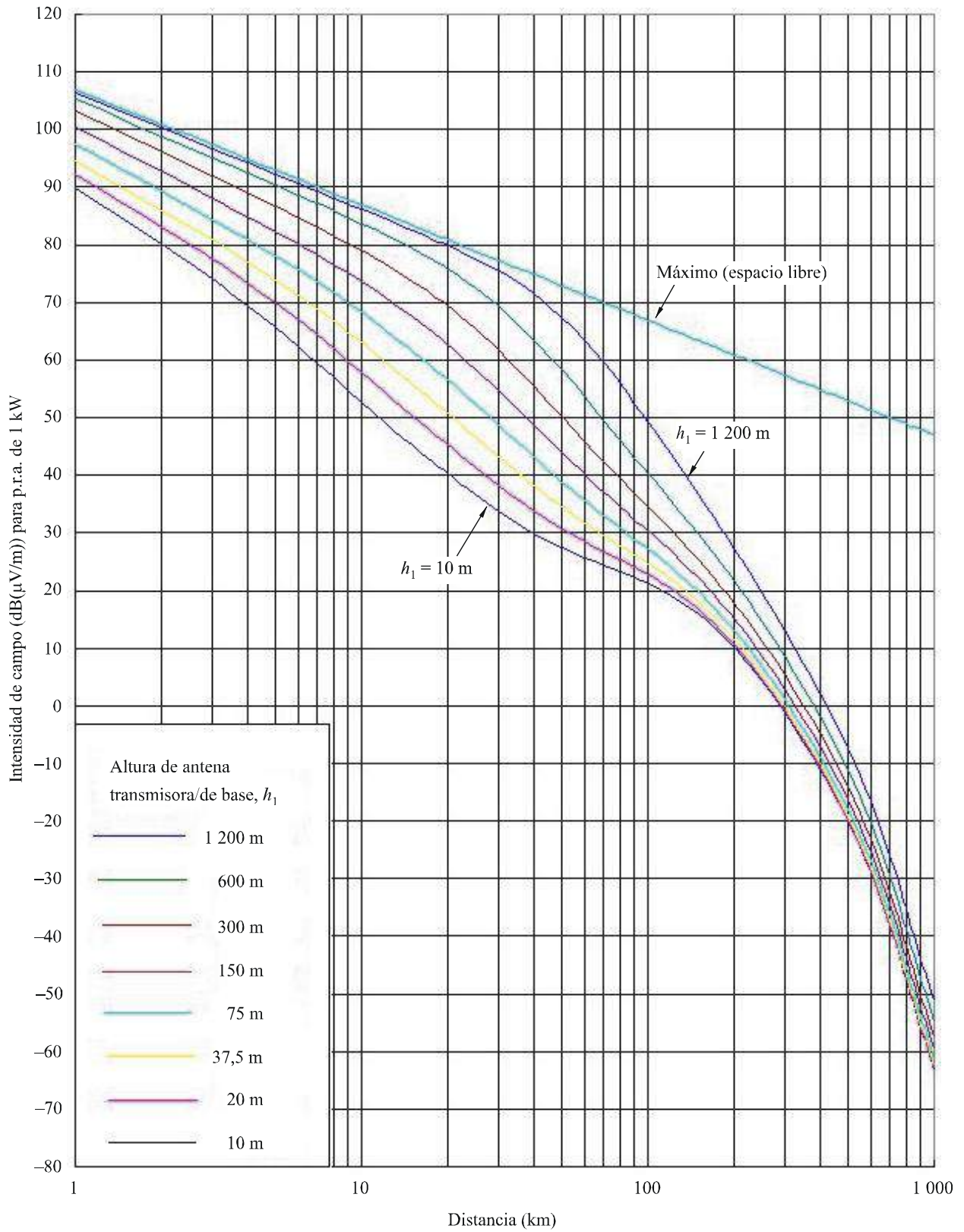
100 MHz, trayecto terrestre, 50% del tiempo



50% de las ubicaciones

h₂: altura representativa de los obstáculos

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

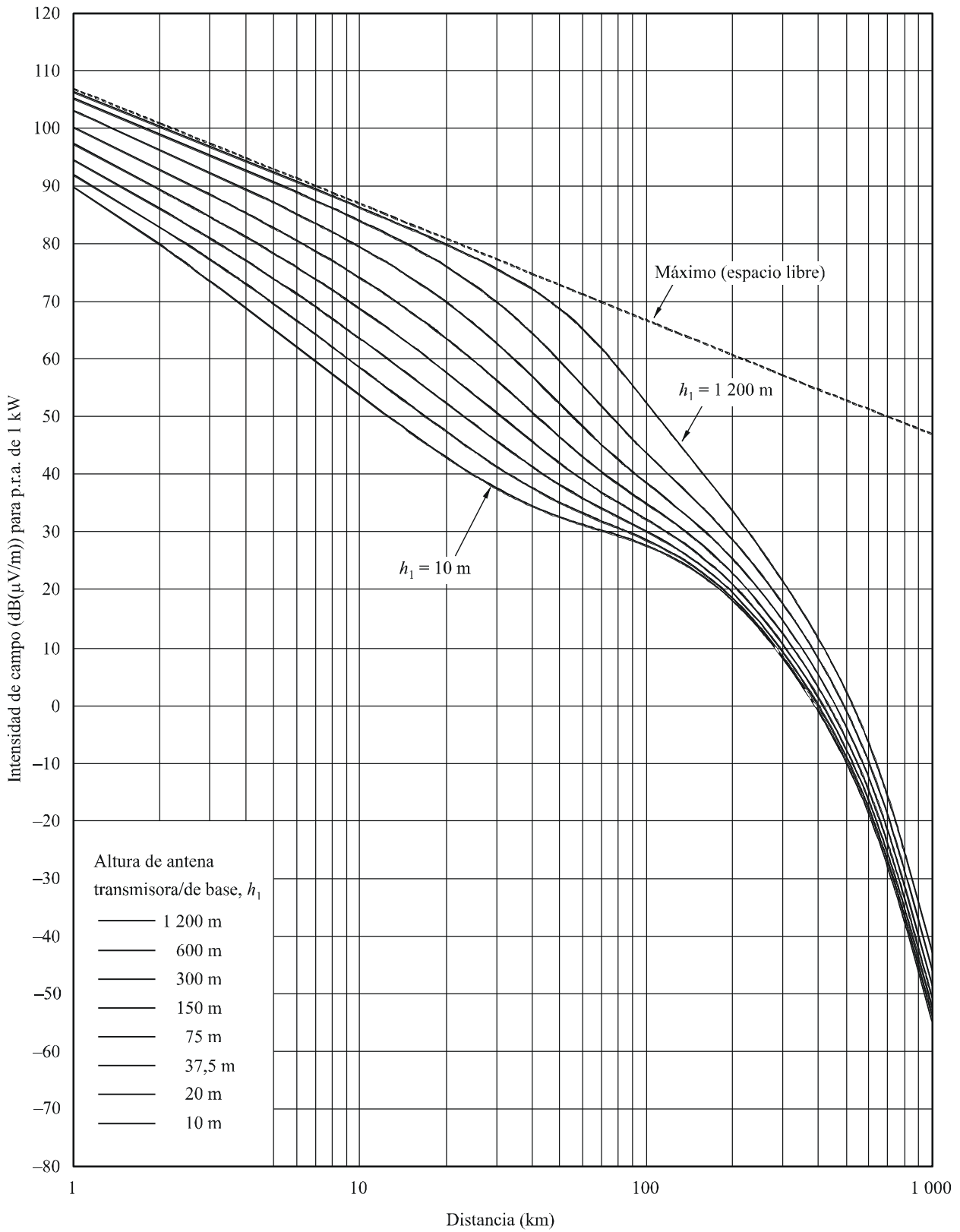


50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

FIGURA 3

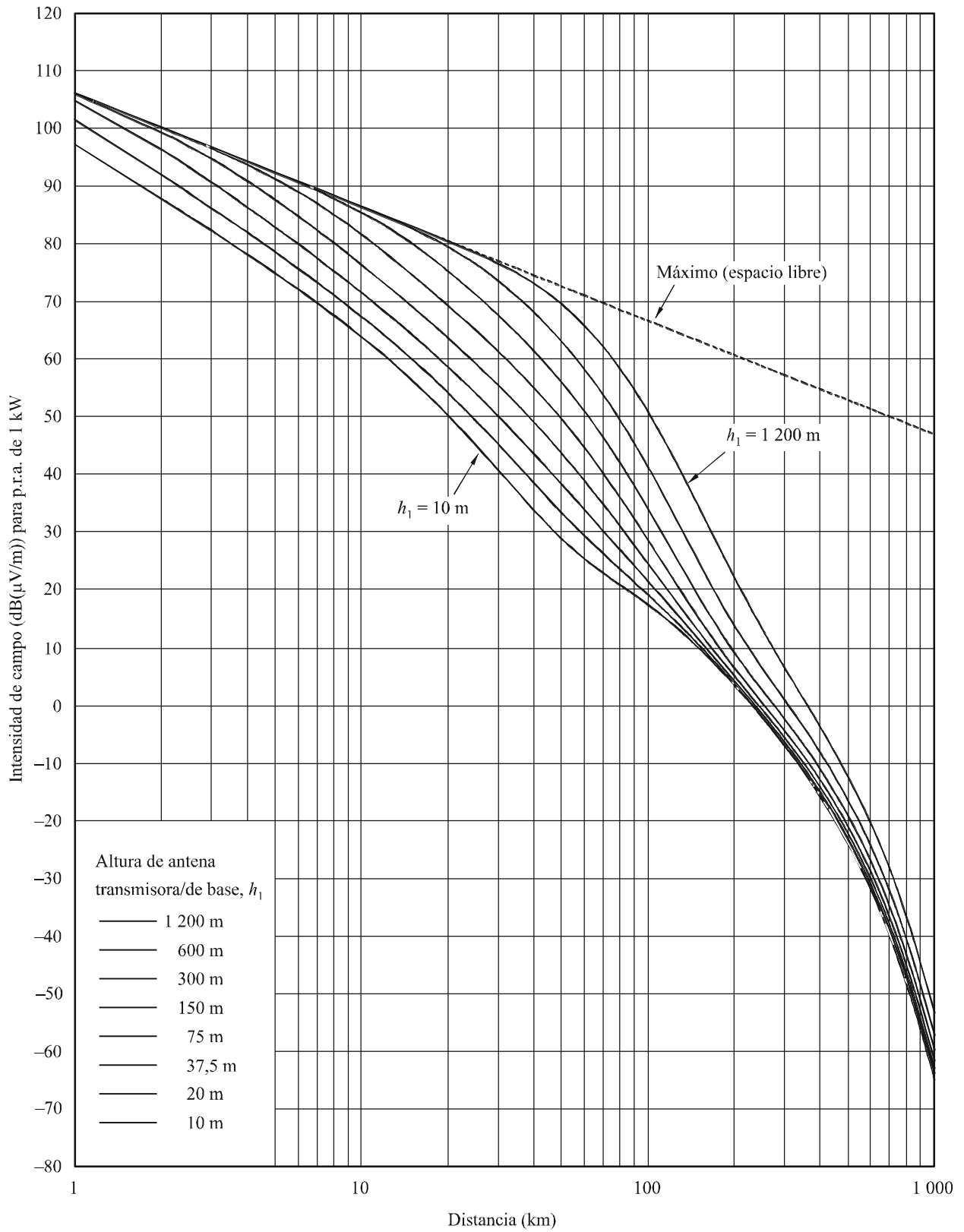
100 MHz, trayecto terrestre, 1% del tiempo



50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

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

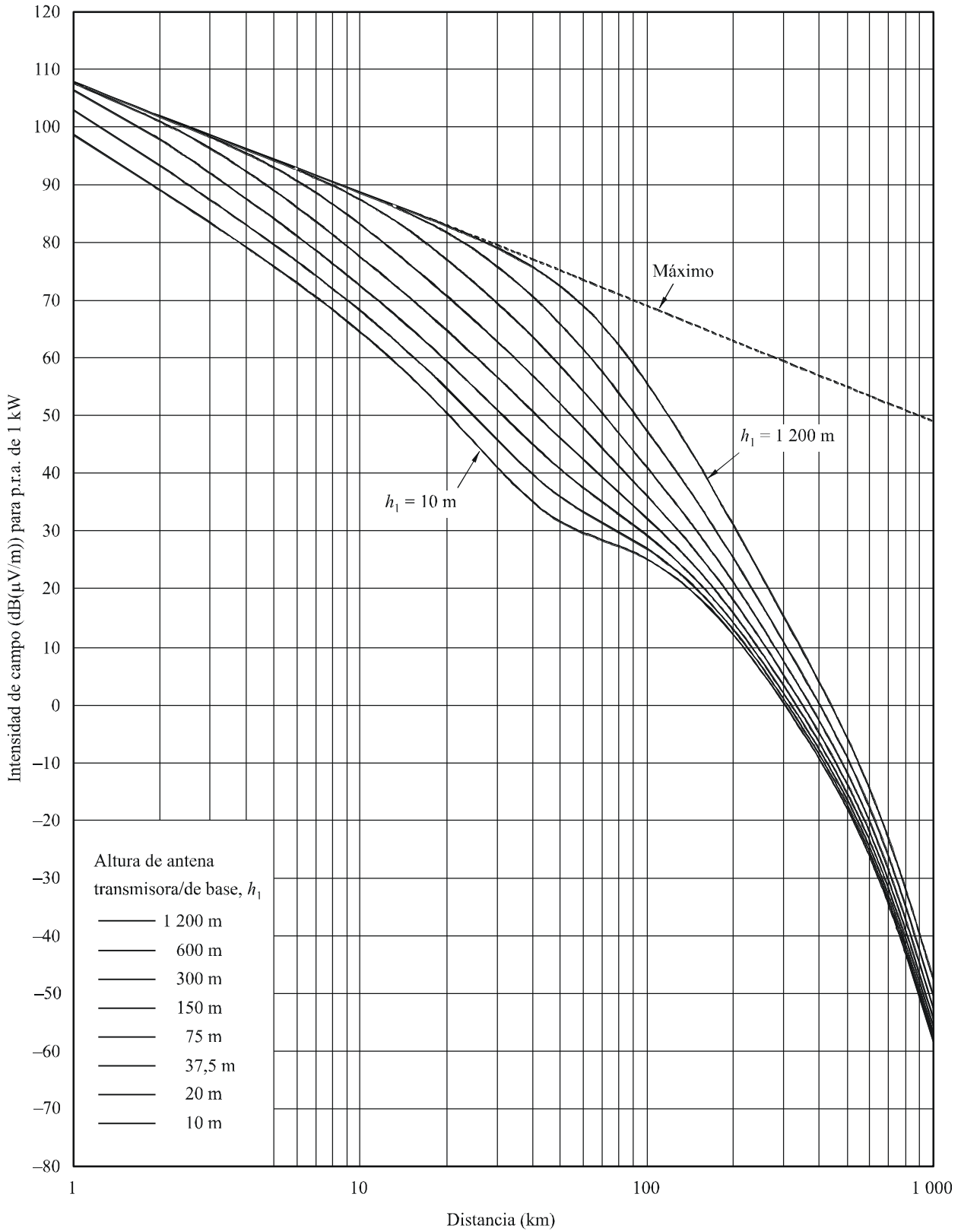


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10 \text{ m}$

FIGURA 5

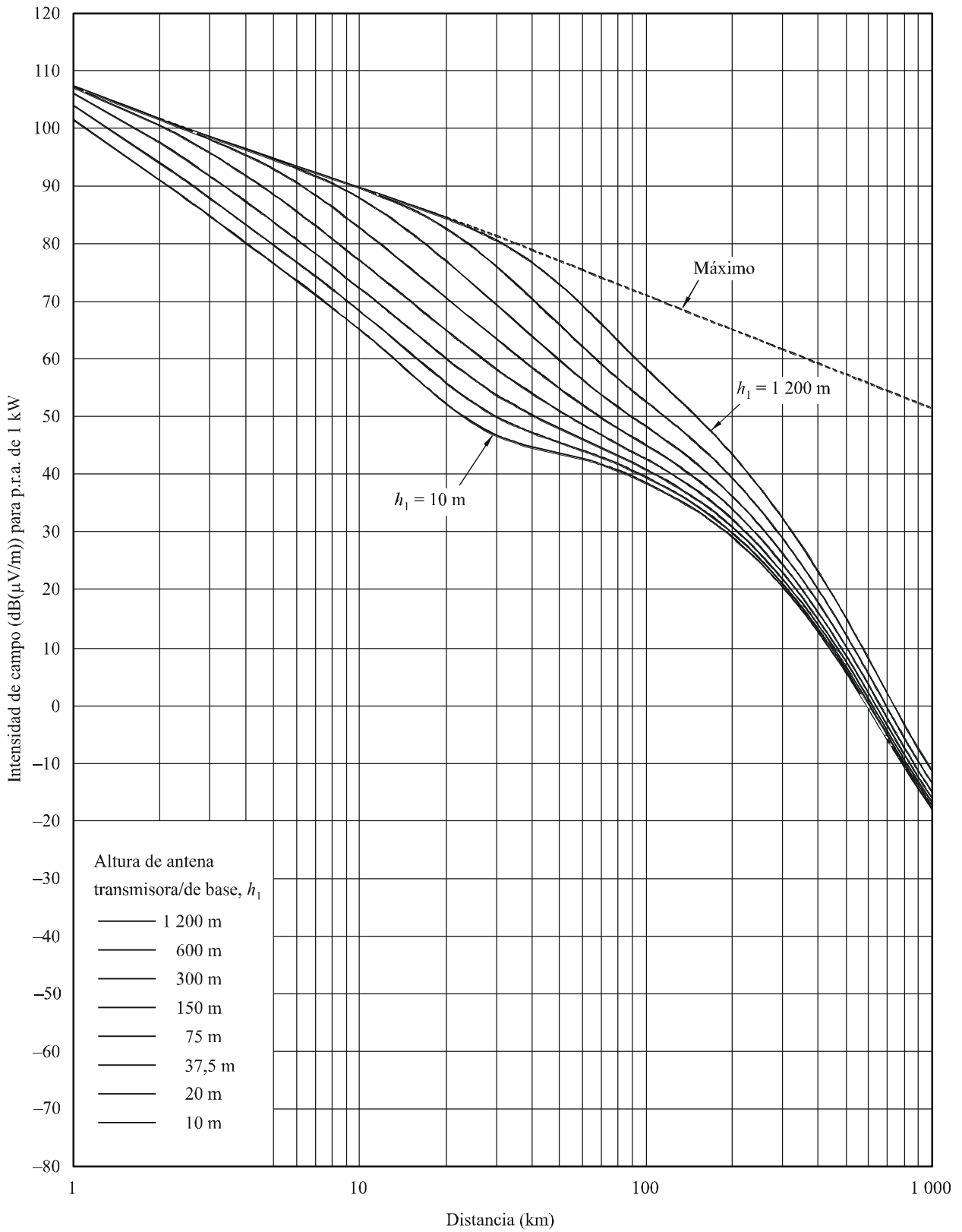
100 MHz, trayecto sobre mares fríos, 10% del tiempo



50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$ m

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

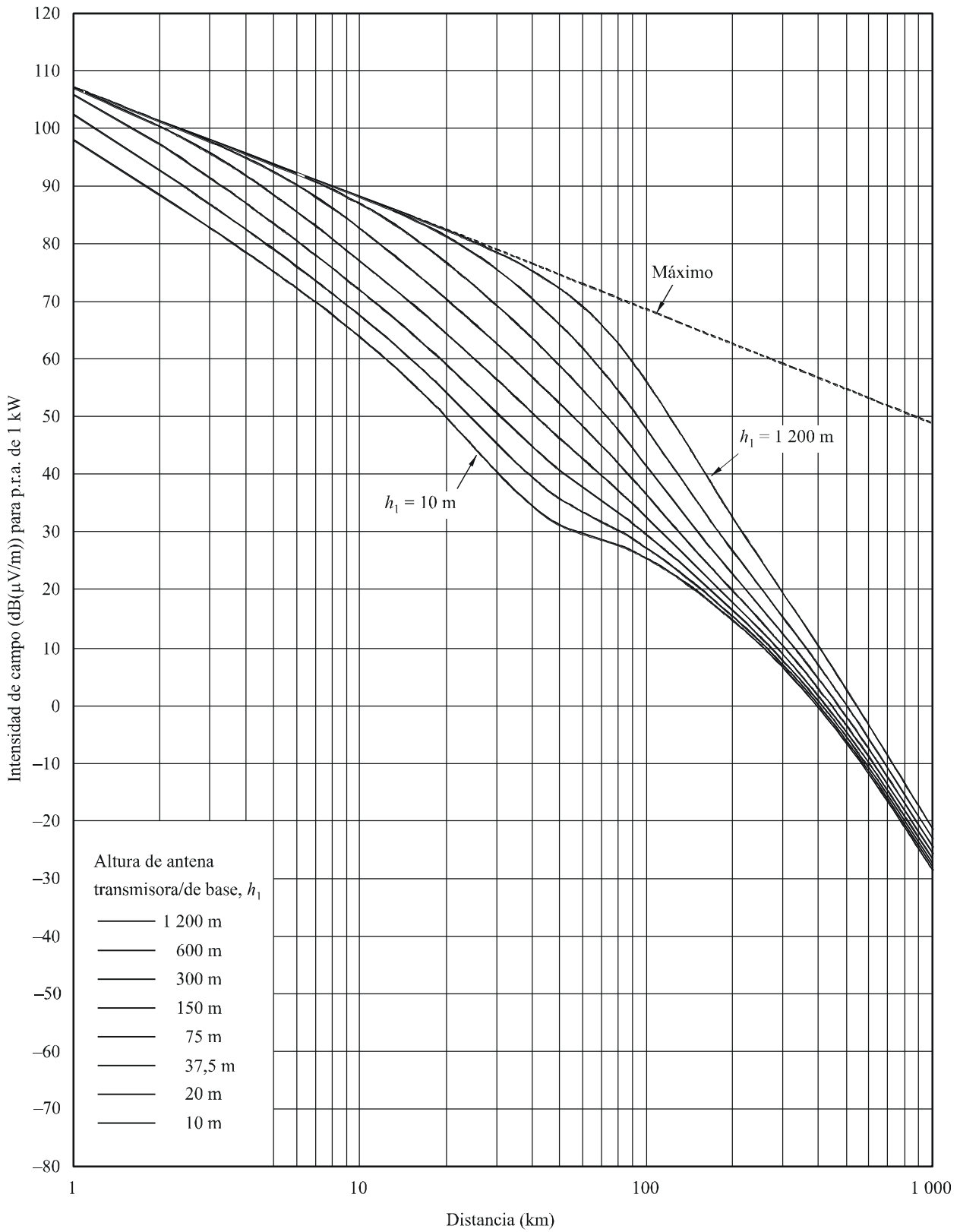


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$ m

FIGURA 7

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

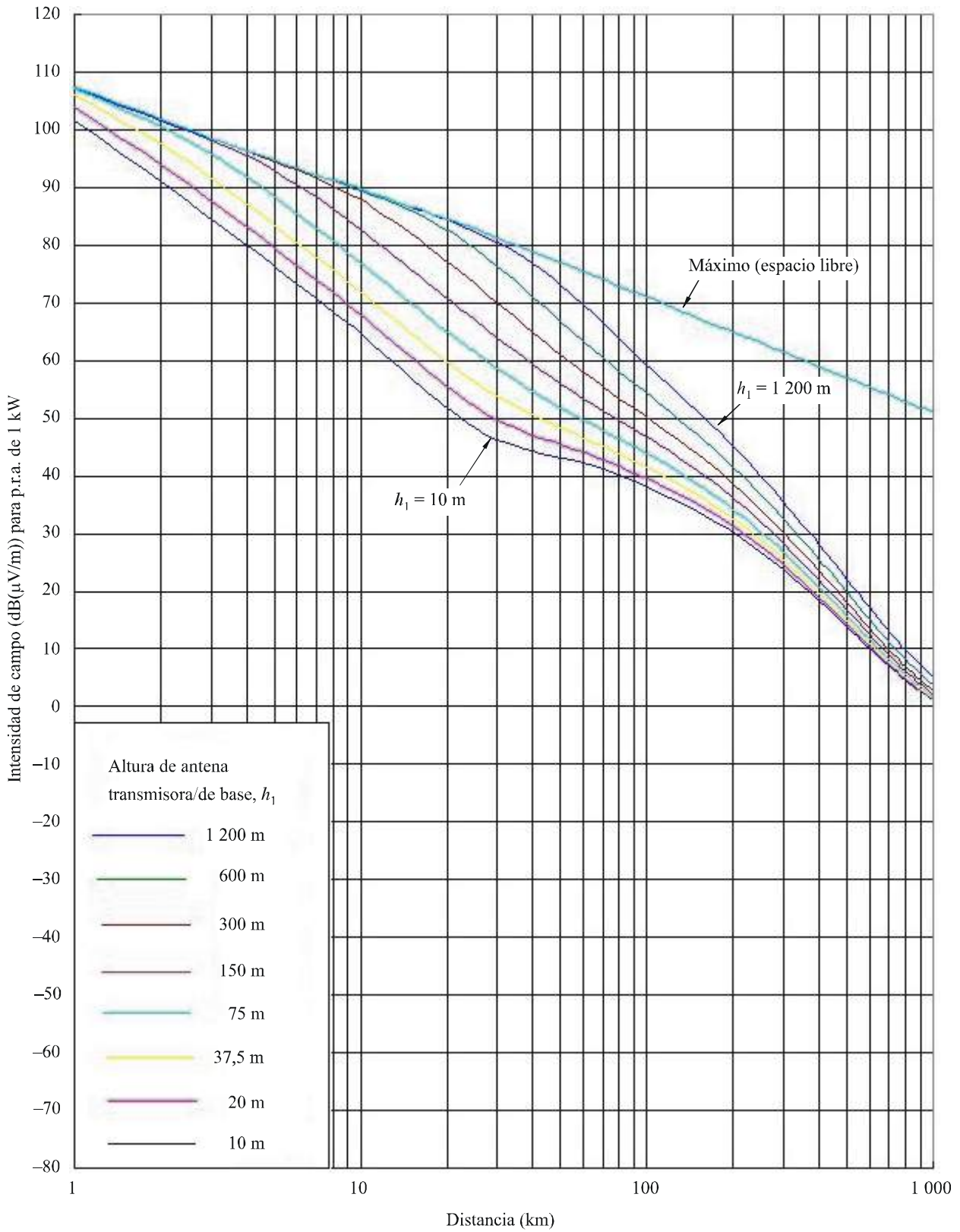


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10 \text{ m}$

FIGURA 8

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



50% de las ubicaciones

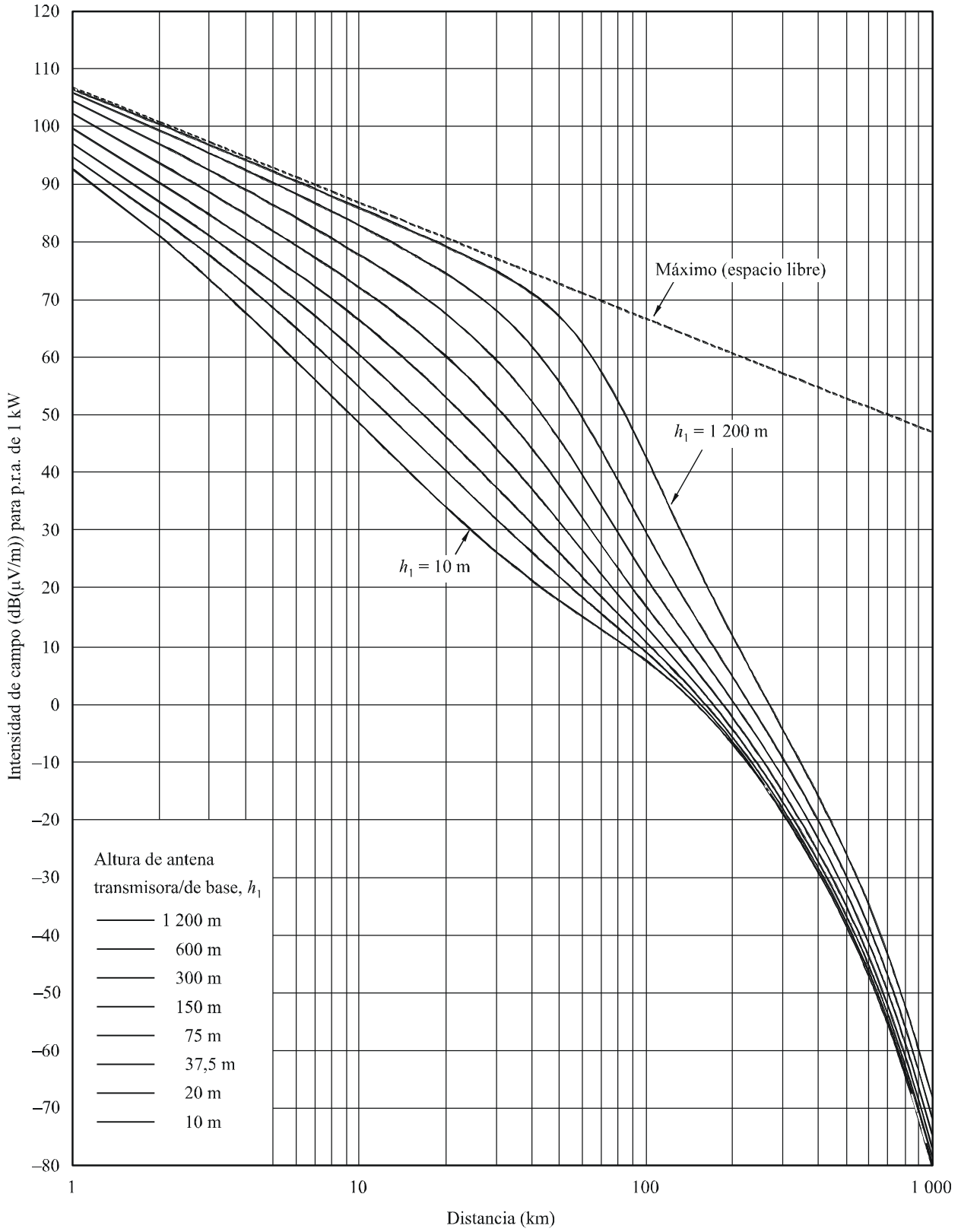
$h_2 = 10$ m

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 § 18 del Anexo 1.

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

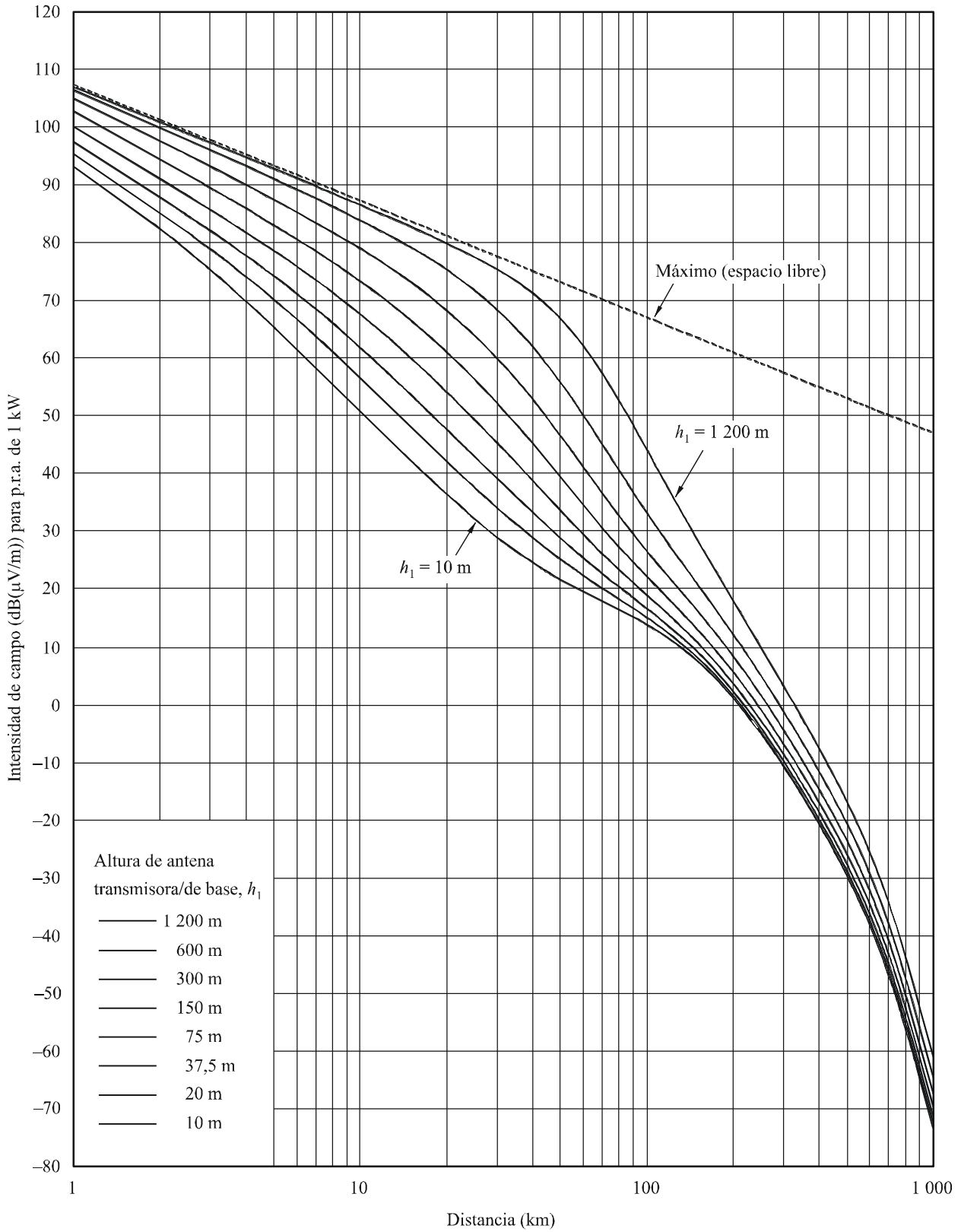


50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

FIGURA 10

600 MHz, trayecto terrestre, 10% del tiempo

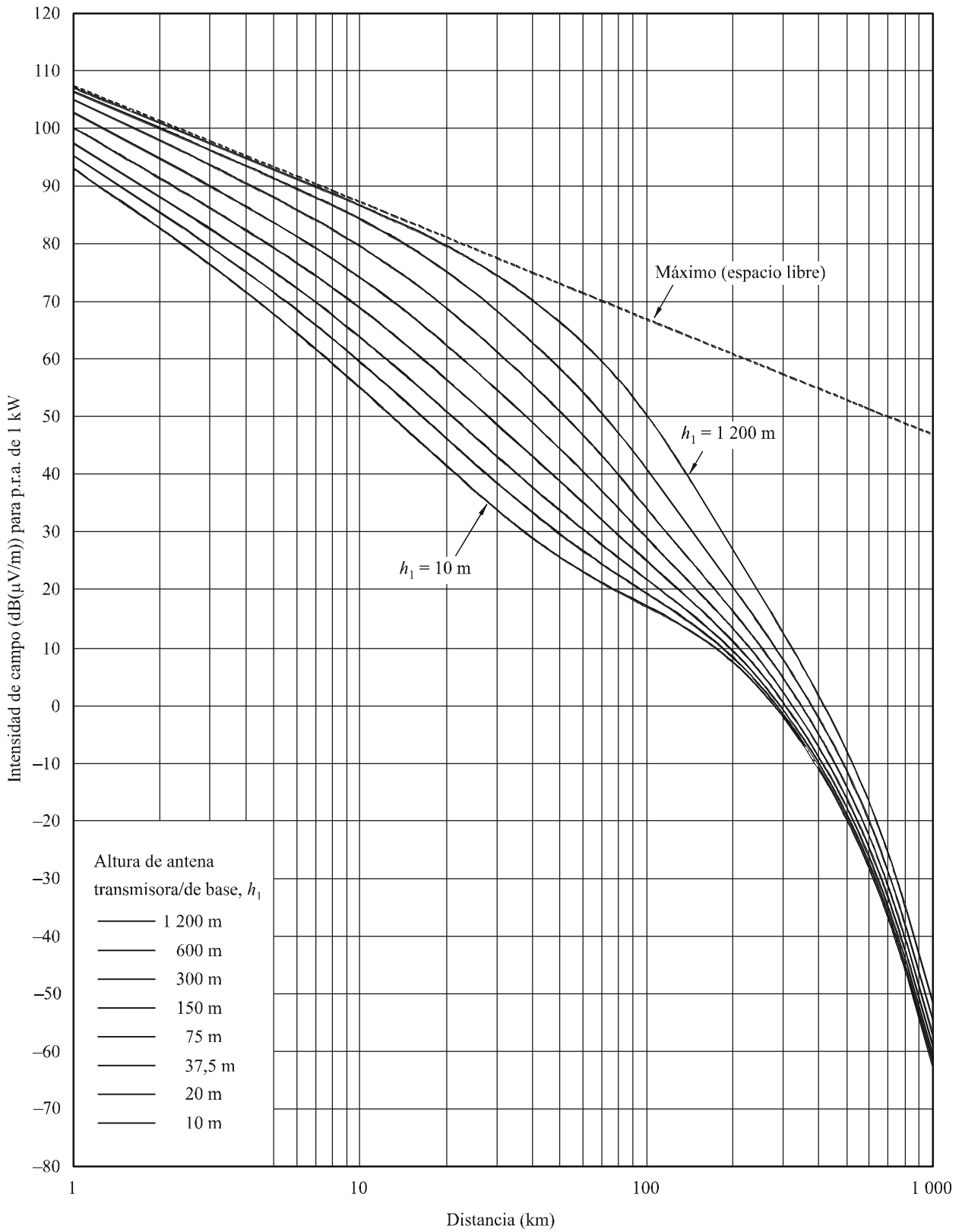


50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

FIGURA 11

600 MHz, trayecto terrestre, 1% del tiempo

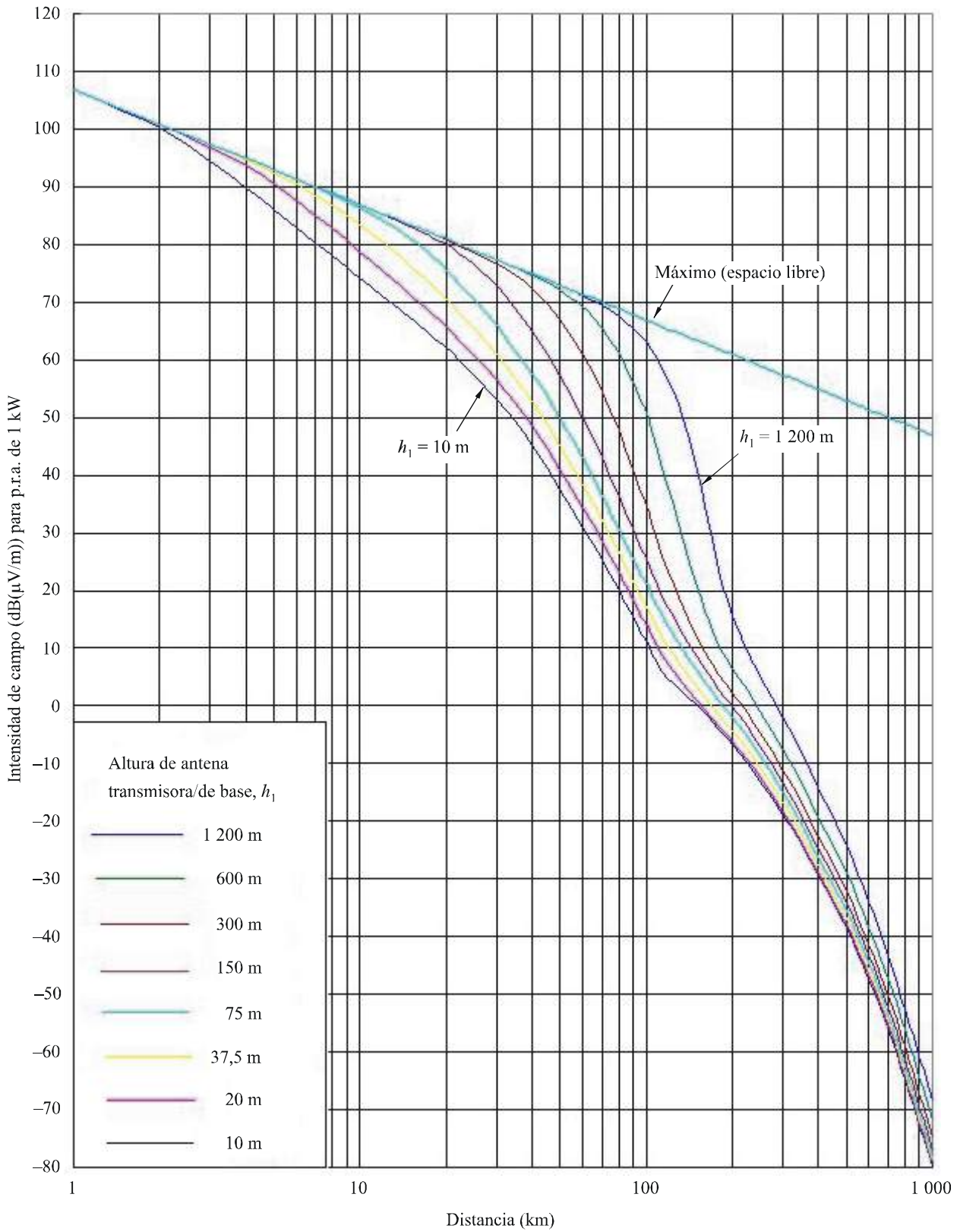


50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

FIGURA 12

600 MHz, trayecto marítimo, 50% del tiempo

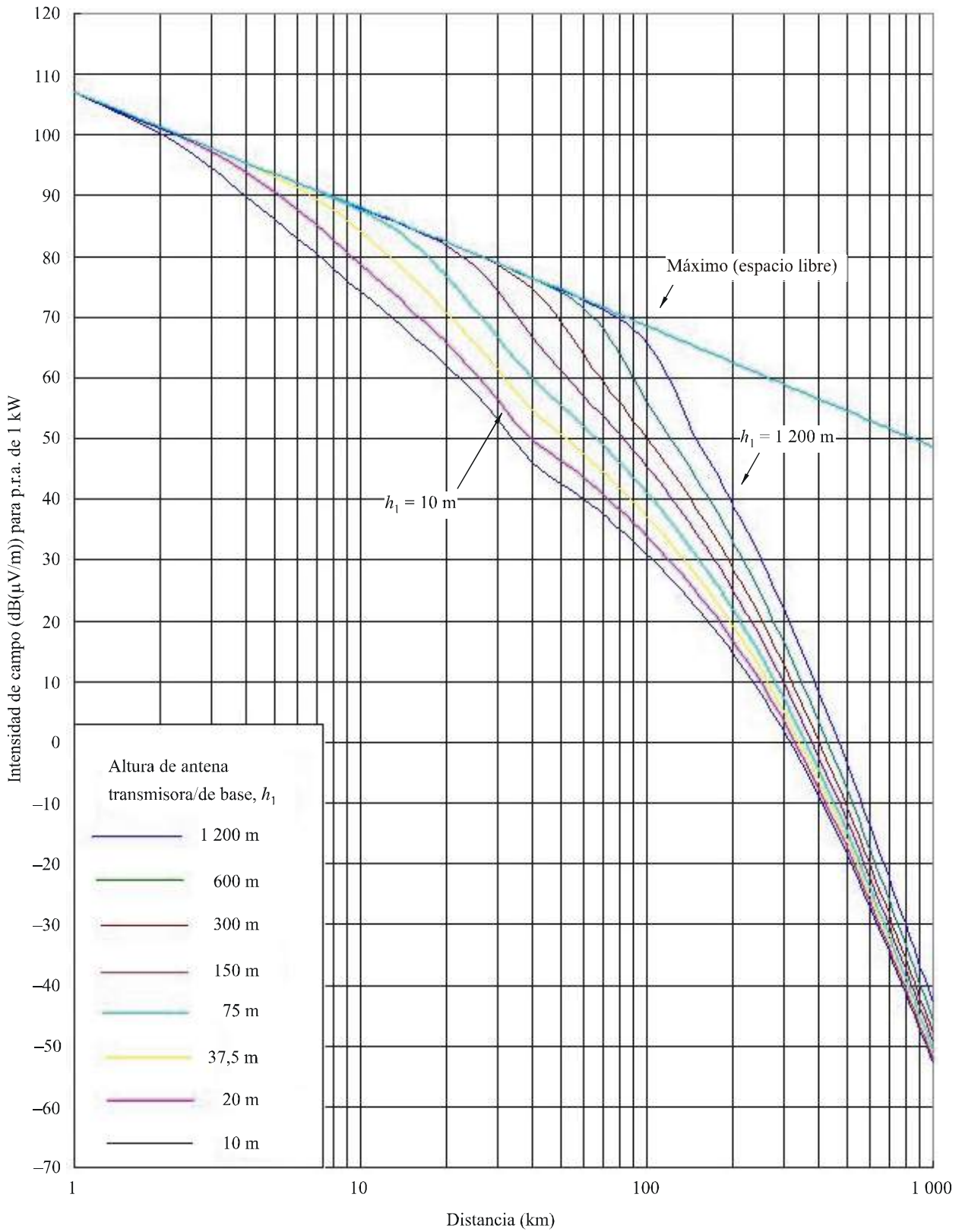


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$ m

FIGURA 13

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

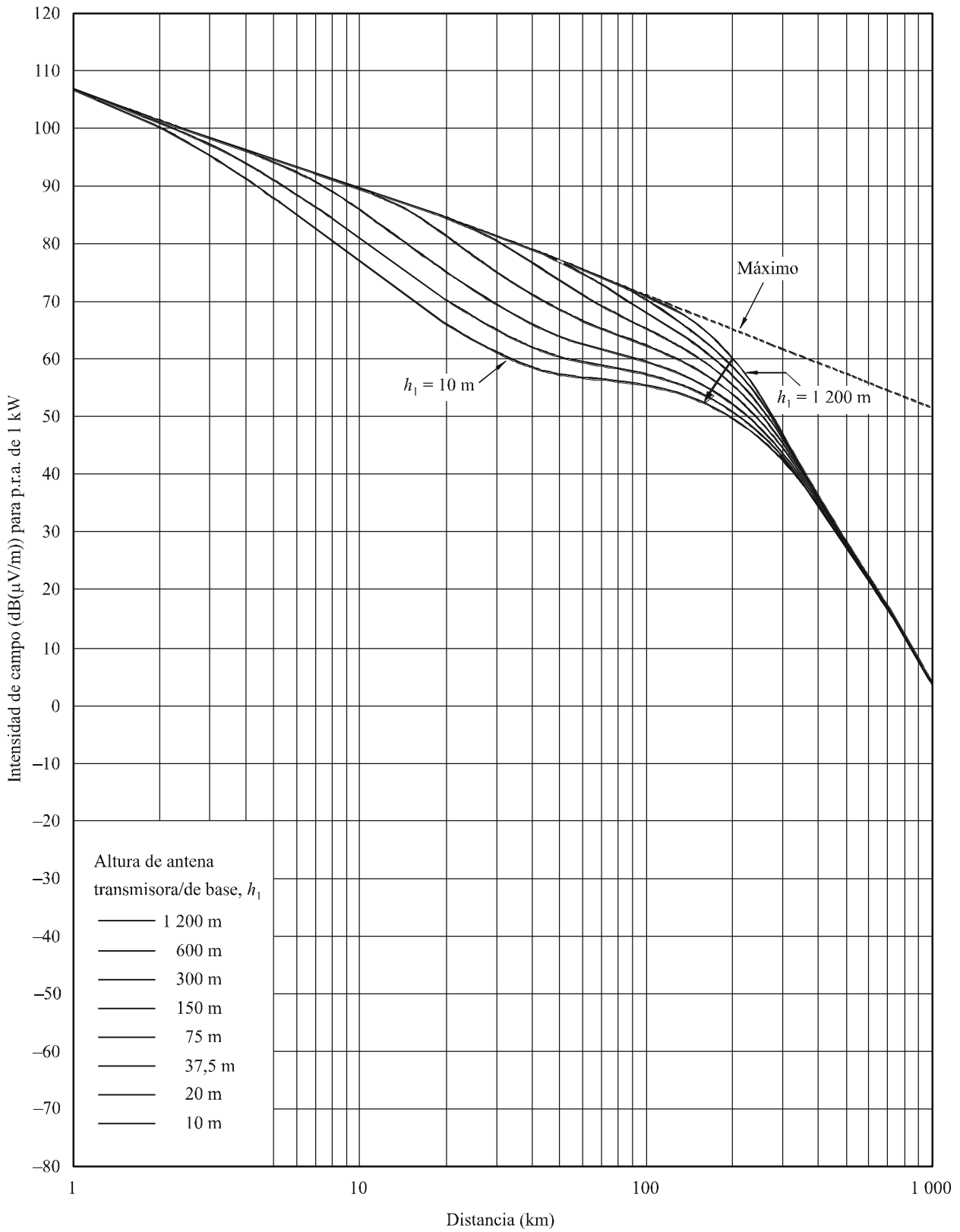


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$ m

FIGURA 14

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

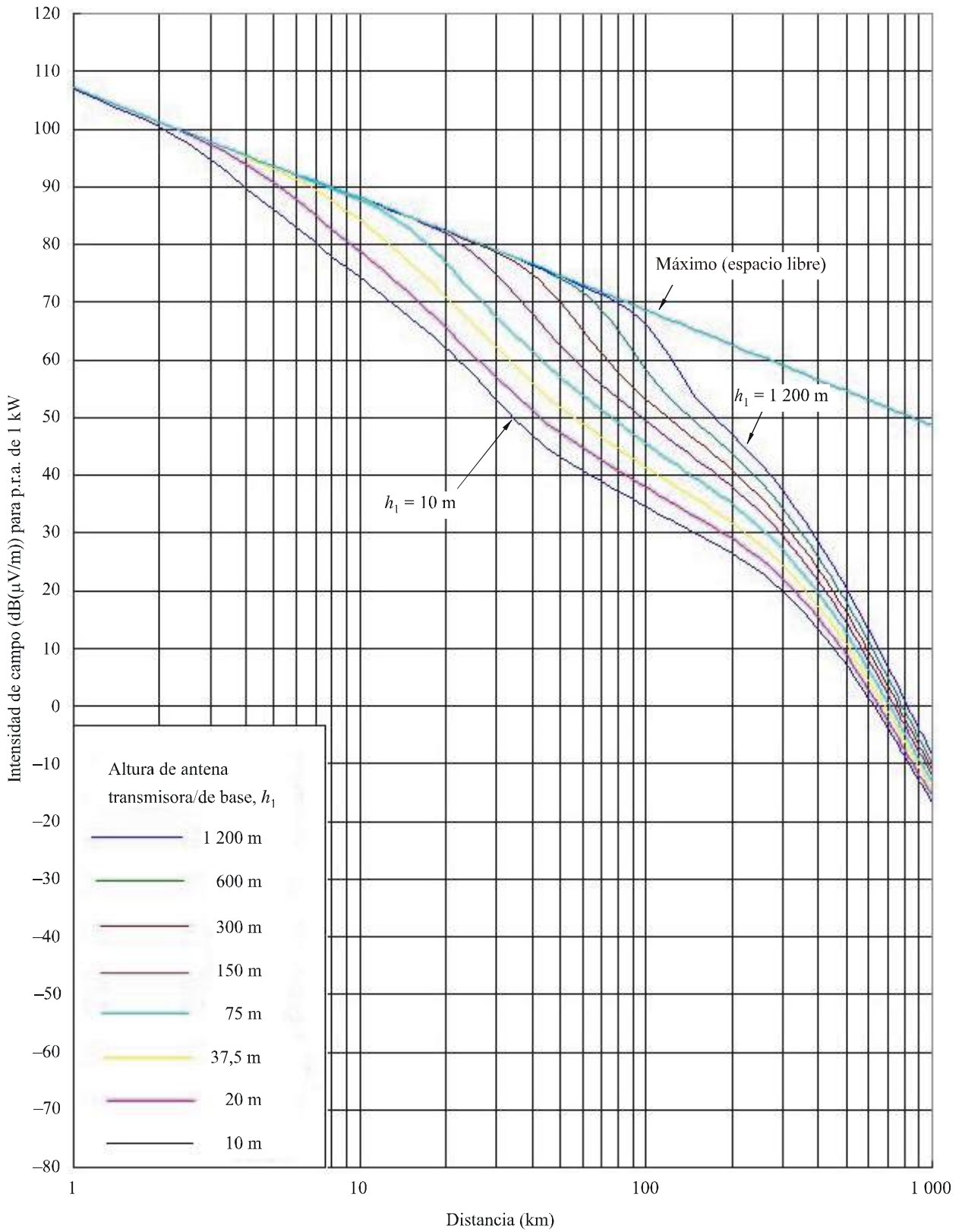


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$ m

FIGURA 15

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

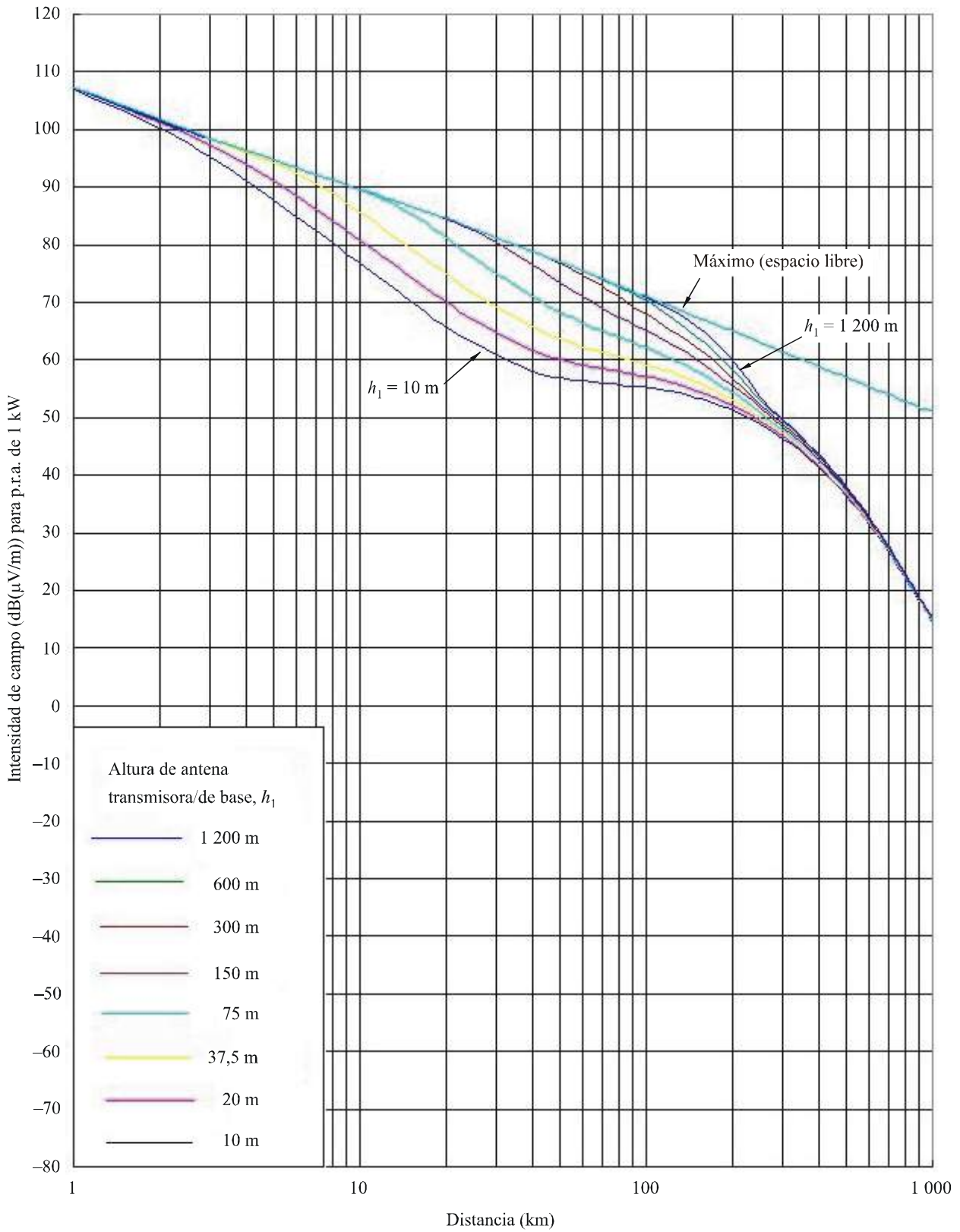


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10\ \text{m}$

FIGURA 16

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



50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$ m

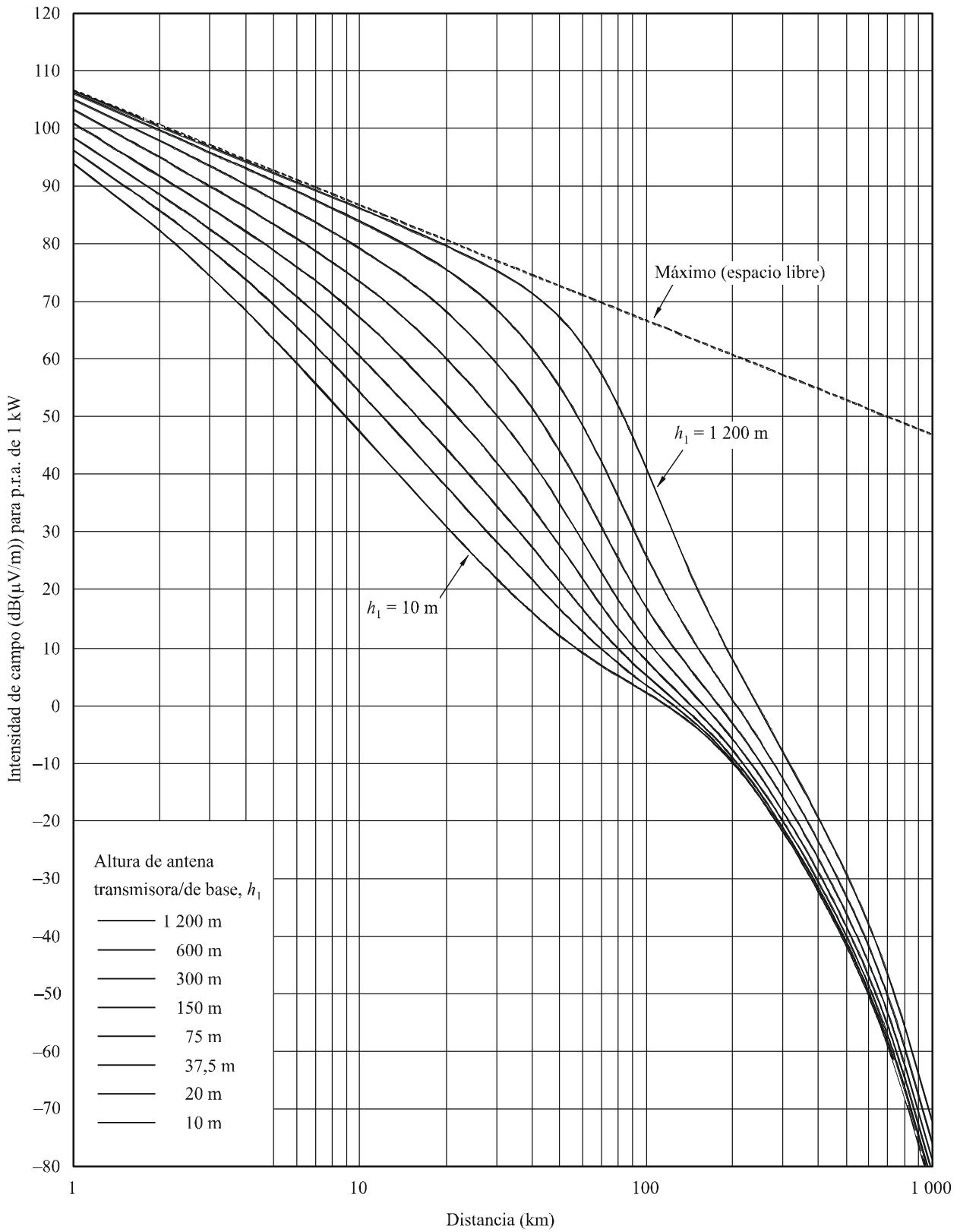
Anexo 4

Gama de frecuencias de 1 000 a 3 000 MHz

- 1** Las curvas de intensidad de campo en función de la distancia que se muestran en este Anexo corresponden a una frecuencia de 2 000 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 § 18 del Anexo 1.

FIGURA 17

2 000 MHz, trayecto terrestre, 50% del tiempo

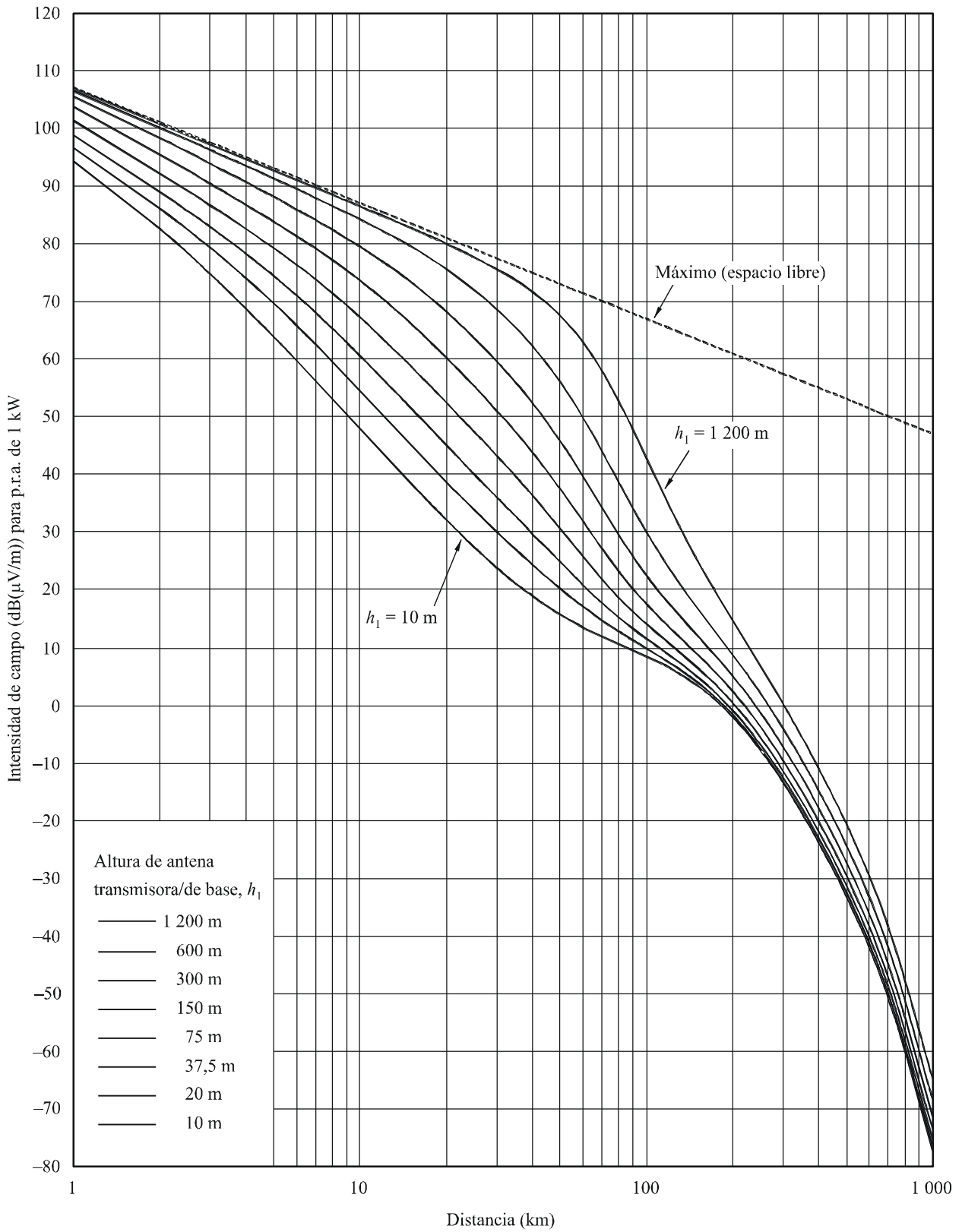


50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

FIGURA 18

2 000 MHz, trayecto terrestre, 10% del tiempo

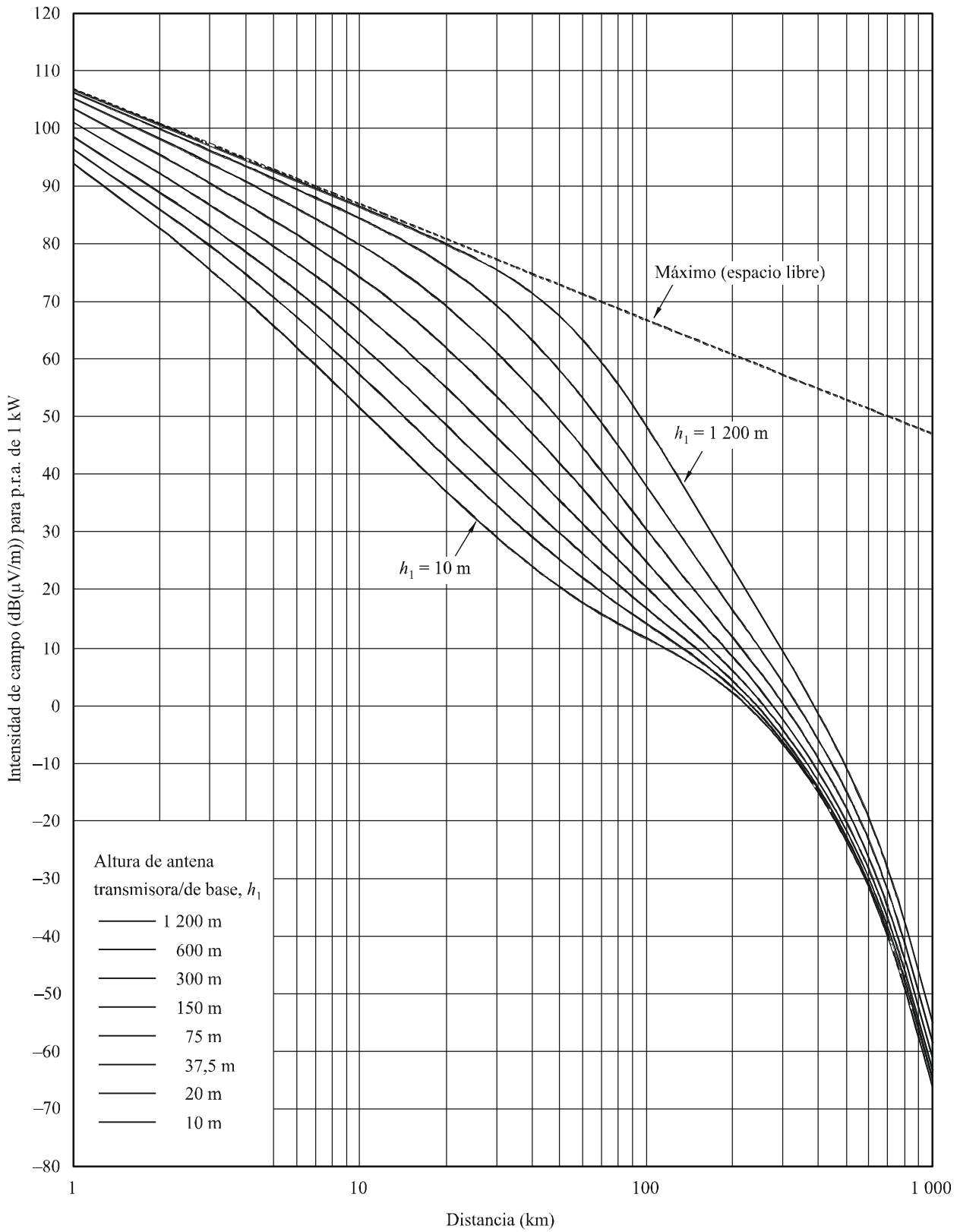


50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

FIGURA 19

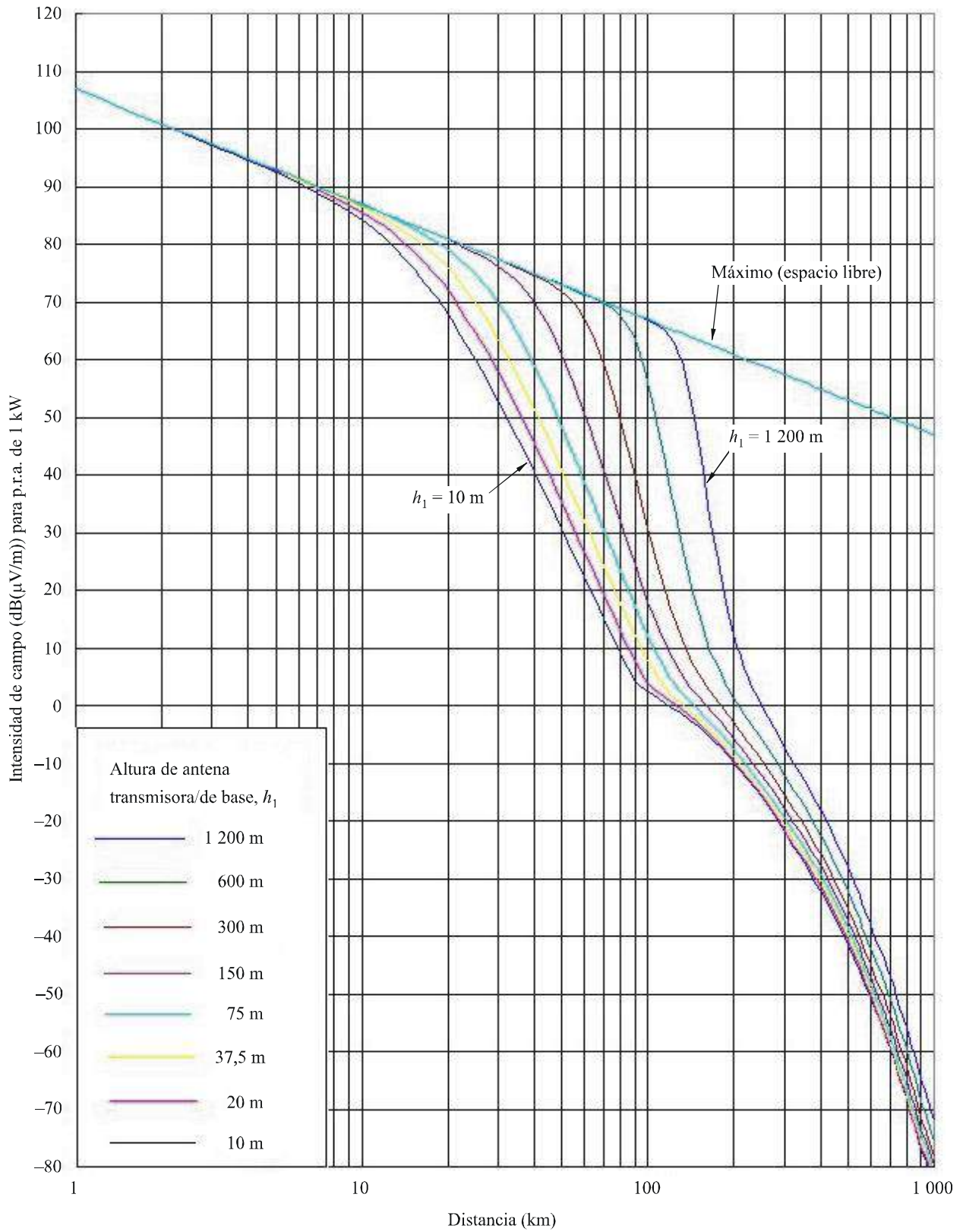
2 000 MHz, trayecto terrestre, 1% del tiempo



50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

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

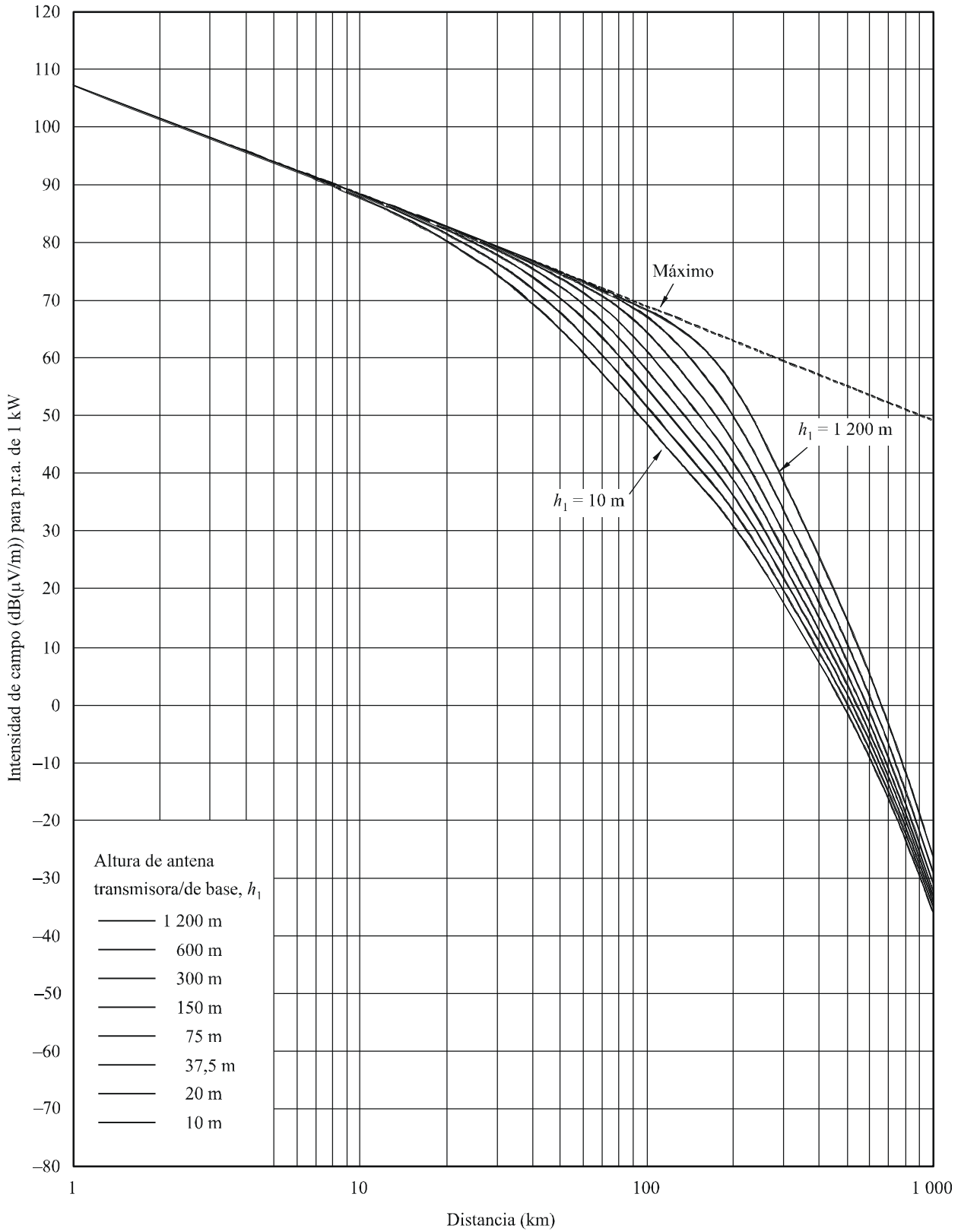


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$ m

FIGURA 21

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

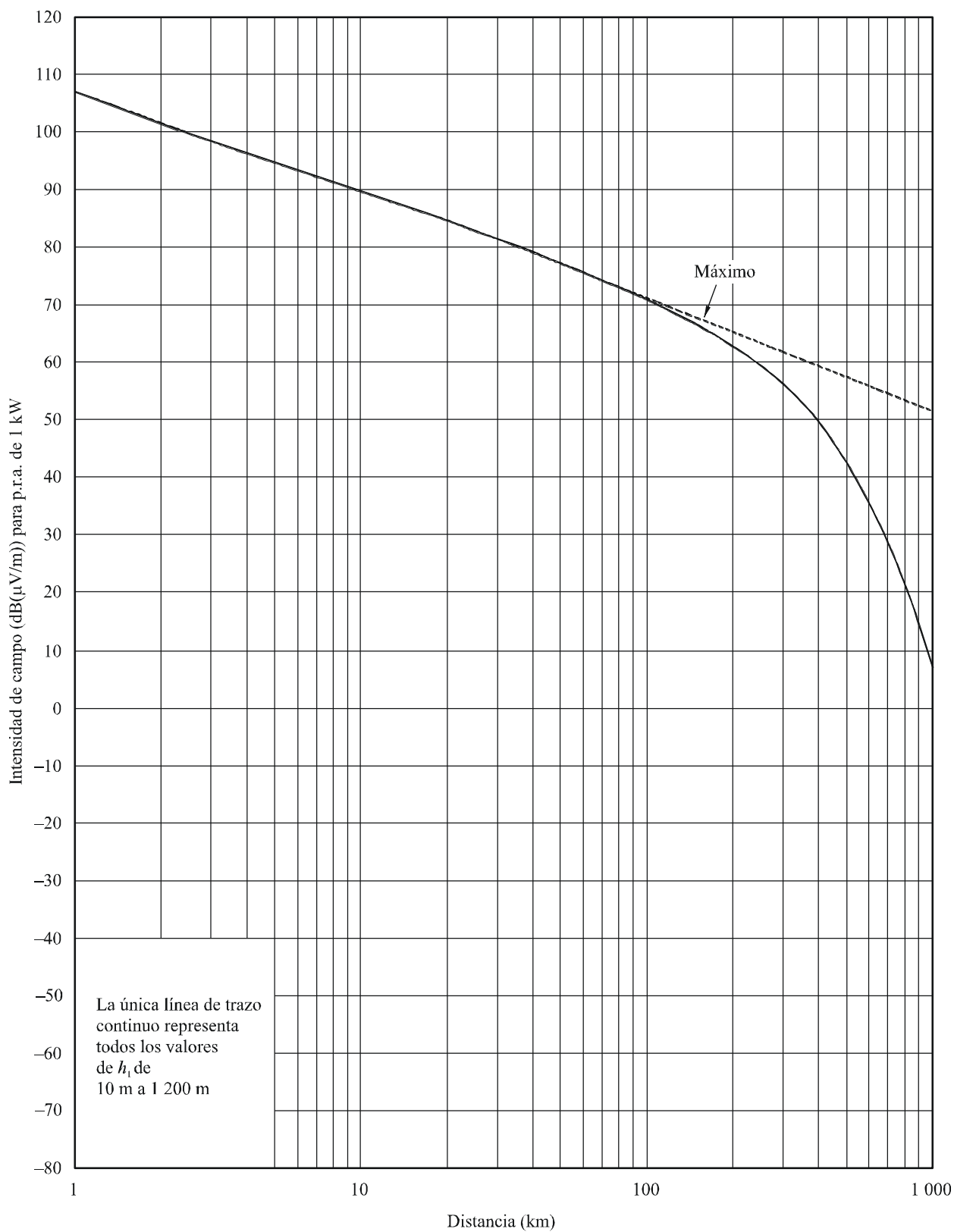


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10\ m$

FIGURA 22

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

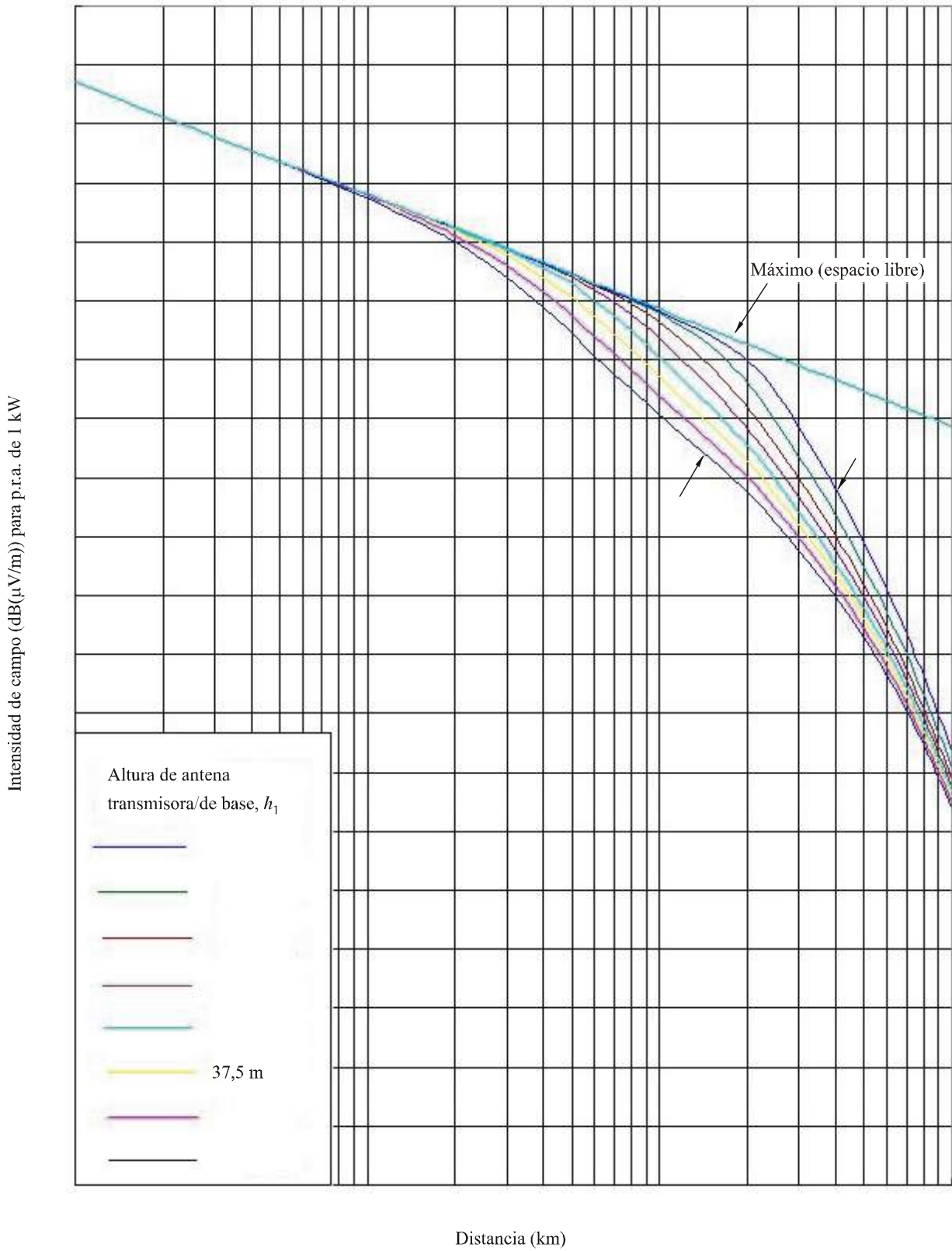


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$ m

FIGURA 23

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

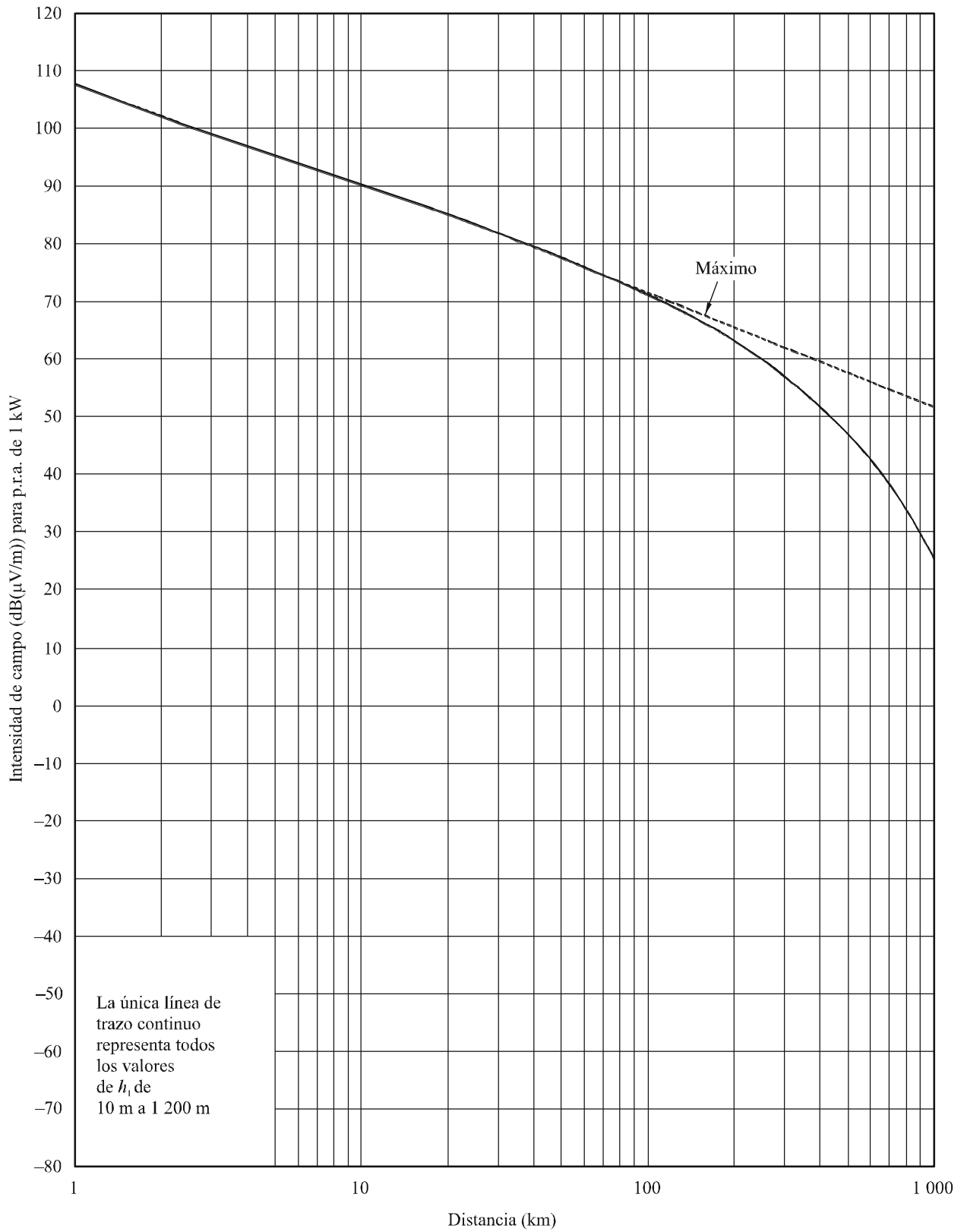


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$ 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, aunque no necesariamente en el orden de cálculo. El Anexo 6 contiene la descripción paso a paso del método global que debe seguirse.

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 14 se describen las correcciones que deben introducirse en las predicciones de la intensidad de campo para lograr una mayor precisión. El § 15 describe el método para trayectos inferiores a 1 km. En los § 16 a 18 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. 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, o en esos mismos niveles, el terminal que tenga la mayor altura sobre el suelo se considerará como estación transmisora/de base.
- 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, o en ese mismo nivel, el terminal abierto/sin obstáculo se considerará como estación transmisora/de base.
- 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.

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.

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. Se señala que es posible que, utilizando este método para determinar h_1 , se produzca un comportamiento no monótono en la intensidad de campo predicha con la distancia, hasta una distancia de 15 km. Si bien esta situación puede producirse en la realidad, puede ser un comportamiento no deseable del modelo para determinadas aplicaciones. Por consiguiente, si se debe evitar un comportamiento no monótono, el valor de h_1 se debe fijar como valor representativo para estos casos.

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 3 000 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 1 200 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 $h_1 > 1\,200$ m, de no ser así, la altura efectiva nominal más cercana por debajo de h_1

h_{sup} : 1 200 m si $h_1 > 1\,200$ 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 $h_1 > 1\,200$ m deberá limitarse si fuese necesario de manera que no rebase el máximo definido en el § 2.

La presente Recomendación no es válida para $h_1 > 3\,000$ 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:

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

donde:

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

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

$C_{h1neg10}$ = 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(μ 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:

$$E = E_{m\acute{a}x} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{para} \quad d \leq D_{h1} \quad (11a)$$

$$= E_{D_{h1}} + (E_{D_{20}} - E_{D_{h1}}) \log(d / D_{h1}) / \log(D_{20} / D_{h1}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{para} \quad D_{h1} < d < D_{20} \quad (11b)$$

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

donde:

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

$E_{D_{h1}}$: $E_{m\acute{a}x}$ para la distancia de D_{h1} 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_{h1} que se calcula como sigue.

El efecto de pérdida por difracción se tiene en cuenta introduciendo un factor de corrección, C_{h1} , 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, θ_{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 θ_{tca} de la ecuación (32c) en el método de corrección del ángulo de despejamiento del terreno que figura en el § 11 para obtener C_{h1} . 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), θ_{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:

$$C_{h1} = 6,03 - J(v) \quad \text{dB} \quad (12)$$

donde:

$$J(v) = \left[6,9 + 20 \log \left(\sqrt{(v-0,1)^2 + 1} + v - 0,1 \right) \right] \quad \text{para } v > -0,7806 \quad (12a)$$

$$J(v) = 0 \quad \text{en cualquier otro caso} \quad (12b)$$

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

y

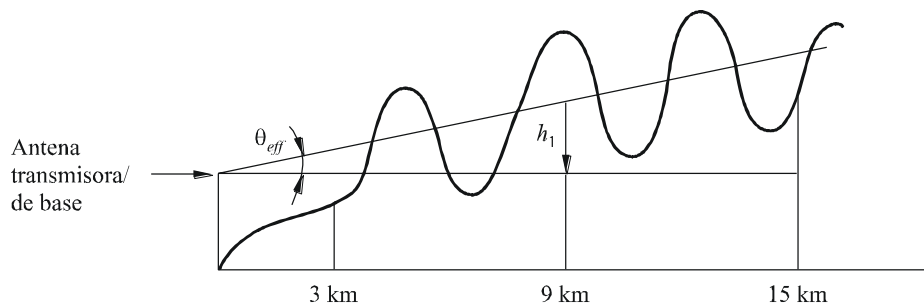
$$\theta_{eff2} = \arctg(-h_1/9\,000) \quad \text{grados} \quad (12d)$$

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

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

$$K_v = 6,00 \quad \text{para 2\,000 MHz}$$

FIGURA 25

Ángulo de despejamiento efectivo para $h_1 < 0$ 

θ_{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 1 000 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(μ 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 superiores a 1 000 km.

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:

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

donde:

- t : porcentaje de tiempo para el que se requiere la predicción
- t_{inf} : porcentaje de tiempo nominal inferior
- t_{sup} : 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} : valor de la intensidad de campo para el porcentaje de tiempo t_{inf}
- E_{sup} : valor de la intensidad de campo para el porcentaje de tiempo t_{sup}

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 § 16 aparece una aproximación a la función $Q_i(x)$.

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

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/de base para la altura, R_2 , representativa de los obstáculos en la antena receptora/móvil 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 , dado por:

$$A = A_0 (F_{sea})^V \quad (18)$$

donde F_{sea} es la fracción del trayecto sobre el mar y $A_0 (F_{sea})$ es el factor de interpolación básico mostrado en la Fig. 26 y que viene dado por:

$$A_0 (F_{sea}) = 1 - (1 - F_{sea})^{2/3} \quad (19)$$

y V se calcula mediante la expresión:

$$V = \max \left[1.0, 1.0 + \frac{\Delta}{40.0} \right] \quad (20)$$

siendo:

$$\Delta = E_{sea}(d_{total}) - E_{land}(d_{total}) \quad (21)$$

Lo que sigue hasta la ecuación 26 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. 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 7, 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:

$$E = \sum_i \frac{d_i}{d_{total}} E_i(d_{total}) \quad (22)$$

donde:

E : intensidad de campo para el trayecto mixto (dB(μV/m))

$E_i(d_{total})$: intensidad de campo para el trayecto en la zona i cuya longitud es igual al trayecto mixto (dB(μV/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 (22);
- 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:

$$E = (1 - A) \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_l} d_i E_{land,i}}{d_{lT}} + A \cdot \frac{\sum_{j=1}^{n_s} d_j E_{sea,j}}{d_{sT}} \quad (23)$$

donde:

E : intensidad de campo para el trayecto mixto (dB(μV/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(μV/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(μV/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_{lT} : 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 = $d_{lT} + d_{sT}$.

8.1 El factor de interpolación del trayecto mixto aplicable al método aprobado por la CRR-06

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:

$$d_{sT} = \sum_{n=1}^{N_s} d_{sn} : \text{ la longitud total de los trayectos marítimos y costeros recorridos} \quad (24a)$$

$$d_{lT} = \sum_{m=1}^{M_l} d_{lm} : \text{ la longitud total de los trayectos terrestres recorridos} \quad (24b)$$

$$d_{total} = d_{sT} + d_{lT} : \text{ la longitud del trayecto de propagación total.} \quad (24c)$$

Se necesitan los siguientes valores de intensidad de campo:

- $E_{sn}(d_{total})$: valor de intensidad de campo (dB(μ V/m)) para la distancia d_{total} , suponiendo que se trata de zonas marítimas o costeras del tipo n
- $E_{lm}(d_{total})$: valor de intensidad de campo (dB(μ V/m)) para la distancia d_{total} , suponiendo que se trata de zonas terrestres del tipo m .

El factor de interpolación¹, A , viene dado por las ecuaciones (18)-(20), pero con la fracción de trayecto sobre el mar, F_{sea} , utilizada en la Fig. 26 y en la ecuación (18), dada por:

$$F_{sea} = \frac{d_{sT}}{d_{total}} \quad (25)$$

y Δ , utilizada en la ecuación (20) se expresa como sigue:

$$\Delta = \sum_{n=1}^{N_s} E_{sn}(d_{total}) \frac{d_{sn}}{d_{sT}} - \sum_{m=1}^{M_l} E_{lm}(d_{total}) \frac{d_{lm}}{d_{lT}} \quad (26)$$

¹ 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:

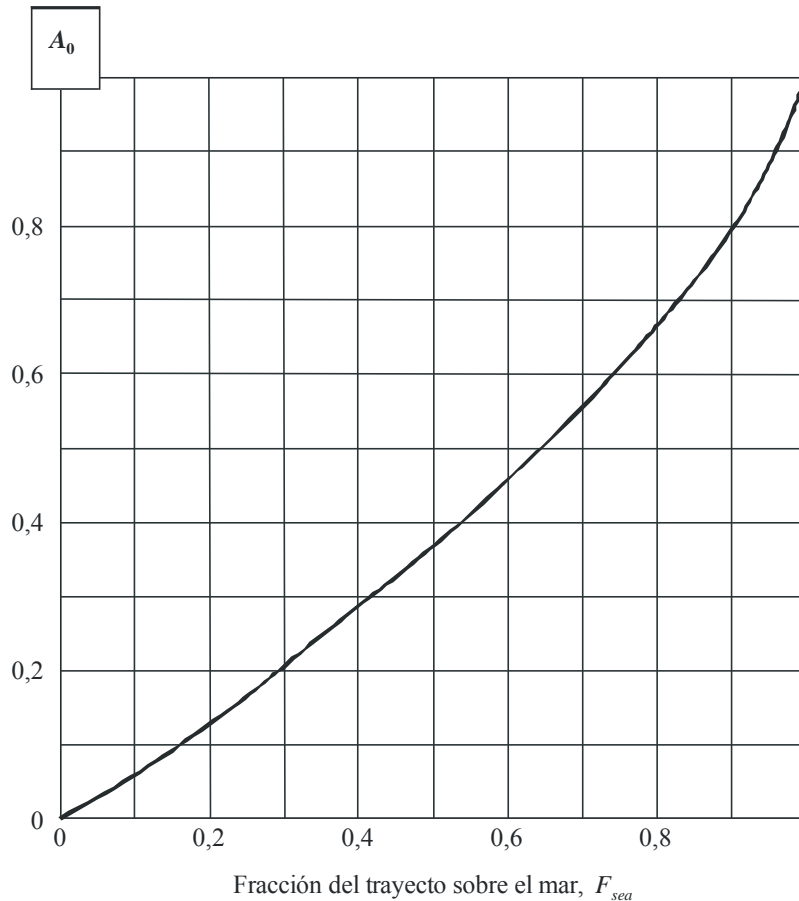
- trayectos terrestres-marítimos
- trayectos terrestres-costeros
- trayectos terrestres-(marítimos + costeros)

y no a:

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

La Fig. 26 muestra $A_0(F_{sea})$, que es aplicable para todos los porcentajes de tiempo.

FIGURA 26
Factor de interpolación básico, A_0 , para propagación mixta



1546-26

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

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 antena receptora/móvil de referencia, la altura de la ocupación del terreno que rodea a la antena receptora/móvil con una altura igual al mayor valor entre R_2 y 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_2 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_2' , dada por:

$$R_2' = (1\,000\,d\,R_2 - 15\,h_1) / (1\,000\,d - 15) \quad \text{m} \quad (27)$$

donde h_1 y R_2 se expresan en metros y la distancia horizontal d en km. La altura del obstáculo representativa R_2' se calcula de tal forma que representa el punto de referencia de la altura de un receptor situado a 15 m tras la incidencia rasante del rayo sobre el obstáculo desde el transmisor.

La altura representativa R_2' representa una altura de referencia a la cual un receptor encontraría una incidencia rasante ($v = 0$).

Véase que para $h_1 < 6,5d + R_2$, $R_2' \approx R_2$.

Si es necesario, habrá que limitar el valor de R_2' de manera que no sea inferior a 1 m.

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

$$\text{Corrección} = 6,03 - J(v) \quad \text{dB} \quad \text{para } h_2 < R_2' \quad (28a)$$

$$= K_{h_2} \log(h_2 / R_2') \quad \text{dB} \quad \text{para } h_2 \geq R_2' \quad (28b)$$

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

y:

$$v = K_{nu} \sqrt{h_{dif} \theta_{clut}} \quad (28c)$$

$$h_{dif} = R' - h_2 \quad \text{m} \quad (28d)$$

$$\theta_{clut} = \arctg(h_{dif} / 27) \quad \text{grados} \quad (28e)$$

$$K_{h_2} = 3,2 + 6,2 \log(f) \quad (28f)$$

$$K_{nu} = 0,0108 \sqrt{f} \quad (28g)$$

f : frecuencia (MHz).

Cuando se trata de un entorno urbano en el que R_2' es inferior a 10 m, la corrección dada por la ecuación (28a) o (28b) debe reducirse a $K_{h_2} \log(10/R_2')$.

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_2' 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 (28b) con R_2' 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 § 18 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 § 18.

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 (28b) con R_2' 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:

$$\text{Corrección} = 0,0 \quad \text{dB} \quad \text{para } d \leq d_{h_2} \quad (29a)$$

$$= (C_{10}) \log(d / d_{h_2}) / \log(d_{10} / d_{h_2}) \quad \text{dB} \quad \text{para } d_{h_2} < d < d_{10} \quad (29b)$$

donde:

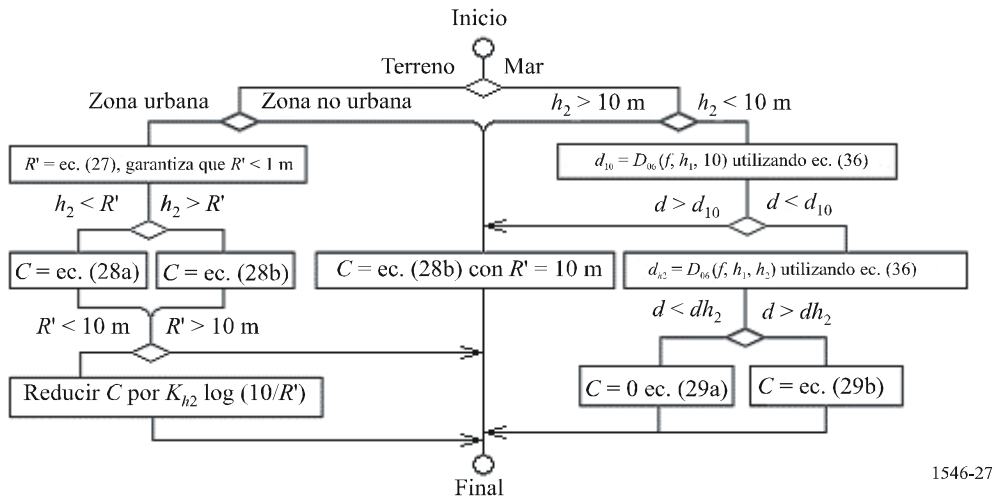
- C_{10} : corrección para el valor requerido de h_2 a distancia d_{10} utilizando la ecuación (28b) con R_2' fijada a 10 m
- d_{10} : distancia a la que el trayecto tiene justamente un despejamiento del 0,6 de la primera zona de Fresnel para $h_2 = 10$ m calculada como $D_{06}(f, h_1, 10)$ según se indica en el § 18
- 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 § 18.

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 el transmisor con obstáculos

Esta corrección se aplica cuando el terminal transmisor/de base se encuentra en un terreno con obstáculos o adyacente al mismo. La corrección debe utilizarse en todos los casos, incluso cuando la antena se halla por encima de la altura del obstáculo. La corrección es cero cuando el terminal se encuentra más alto que una altura libre de obstáculos dependiente de la frecuencia por encima del obstáculo.

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

donde $J(v)$ viene dado por la ecuación (12a) o (12b),

y:

$$v = K_{nu} \sqrt{h_{dif1} \theta_{clut1}} \quad \text{para } R_1 \geq h_a \quad (30b)$$

$$= -K_{nu} \sqrt{h_{dif1} \theta_{clut1}} \quad \text{en cualquier otro caso} \quad (30c)$$

$$h_{dif1} = h_a - R_1 \quad \text{m} \quad (30d)$$

$$\theta_{clut1} = \arctan(h_{dif1} / 27) \quad \text{grados} \quad (30e)$$

$$K_{nu} = 0,0108 \sqrt{f} \quad (30f)$$

f : frecuencia (MHz).

R_1 es la altura del obstáculo, m sobre el suelo, en las proximidades del terminal transmisor/de base.

11 Corrección debida al ángulo libre de obstáculos 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 libre de obstáculos del terreno θ_{tca} viene dado por:

$$\theta_{tca} = \theta \quad \text{grados} \quad (31)$$

donde θ 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 θ no se debe tener en cuenta la curvatura de la Tierra. El valor de θ_{tca} 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 libre de obstáculos del terreno, la corrección de la intensidad de campo que se debe efectuar se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$\text{Corrección} = J(v') - J(v) \quad \text{dB} \quad (32a)$$

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

$$v' = 0,036 \sqrt{f} \quad (32b)$$

$$v = 0,065 \theta_{tca} \sqrt{f} \quad (32c)$$

θ_{tca} : ángulo libre de obstáculos 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 libre de obstáculos 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 libre de obstáculos 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:

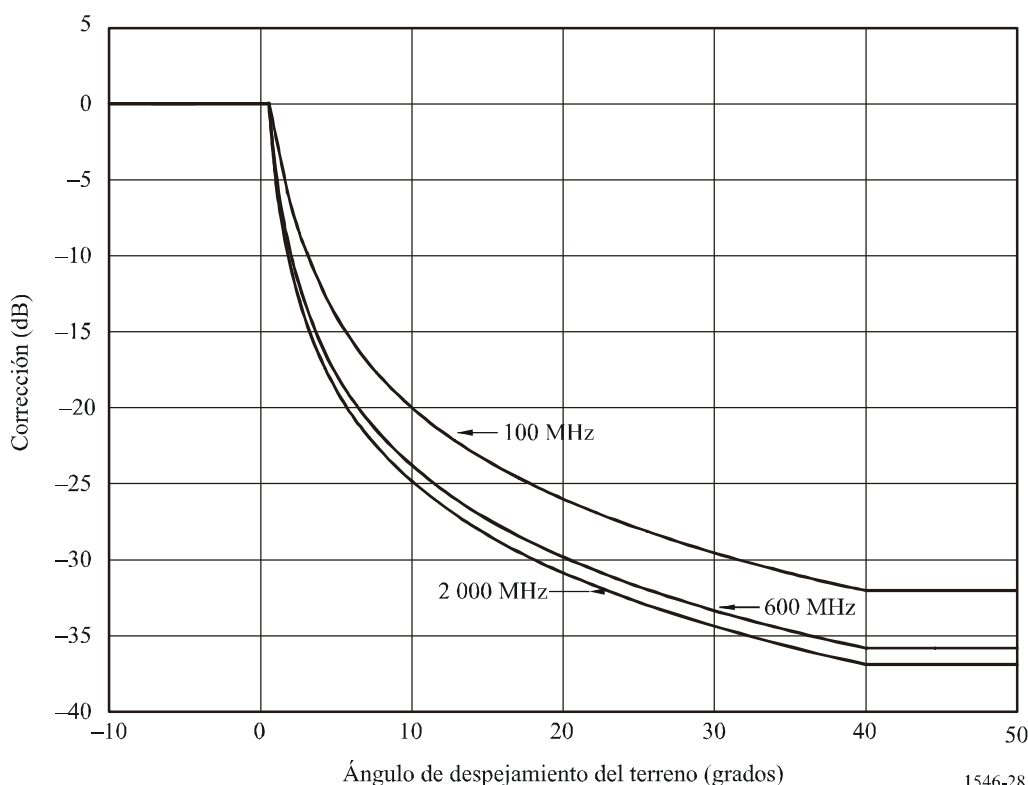
Variaciones debidas a la propagación por trayectos múltiples: Se producirán variaciones de la señal en recorridos del orden de una longitud de onda debido a la adición de los fasores correspondientes a trayectos múltiples, como por ejemplo las reflexiones en el suelo, en edificios, etc. Las estadísticas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

FIGURA 28

Ángulo de despejamiento del terreno (grados)



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:

$$E(q) = E(\text{mediana}) + Q_i(q / 100) \sigma_L(f) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (33)$$

donde:

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

σ_L : desviación típica de la distribución gaussiana de las medias locales en la zona en estudio.

En el § 16 figura una aproximación a la función $Q_i(x)$.

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:

$$\sigma_L = K + 1,3 \log(f) \quad \text{dB} \quad (34)$$

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 σ_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%. Los valores indicados anteriormente no son válidos para distancias inferiores a 1 km.

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 Valor límite del campo debido a 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 estimación del campo debido a la dispersión troposférica con el siguiente procedimiento. Esta estimación puede utilizarse como un límite de la predicción global de la intensidad de campo (véase el Anexo 6, Paso 13).

Se determina el ángulo de dispersión del trayecto en grados, θ_s , mediante:

$$\theta_s = \frac{180d}{\pi ka} + \theta_{eff} + \theta \quad \text{grados} \quad (35)$$

donde:

θ_{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.

θ : 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 θ_s es menor que cero, se fija θ_s a cero.

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

$$E_{ts} = 24,4 - 20 \log(d) - 10 \theta_s - L_f + 0,15 N_0 + G_t \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (36)$$

donde:

L_f : pérdida en función de la frecuencia

$$= 5 \log(f) - 2,5 [\log(f) - 3,3]^2 \quad (36a)$$

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

$$= 10,1[-\log(0,02t)]^{0,7} \quad (36b)$$

d : longitud del trayecto o distancia requerida, en km

f : frecuencia requerida, en MHz

t : porcentaje de tiempo necesario.

14 Diferencia de altura de antena

Es preciso introducir una corrección para tener en cuenta la diferencia de altura entre dos antenas. Esta corrección se determina como sigue:

$$\text{Corrección} = 20 \log \left(\frac{d}{d_{slope}} \right) \quad \text{dB} \quad (37)$$

Donde d es la distancia horizontal y la pendiente, d_{slope} , se calcula así:

Cuando se dispone de información sobre el terreno:

$$d_{slope} = \sqrt{d^2 + 10^{-6} [(h_a + h_{ter}) - (h_2 + h_{rter})]^2} \quad \text{km} \quad (37a)$$

Cuando no se dispone de información sobre el terreno:

$$d_{slope} = \sqrt{d^2 + 10^{-6}(h_a - h_2)^2} \quad \text{km} \quad (37b)$$

y h_{ttr} y h_{rtr} son las alturas del terreno en metros sobre el nivel del mar en los terminales del transmisor/estación de base y receptor/móvil, respectivamente.

La geometría de hipotenusa implicada en la ecuación (37a) no es realista para trayectos lo suficientemente largos como para que la curvatura de la Tierra sea significativa, pero para tales trayectos de gran longitud el error asociado es despreciable. Aunque la corrección dada por la ecuación (37) es muy pequeña excepto para trayectos cortos y valores elevados de h_1 , se recomienda utilizarla en todos los casos para evitar tomar una decisión arbitraria respecto a la precisión.

15 Distancias inferiores a 1 km

Los § 1 a 14 describen el método para obtener intensidades de campo a partir de familias de curvas para distancias horizontales de 1 km a 1 000 km. Este proceso incluye interpolación o extrapolación y varias correcciones. Si la distancia horizontal requerida es de 1 km o superior, no es necesario realizar más cálculos.

Para trayectos inferiores a 1 km el modelo se amplía a distancias horizontales arbitrariamente cortas, como sigue:

Si la distancia horizontal es menor o igual a 0,04 km, la intensidad de campo es:

$$E = 106,9 - 20 \log(d_{slope}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (38a)$$

De no ser así

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(d_{slope}/d_{inf}) / \log(d_{sup}/d_{inf}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (38b)$$

Siendo:

d_{slope} : distancia en pendiente dada por la ecuación (37a) o (37b) para la distancia horizontal requerida d

d_{inf} : distancia en pendiente dada por la ecuación (37a) o (37b) para $d = 0,04$ km

d_{sup} : distancia en pendiente dada por la ecuación (37a) o (37b) para $d = 1$ km

E_{inf} : $106,9 - 20 \log(d_{inf})$

E_{sup} : intensidad de campo dada por los § 1 a 14 para $d = 1$ km.

Esta extensión a una distancia horizontal arbitrariamente corta se basa en la hipótesis de que cuando un trayecto disminuye su longitud por debajo de 1 km hay una mayor probabilidad de que exista un trayecto de menos pérdidas que pase en torno a los obstáculos en vez de sobre ellos. Para trayectos de distancias horizontales de 0,04 km o menos, se supone que existe una línea de visibilidad directa con un trayecto libre de obstáculos completo de Fresnel entre los terminales, y la intensidad de campo se calcula como el valor en espacio libre basado en la distancia en pendiente.

Si estas hipótesis no se ajustan al caso de corto alcance requerido, deben introducirse los ajustes apropiados para tener en cuenta los efectos tales como la propagación entre calles, la entrada en los edificios, las secciones del trayecto en el interior o los efectos del cuerpo humano.

Esta extensión a distancias cortas puede permitir que el trayecto tenga una inclinación más abrupta o sea incluso vertical si $h_a > h_2$. Es importante observar que la intensidad de campo prevista no tiene en cuenta el diagrama de radiación vertical de la antena transmisora/de base. La intensidad de campo corresponde a una p.r.a. de 1 kW en dirección de la radiación.

16 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 $0,01 \leq x \leq 0,99$:

$$Q_i(x) = T(x) - \xi(x) \quad \text{si } x \leq 0,5 \quad (39a)$$

$$Q_i(x) = - \{ T(1-x) - \xi(1-x) \} \quad \text{si } x > 0,5 \quad (39b)$$

donde:

$$T(x) = \sqrt{[-2 \ln(x)]} \quad (39c)$$

$$\xi(x) = \frac{[(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x)] + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2) \cdot T(x) + D_1] \cdot T(x) + 1} \quad (39d)$$

$$C_0 = 2,515517$$

$$C_1 = 0,802853$$

$$C_2 = 0,010328$$

$$D_1 = 1,432788$$

$$D_2 = 0,189269$$

$$D_3 = 0,001308$$

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

CUADRO 3

Valores aproximados de la distribución normal acumulativa complementaria inversa

q%	$Q_i (q/100)$	q%	$Q_i (q/100)$	q%	$Q_i (q/100)$	q%	$Q_i (q/100)$
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

CUADRO 3 (Fin)

q%	$Q_i (q/100)$	q%	$Q_i (q/100)$	q%	$Q_i (q/100)$	q%	$Q_i (q/100)$
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		

17 Pérdida básica de transmisión equivalente

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

$$L_b = 139,3 - E + 20 \log f \quad \text{dB} \quad (40)$$

donde:

- L_b : pérdida básica de transmisión (dB)
- E : intensidad de campo (dB(μV/m)) para una p.r.a. de 1 kW
- f : frecuencia (MHz).

18 Aproximación a la longitud del trayecto libre de obstáculos del 0,6 de la zona de Fresnel

La longitud del trayecto a la que se alcanza justamente un trayecto libre de obstáculos 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:

$$D_{06} = \frac{D_f \cdot D_h}{D_f + D_h} \quad \text{km} \quad (41)$$

donde:

$$D_f: \text{ término dependiente de la frecuencia} \\ = 0,0000389 f h_1 h_2 \quad \text{km} \quad (41a)$$

$$D_h: \text{ término asintótico definido por distancias al horizonte} \\ = 4,1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad \text{km} \quad (41b)$$

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 horizontal	No mayor de 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	Mayor que 1
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
R_1	m	Altura representativa del obstáculo (en torno al transmisor)	Ninguno
R_2	m	Altura representativa del obstáculo (en torno al receptor)	Ninguno
θ_{rca}	grados	Ángulo libre de obstáculos del terreno	0,55 a 40 grados
θ_{eff} θ_{eff1} θ_{eff2}	grados	Ángulos efectivos de despejamiento del terreno de la estación transmisora/de base. Anexo 5, § 9.	Han de ser positivos

Si la distancia horizontal requerida es de 0,04 km o interior, se empieza en el Paso 17. Si la distancia horizontal requerida es superior a 0,04 km e inferior a 1 km deben seguirse los Pasos 1 a 16 fijando el valor de d a 1 km, tras lo cual deben seguirse los restantes pasos fijando d al valor requerido. En caso contrario, deben seguirse todos los pasos ajustando d al valor requerido.

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_2 , 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_2 , 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, tomar el máximo entre los valores E y E_{ts} .

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: Si hay obstáculos alrededor del terminal transmisor/de base, incluso a una altura sobre el suelo inferior a la de la antena, se corrige su efecto utilizando el método del § 10 del Anexo 5.

Paso 16: Aplicar la corrección del trayecto oblicuo indicada en el § 14 del Anexo 5.

Paso 17: El § 15 del Anexo 5 presenta el método para trayectos inferiores a 1 km. Como se ha indicado inmediatamente antes del Paso 1 anterior, puede que sea necesario en primer lugar seguir los Pasos 1 a 16 para $d = 1$ km.

Paso 18: 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 19: 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:

$$E_{m\acute{a}x} = E_{fs} + d_s E_{se} / d_{total} \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (42)$$

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 20: Si es preciso, convertir la intensidad de campo en pérdida básica de transmisión equivalente para el trayecto utilizando el método indicado en el § 17 del Anexo 5.

Anexo 7

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:

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

$$\text{Para campos rebasados durante el 10\% del tiempo: } dN_0 = -141,9 \text{ unidades N/km} \quad (43b)$$

$$\text{Para campos rebasados durante el 1\% del tiempo: } dN_0 = -301,3 \text{ unidades N/km} \quad (43c)$$

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

$$\Delta N = dN_0 - dN \quad (44)$$

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 (43).

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

$$\delta E_{m\acute{a}x} = 0,007 (-301,3 - dN) \{1 - \exp(-d / 50)\} \exp(-d / 6\ 000) \quad \text{dB} \quad (45)$$

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:

$$K = 14,94 - 6,693 \times 10^{-6} (1\ 494 - \Delta N)^2 \quad \Delta N > 0 \quad (46a)$$

$$= 0,08 \Delta N \quad \Delta N \leq 0 \quad (46b)$$

Para la curva inferior de la familia que se ha de ajustar, es decir, para $h_1 = 10$ m, se añade un ajuste, δE_1 dado por:

$$\delta E_1 = K \{1 - \exp(-d / 50)\} \exp(-d / 6\ 000) \quad \text{dB} \quad (47)$$

Si es necesario, se ha de limitar el valor de δE_1 de la siguiente manera:

- δE_1 debe limitarse de forma que la intensidad de campo ajustada no rebase la intensidad de campo máxima ajustada.
- Si ΔN es superior a cero, δE_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 ΔN 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:

$$E'_n = E'_1 + (E_n - E_1)(E'_{max} - E'_1)/(E_{max} - E_1) \quad (48)$$

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.

Anexo 8

Comparación con el método Okumura-Hata

El método Okumura-Hata se formula como sigue:

$$E = 69,82 - 6,16 \log f + 13,82 \log H_1 + a(H_2) - (44,9 - 6,55 \log H_1) (\log d)^b \quad (49)$$

donde:

E : intensidad de campo (dB(μ 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, $R = 15$.