

RECOMENDACIÓN UIT-R P.1546

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

(2001)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

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

observando

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

recomienda

- 1 que se adopten los procedimientos indicados en los Anexos 1 a 6 para la predicción de punto a zona de la intensidad de campo en los servicios de radiodifusión, móvil terrestre y móvil marítimo así como determinados servicios fijos (por ejemplo, los que emplean sistemas punto a multipunto) en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 MHz y para distancias de 1 km a 1 000 km.

ANEXO 1

Introducción

1 Las curvas de propagación

Las curvas de propagación de los Anexos 2, 3 y 4 representan los valores de la intensidad de campo para una potencia radiada aparente (p.r.a.) de 1 kW a las frecuencias nominales de 100, 600 y 2000 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.

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.

6 Altura de la antena transmisora/de base

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

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

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

8 Variabilidad temporal

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

9 Método para trayectos mixtos

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

10 Altura de la antena receptora/móvil

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

11 Corrección debida al ángulo de despejamiento del terreno

Las intensidades de campo para los trayectos terrestres se pueden predecir con mayor exactitud teniendo en cuenta el terreno próximo a la antena receptora/móvil, si se dispone de los datos al respecto, mediante un ángulo de despejamiento del terreno. Una vez efectuado el cálculo correspondiente a un trayecto mixto, deberá aplicarse esta corrección si la antena receptora/móvil está situada junto a una sección terrestre del trayecto. En el § 10 del Anexo 5 se da más información sobre la corrección debida al ángulo de despejamiento del terreno.

12 Variabilidad con las ubicaciones

Las curvas de propagación representan los valores de intensidad de campo rebasados en el 50% de las ubicaciones dentro de un área cualquiera normalmente de 200 m por 200 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 § 11 del Anexo 5.

13 Pérdida básica de transmisión equivalente

En el § 13 del Anexo 5 se da un método de conversión de intensidad de campo correspondiente a una p.r.a. de 1 kW en la pérdida básica de transmisión equivalente.

14 Variabilidad del índice de refracción atmosférica

Es sabido que el valor mediano de la intensidad de campo varía según la región climatológica; los datos compilados en América del Norte y Europa Occidental, en condiciones climatológicas muy diversas, demuestran la posibilidad de establecer una correlación entre el valor mediano de las intensidades de campo observadas y el gradiente del índice de refracción en el primer kilómetro de la atmósfera sobre el nivel del suelo. Si ΔN se define como $(n_s - n_1) \times 10^6$, siendo n_s y n_1 los índices de refracción en la superficie del suelo a 1 km de altura respectivamente, para una atmósfera normal, tendremos $\Delta N \approx 40$; las curvas que dan las intensidades de campo rebasadas durante el 50% del tiempo se aplican a este caso. Si el valor medio de ΔN en una región dada es muy diferente de 40, para obtener el valor mediano de las intensidades de campo correspondientes a distancias mayores que el horizonte, hay que aplicar a las curvas un factor de corrección de 0,5 ($\Delta N - 40$) dB. Si se desconoce ΔN pero se poseen datos que permiten calcular el valor medio de N_s , siendo $N_s = (n_s - 1) \times 10^6$, se puede, por lo menos para las regiones templadas, aplicar otro factor de corrección, igual a 0,2 ($N_s - 310$) dB. Aun cuando hasta la fecha sólo se han establecido estos factores de corrección para las zonas geográficas anteriormente indicadas, pueden servir de indicación para correcciones que sea necesario efectuar en otras zonas geográficas distintas. Se desconoce hasta qué punto es correcto aplicar correcciones análogas a las curvas de intensidad de campo rebasada durante el 1% y el 10% del tiempo. Sin embargo, se cree que habrá que efectuar una corrección importante de los valores rebasados durante el 1% y el 10% del tiempo en las regiones en que predomina la superrefracción durante una parte apreciable del tiempo.

15 Compatibilidad con el método Okumura-Hata

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

16 Ecuaciones para el cálculo de las curvas de trayectos terrestres

El Anexo 8 da las ecuaciones y los coeficientes que se pueden utilizar para calcular las curvas de trayectos terrestres, incluida la interpolación de la altura h_1 de la antena transmisora/de base en la gama de 10 a 1 200 m.

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 200 m por 200 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 § 11 del Anexo 5. Los valores de la desviación típica, representativos de diferentes tipos de servicio, se indican en el Cuadro 1. Los sistemas digitales de banda ancha con una anchura de banda de 1,5 MHz como mínimo están menos sujetos a la variación con las ubicaciones dependiente de la frecuencia que los sistemas analógicos.

CUADRO 1

Desviación típica de la variación con las ubicaciones a 100 MHz

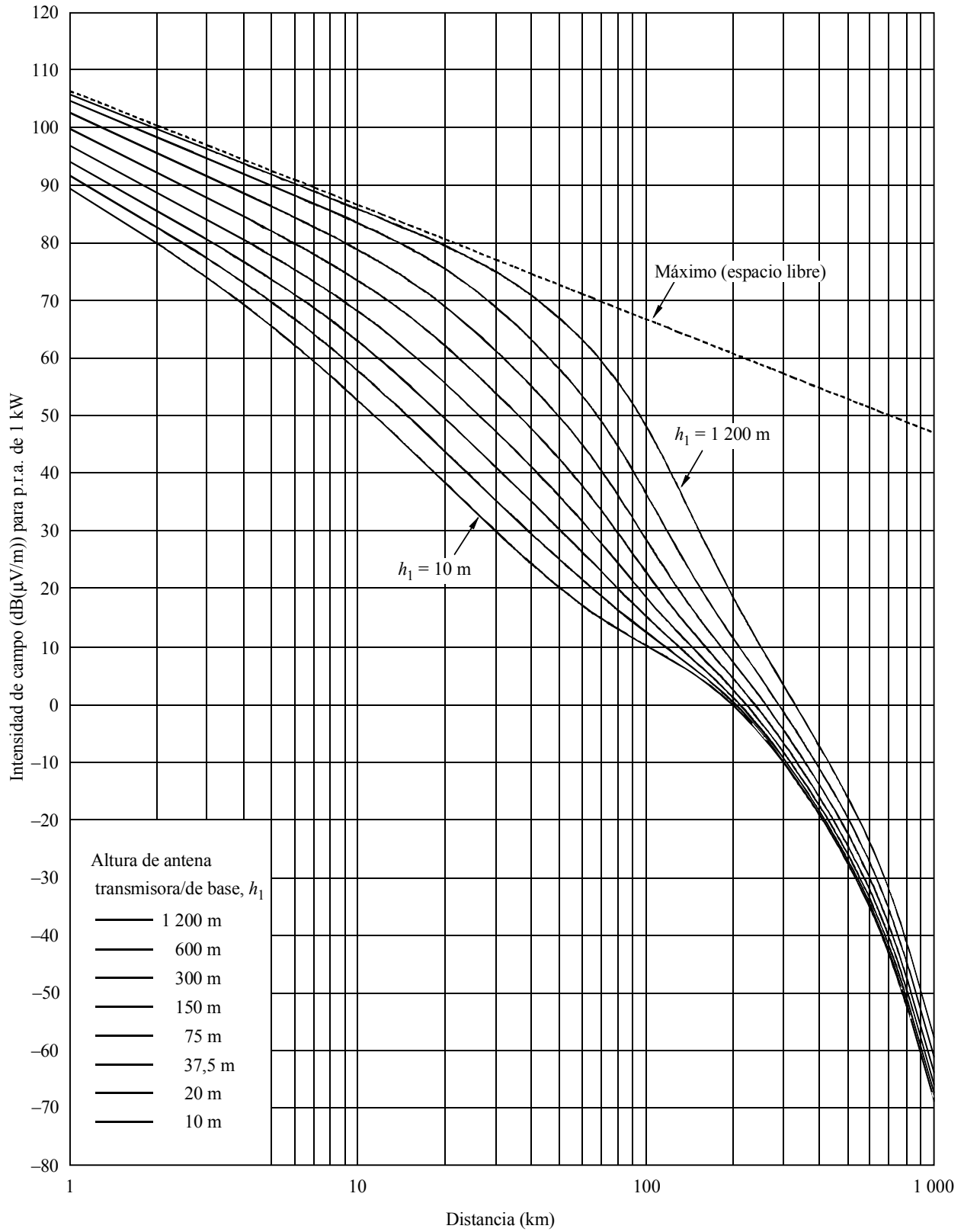
Servicios	Desviación típica (dB)
Radiodifusión, analógico	8,3
Radiodifusión, digital	5,5
Móvil, urbano	5,3
Móvil, suburbano, colinas onduladas	6,7

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

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

6 La ionosfera puede influir, principalmente por los efectos debidos a la ionización de la capa E esporádica, en la propagación en la parte inferior de las bandas de ondas métricas, en particular para las frecuencias inferiores a 90 MHz. En algunas circunstancias, este modo de propagación puede influir en la intensidad de campo, excedida durante pequeños porcentajes de tiempo, para distancias superiores a unos 500 km. Cerca del ecuador magnético y en la zona auroral, los porcentajes de tiempo pueden ser mayores. Es posible, no obstante, despreciar por lo general esos efectos ionosféricos en la mayor parte de las aplicaciones a las que se refiere esta Recomendación; las curvas del presente Anexo se han preparado en este supuesto. (La Recomendación UIT-R P.534 contiene algunas orientaciones respecto a la propagación por la capa E esporádica.)

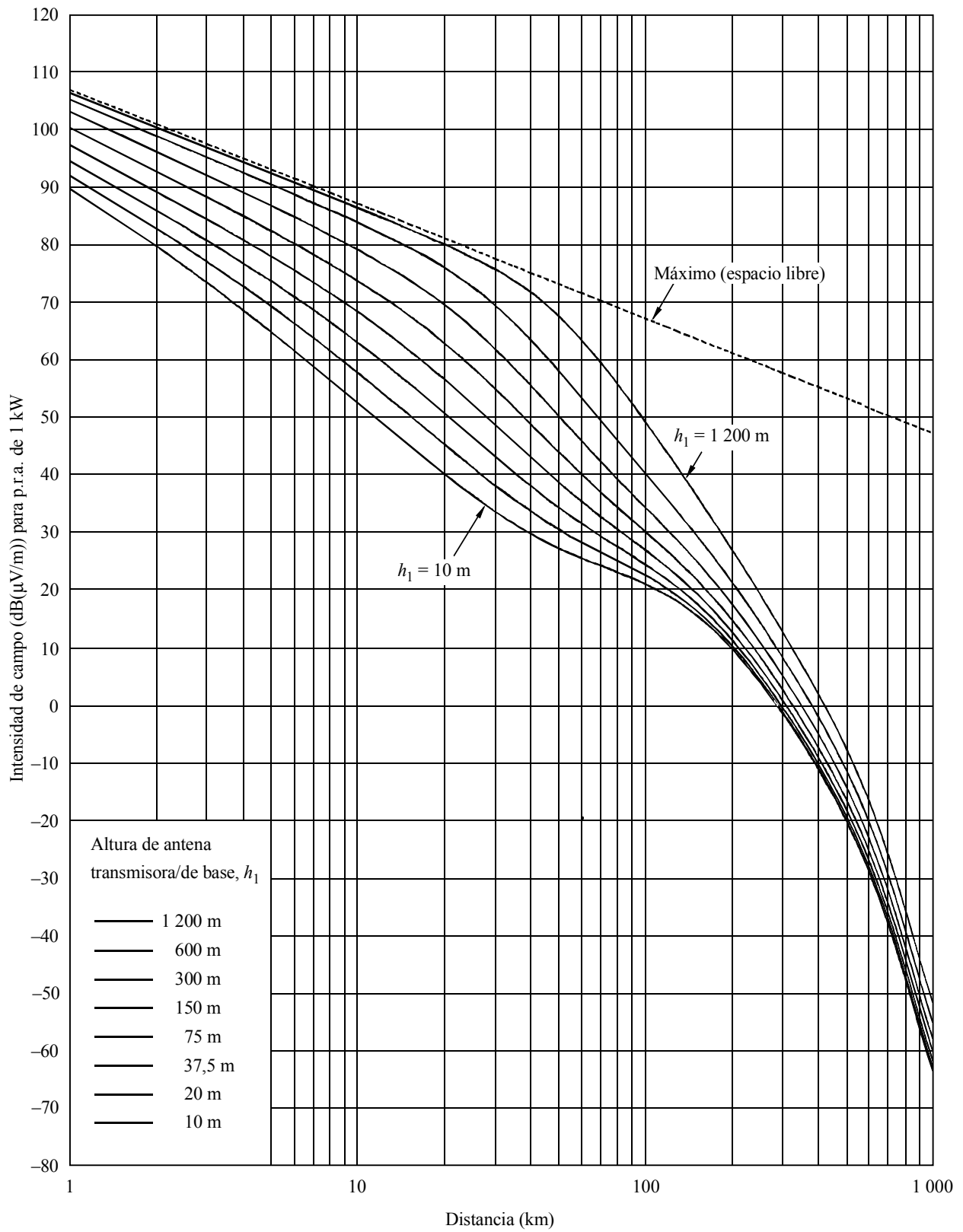
FIGURA 1
100 MHz, trayecto terrestre, 50% del tiempo



50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

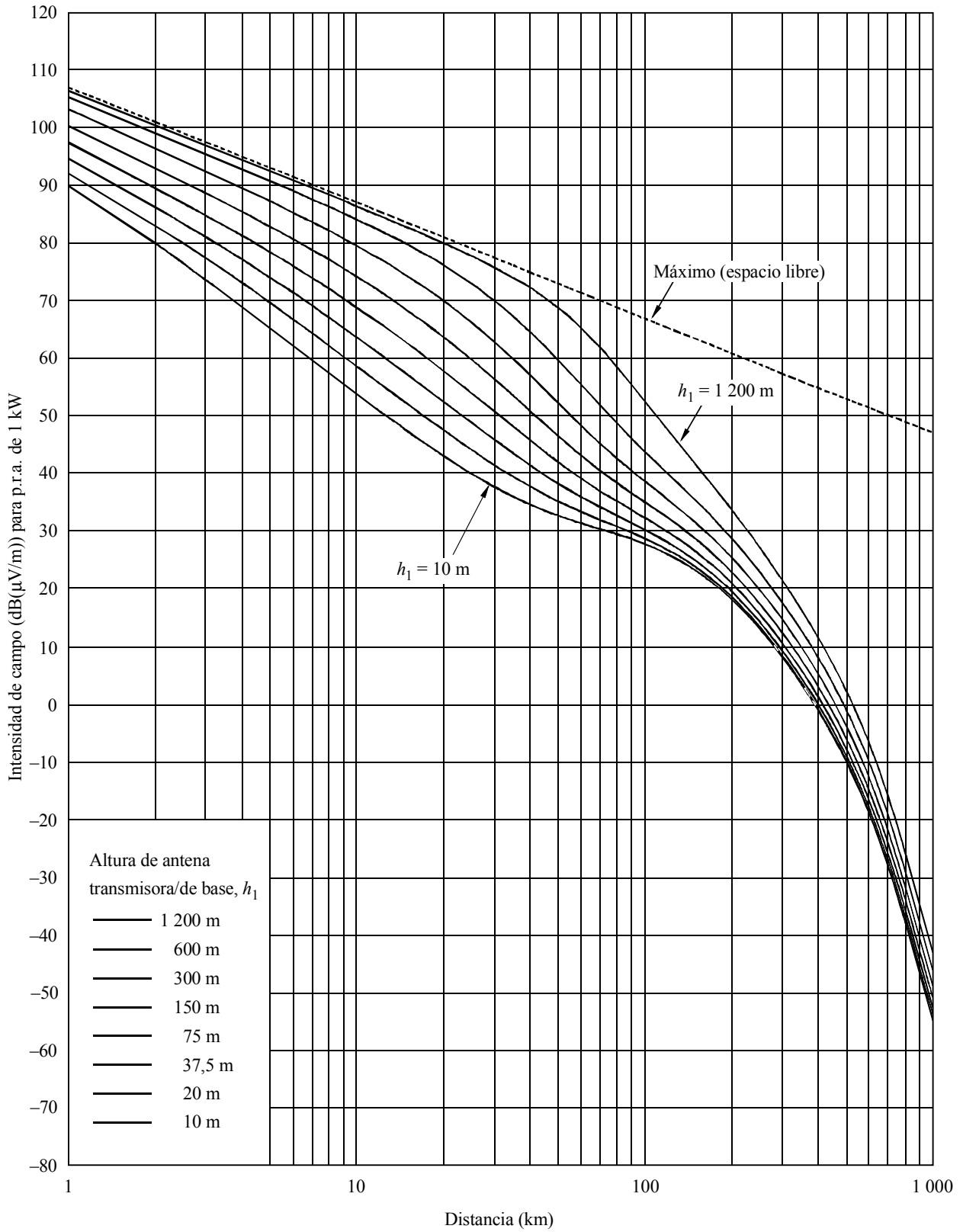
FIGURA 2
100 MHz, trayecto terrestre, 10% del tiempo



50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

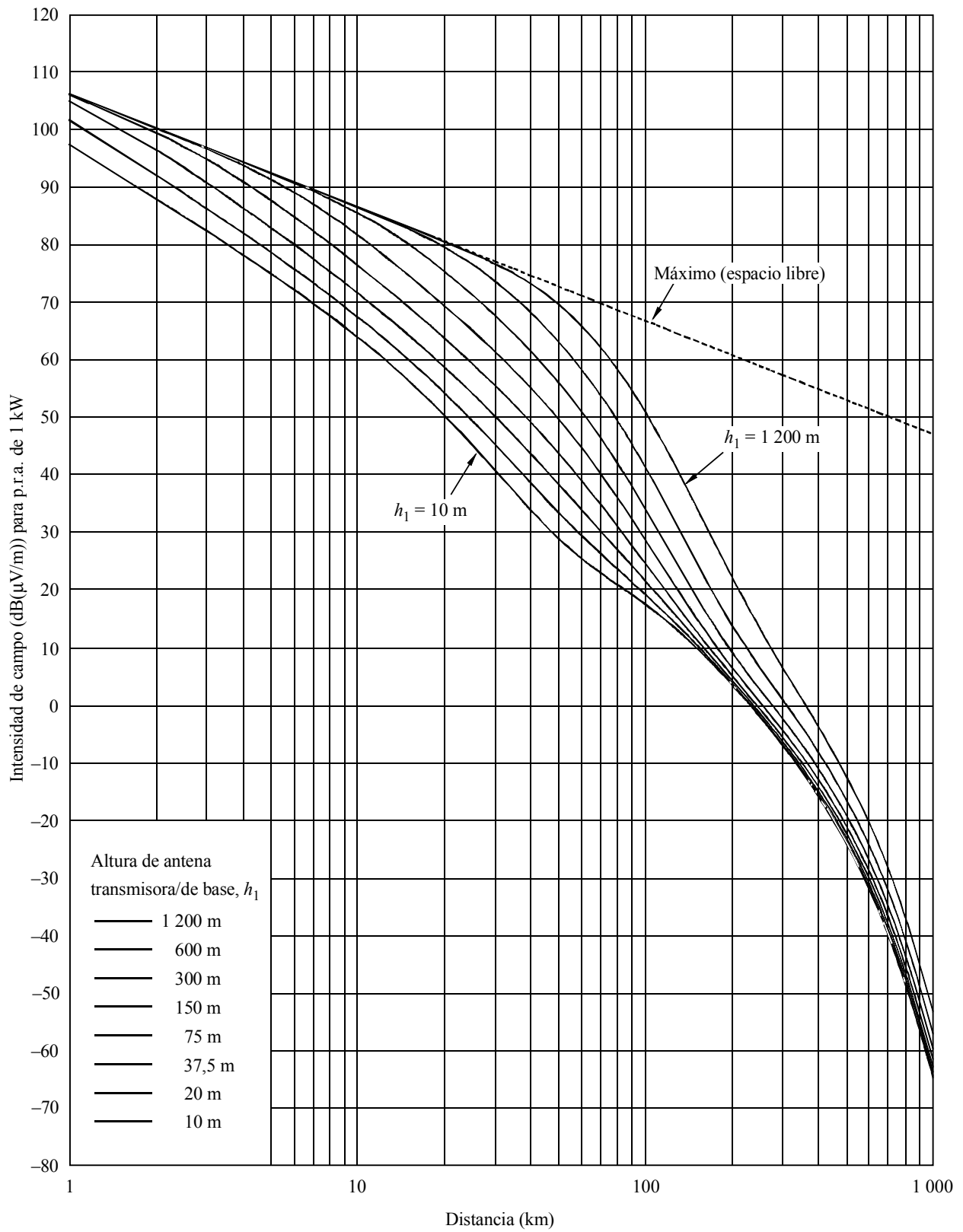
FIGURA 3
100 MHz, trayecto terrestre 1% del tiempo



50% de las ubicaciones

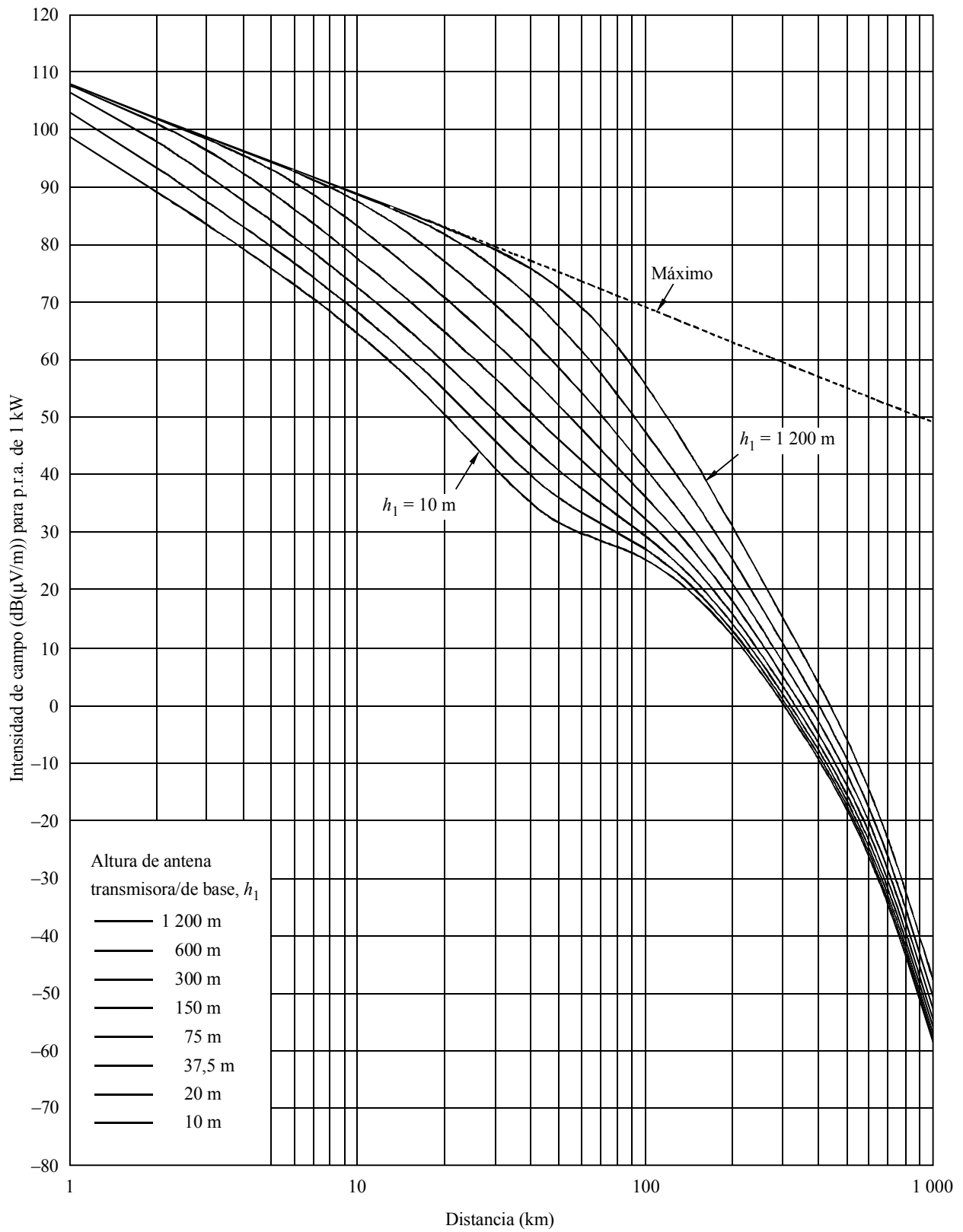
h_2 : altura representativa de los obstáculos

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



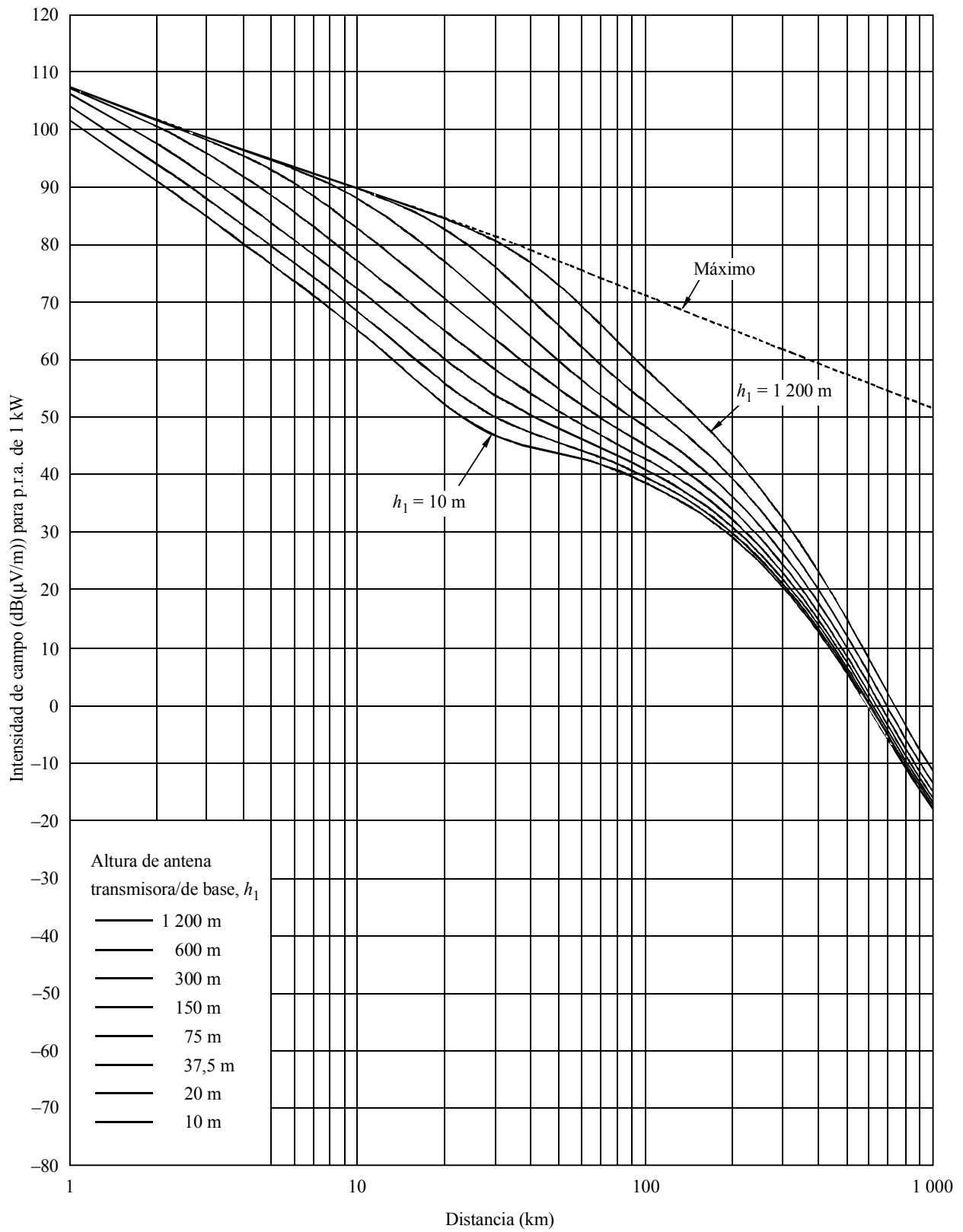
50% de las ubicaciones
 $h_2 = 10$ m

FIGURA 5
100 MHz, trayecto sobre mares fríos, 10% del tiempo



50% de las ubicaciones
 $h_2 = 10$ m

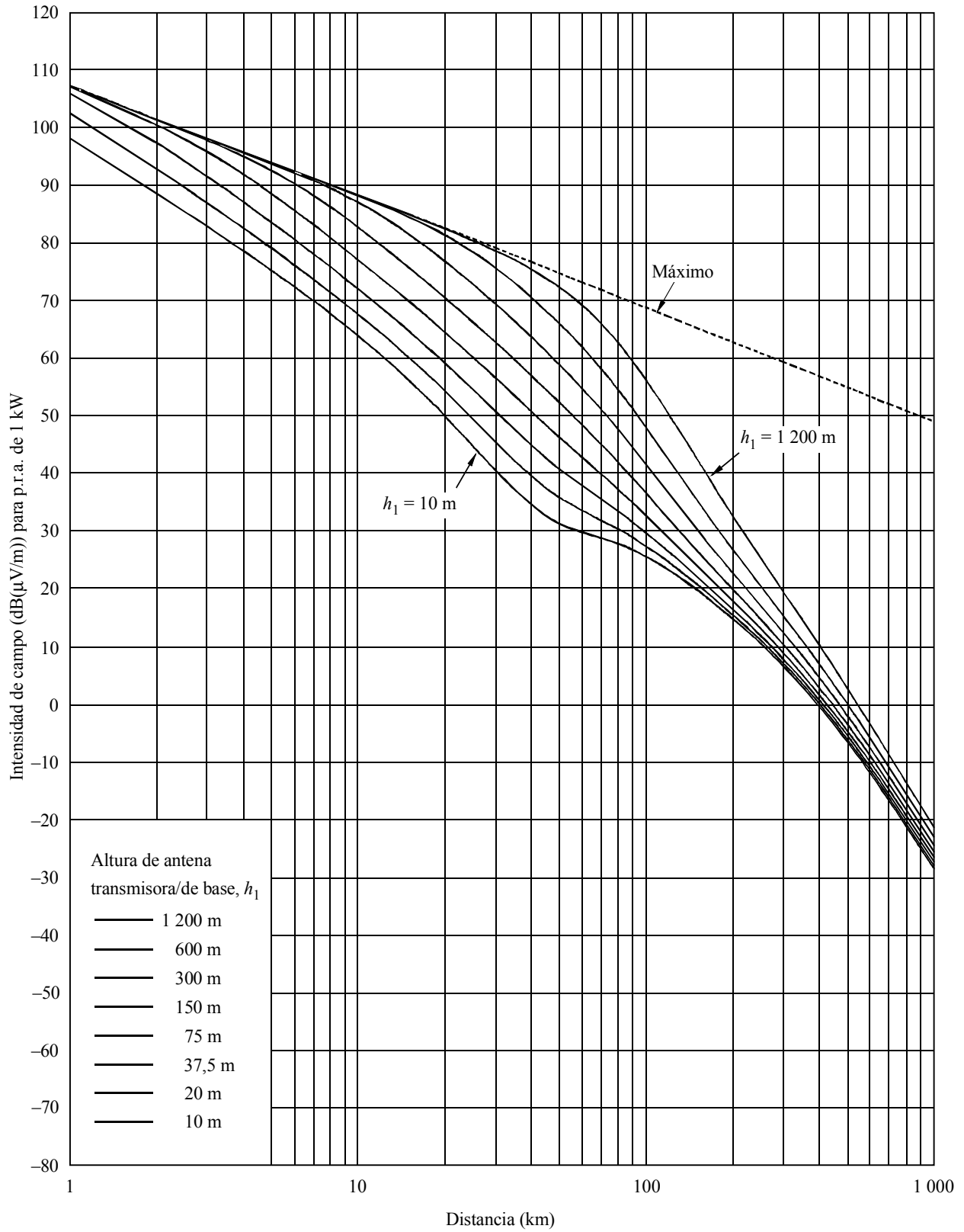
FIGURA 6
100 MHz, trayecto sobre mares fríos, 1% del tiempo



50% de las ubicaciones
 $h_2 = 10\ m$

FIGURA 7

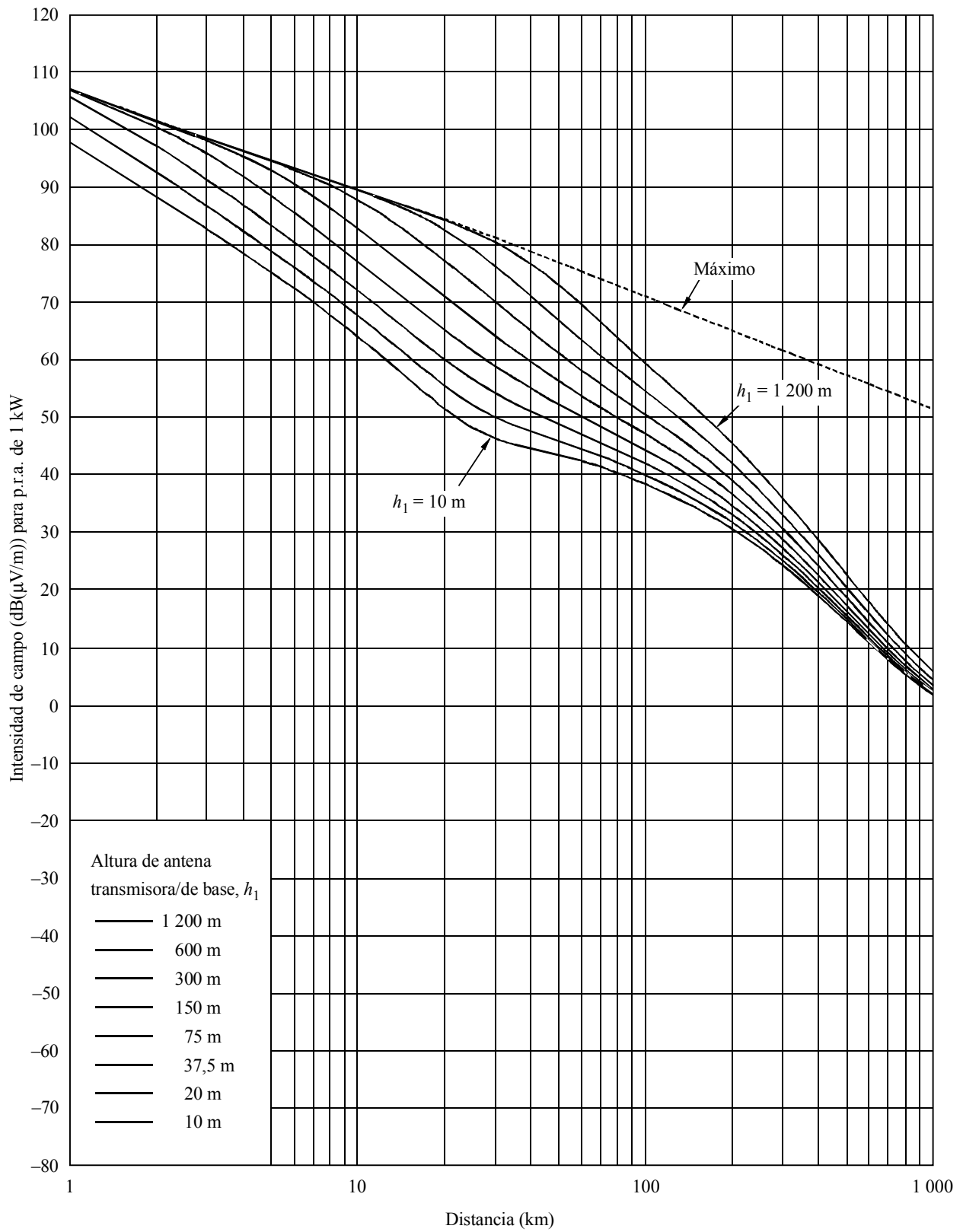
100 MHz, trayecto sobre mares cálidos, 10% del tiempo



50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$ m

FIGURA 8
100 MHz, trayecto sobre mares cálidos, 1% del tiempo



50% de las ubicaciones
 $h_2 = 10\ m$

ANEXO 3

Gama de frecuencias de 300 a 1 000 MHz

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

2 Las curvas de las Figs. 9 a 11 representan los valores de intensidad de campo rebasados en el 50% de las ubicaciones dentro de un área de aproximadamente 200 m por 200 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 § 11 del Anexo 5. Los valores de desviación típica, representativos de diferentes tipos de servicio, se indican en el Cuadro 2. Los sistemas digitales de banda ancha con una anchura de banda de 1,5 MHz como mínimo están menos sujetos a la variación con las ubicaciones dependiente de la frecuencia que los sistemas analógicos.

CUADRO 2

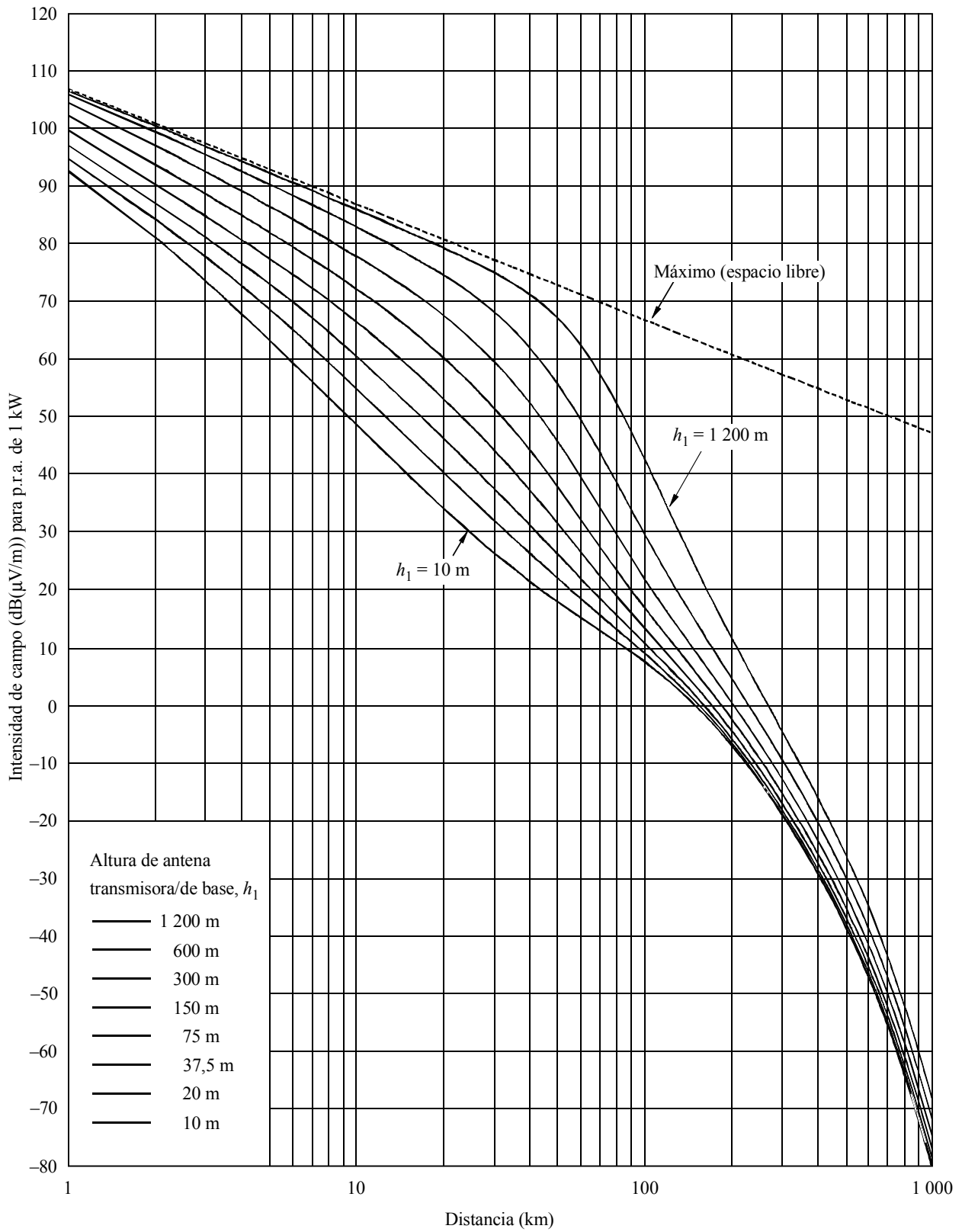
Desviación típica de la variación con las ubicaciones a 600 MHz

Servicio	Desviación típica (dB)
Radiodifusión, analógico	9,5
Radiodifusión, digital	5,5
Móvil, urbano	6,2
Móvil, suburbano, colinas onduladas	7,9

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

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

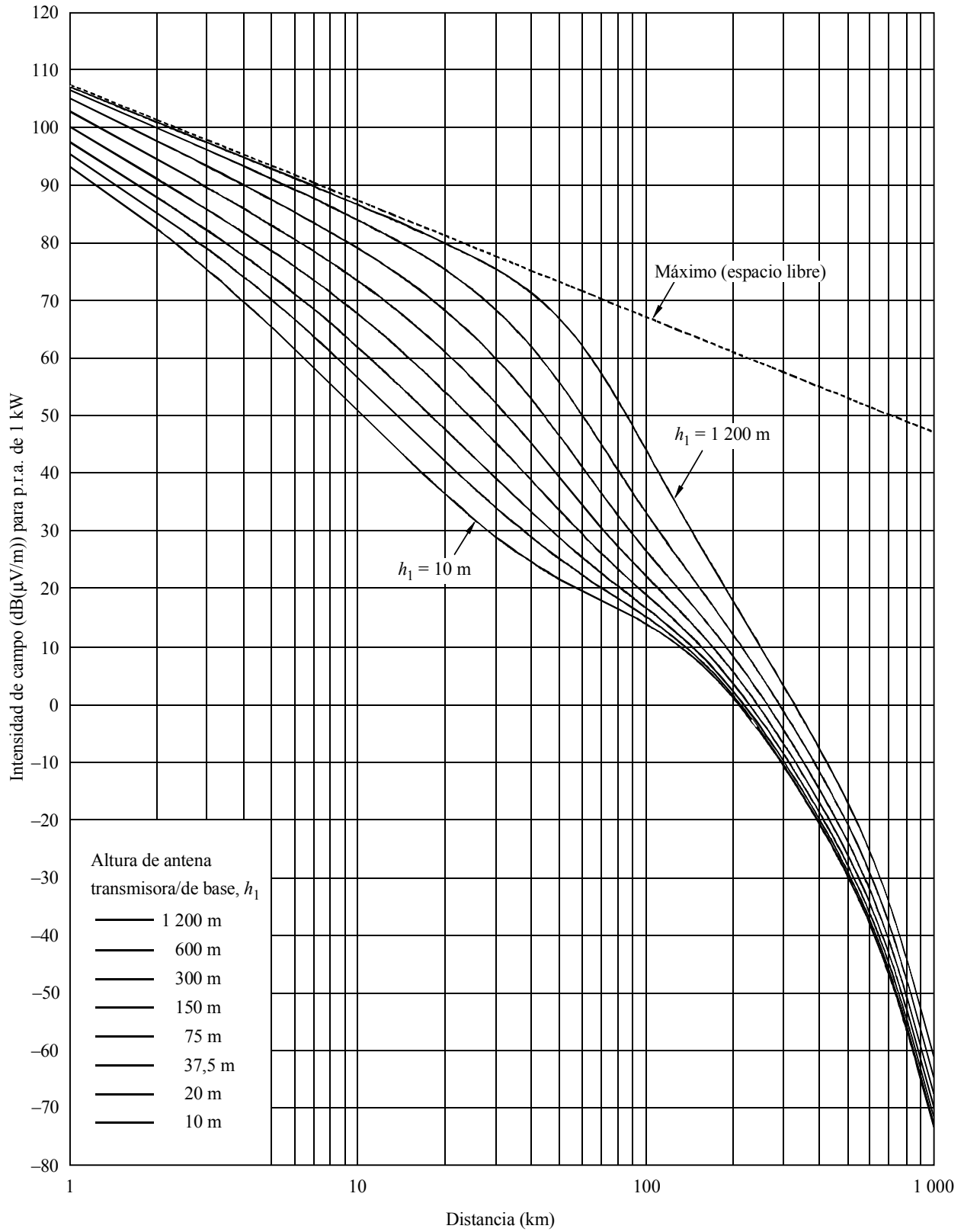
FIGURA 9
600 MHz, trayecto terrestre, 50% del tiempo



50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

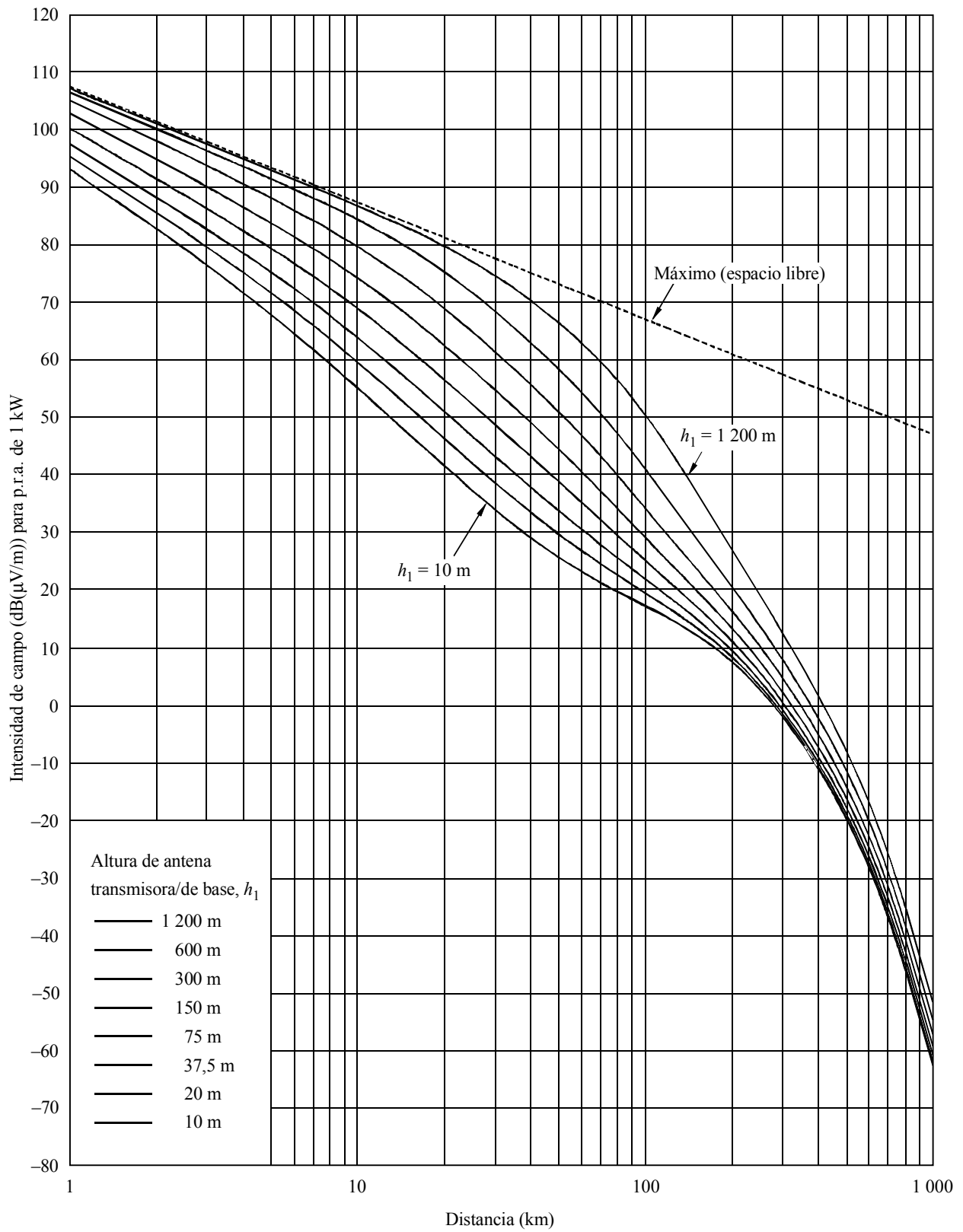
FIGURA 10
600 MHz, trayecto terrestre, 10% del tiempo



50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

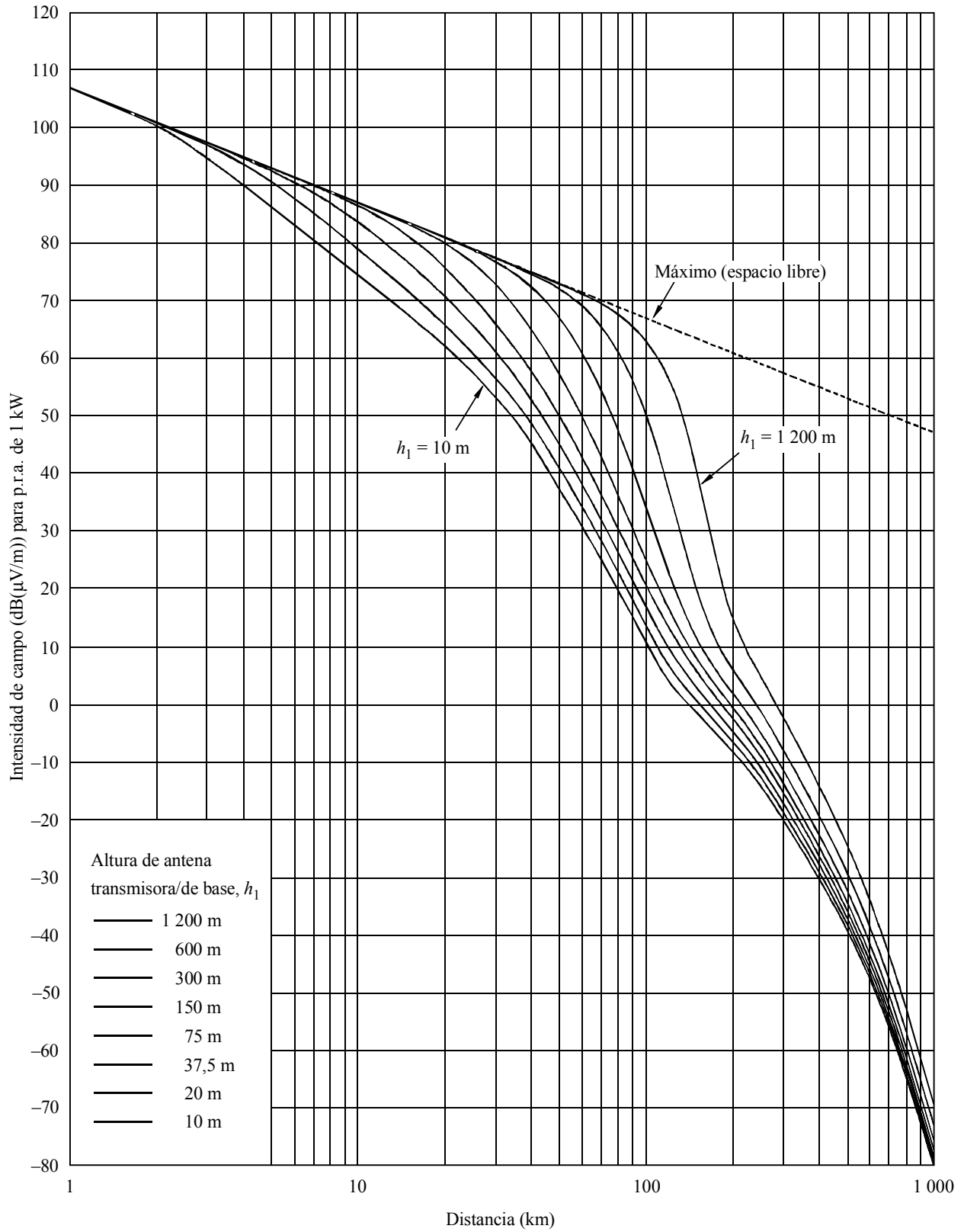
FIGURA 11
600 MHz, trayecto terrestre, 1% del tiempo



50% de las ubicaciones

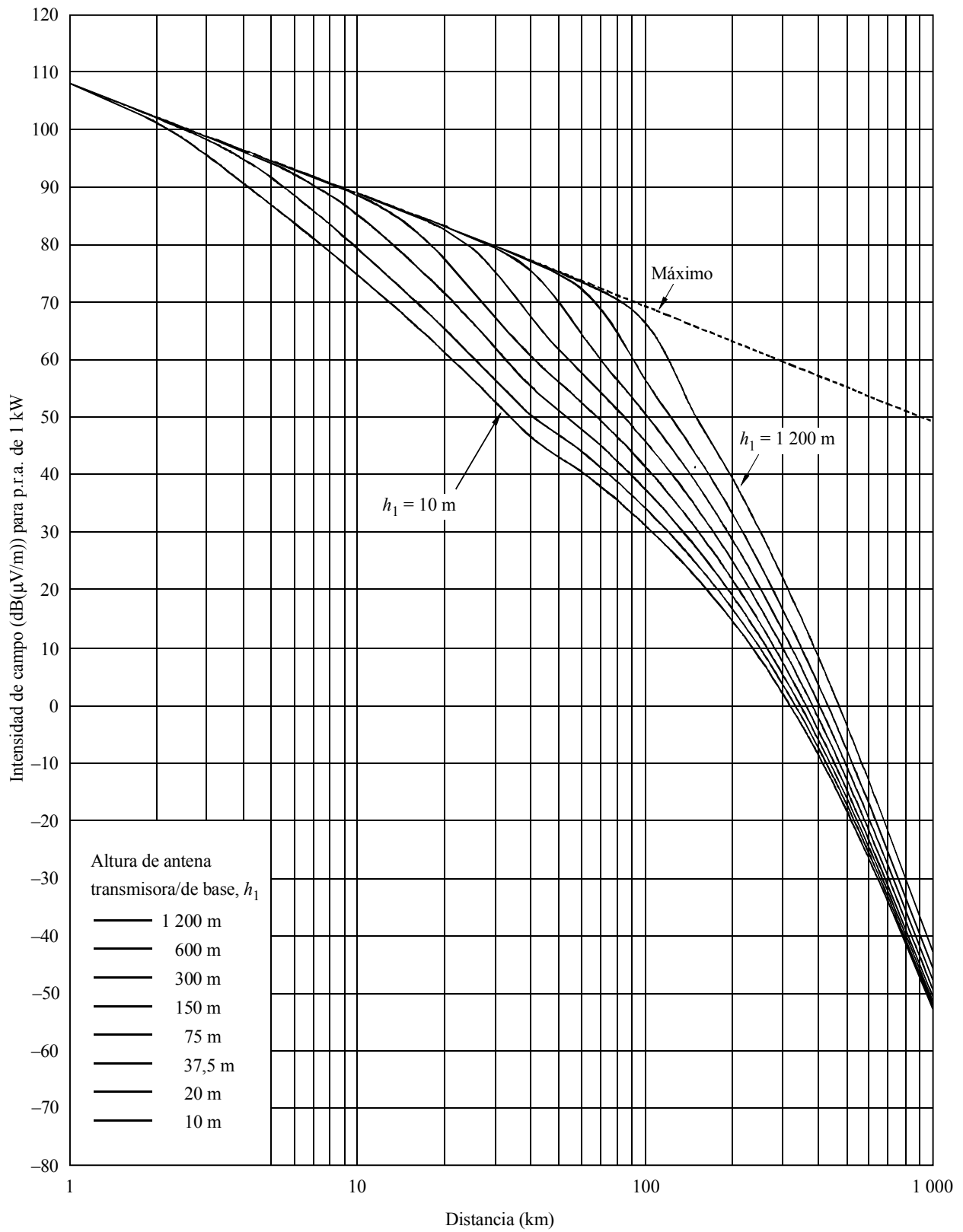
h_2 : altura representativa de los obstáculos

FIGURA 12
600 MHz, trayecto marítimo, 50% del tiempo



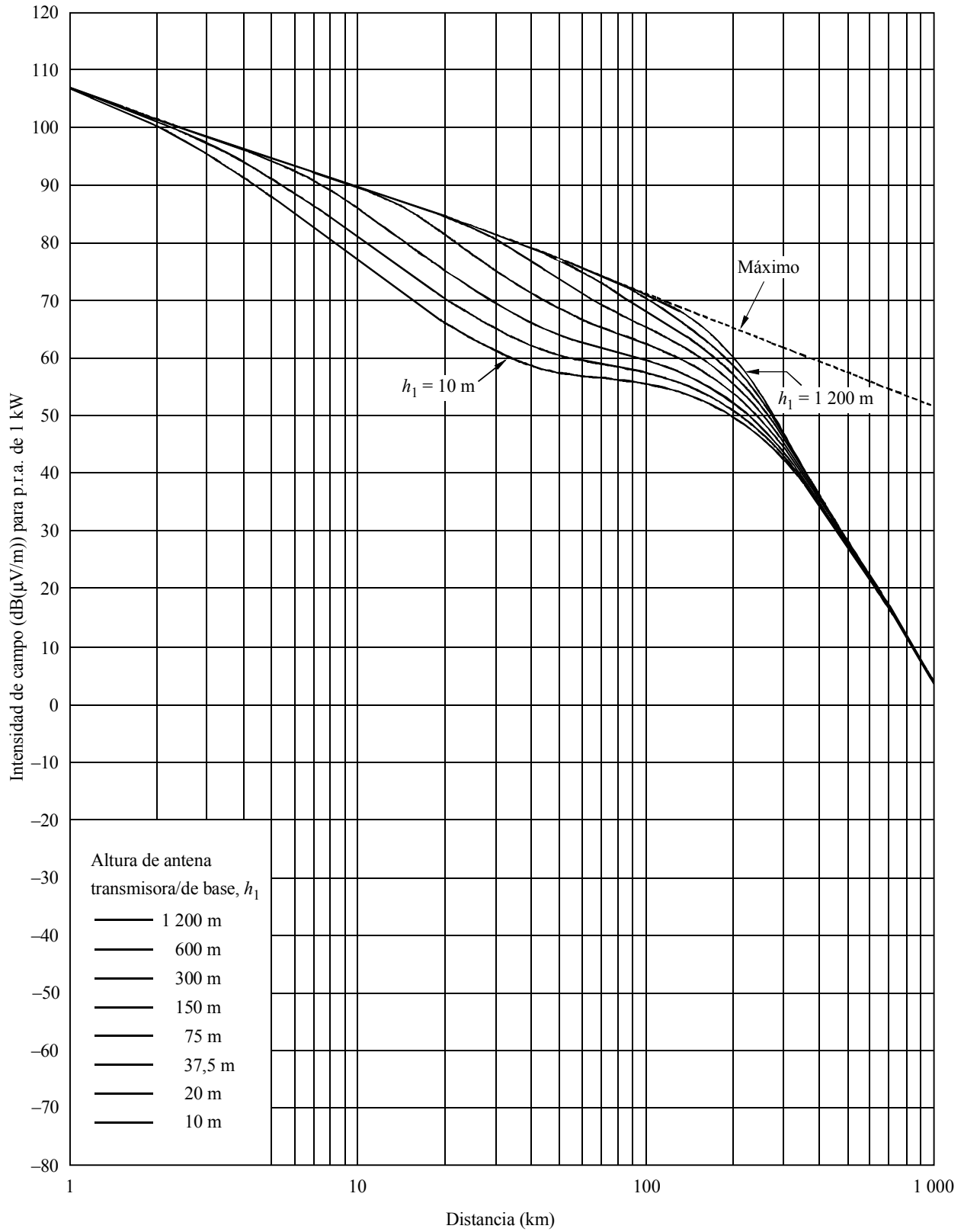
50% de las ubicaciones
 $h_2 = 10$ m

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



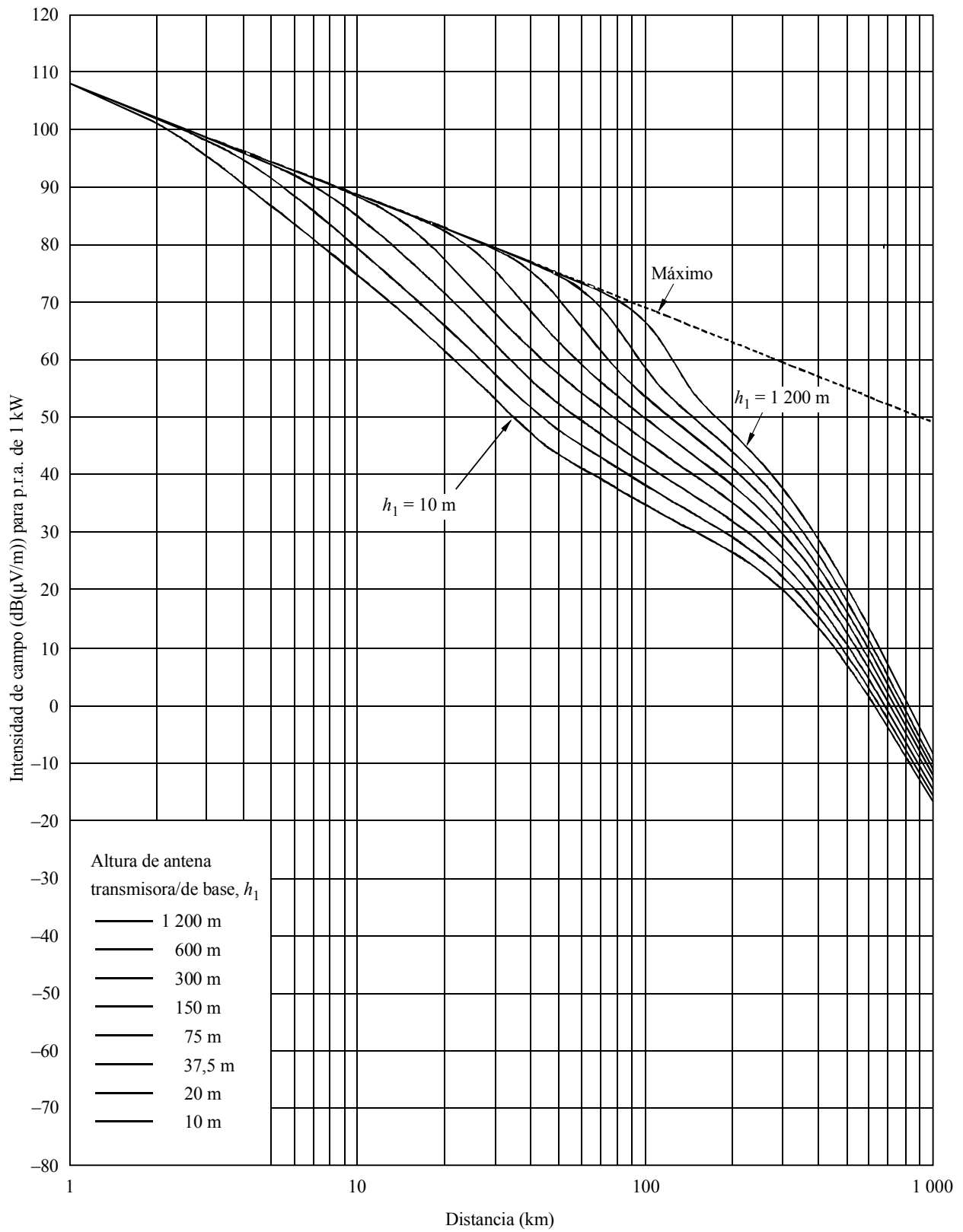
50% de las ubicaciones
 $h_2 = 10$ m

FIGURA 14
600 MHz, trayecto sobre mares fríos, 1% del tiempo



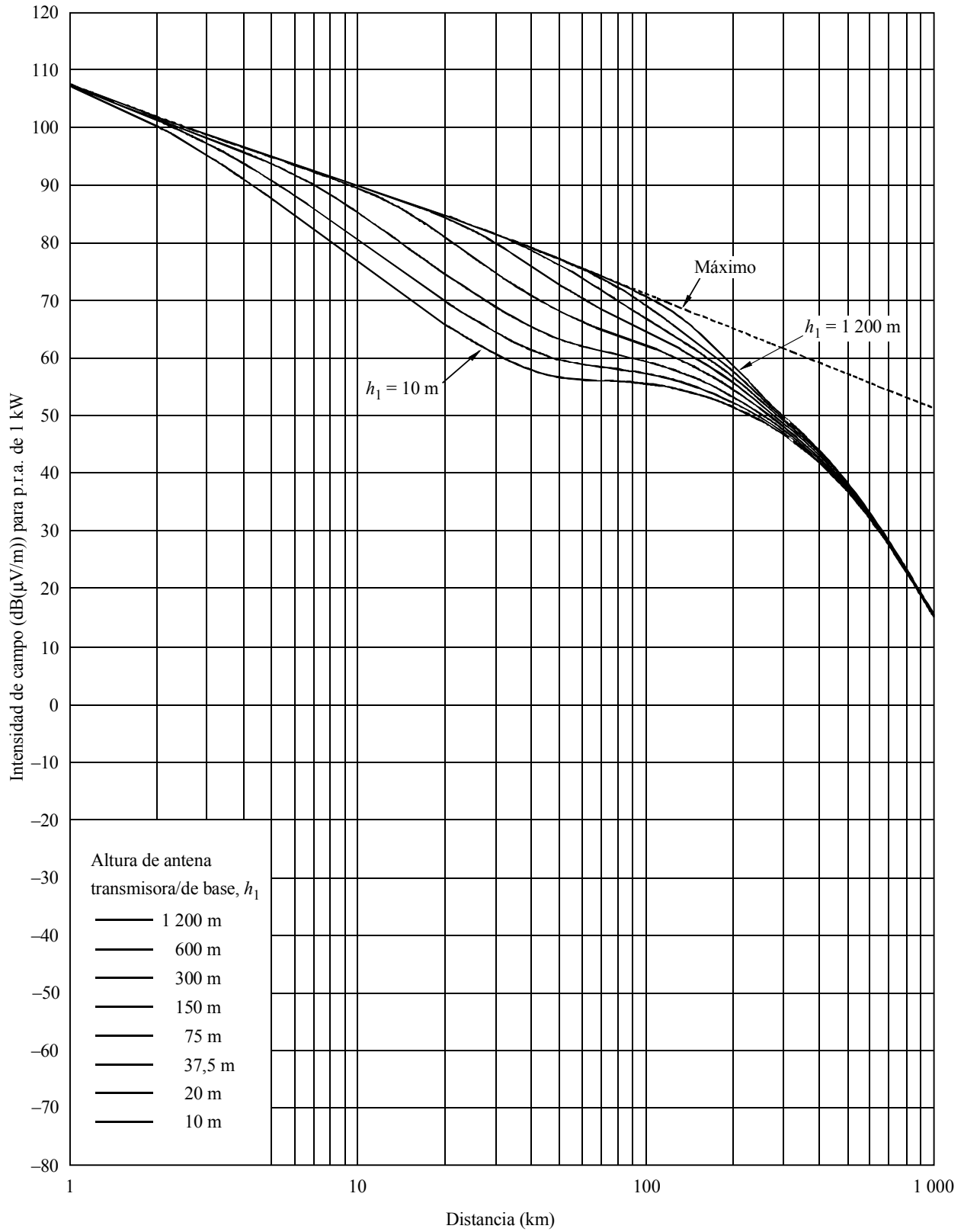
50% de las ubicaciones
 $h_2 = 10$ m

FIGURA 15
600 MHz, trayecto sobre mares cálidos, 10% del tiempo



50% de las ubicaciones
 $h_2 = 10$ m

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



50% de las ubicaciones
 $h_2 = 10\ m$

ANEXO 4

Gama de frecuencias de 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 200 m por 200 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 § 11 del Anexo 5. Los valores de la desviación típica, representativos de diferentes tipos de servicio, se indican en el Cuadro 3. Los sistemas digitales de radiodifusión de banda ancha con una anchura de banda de 1,5 MHz como mínimo están menos sujetos a la variación con las ubicaciones dependiente de la frecuencia que los sistemas analógicos.

CUADRO 3

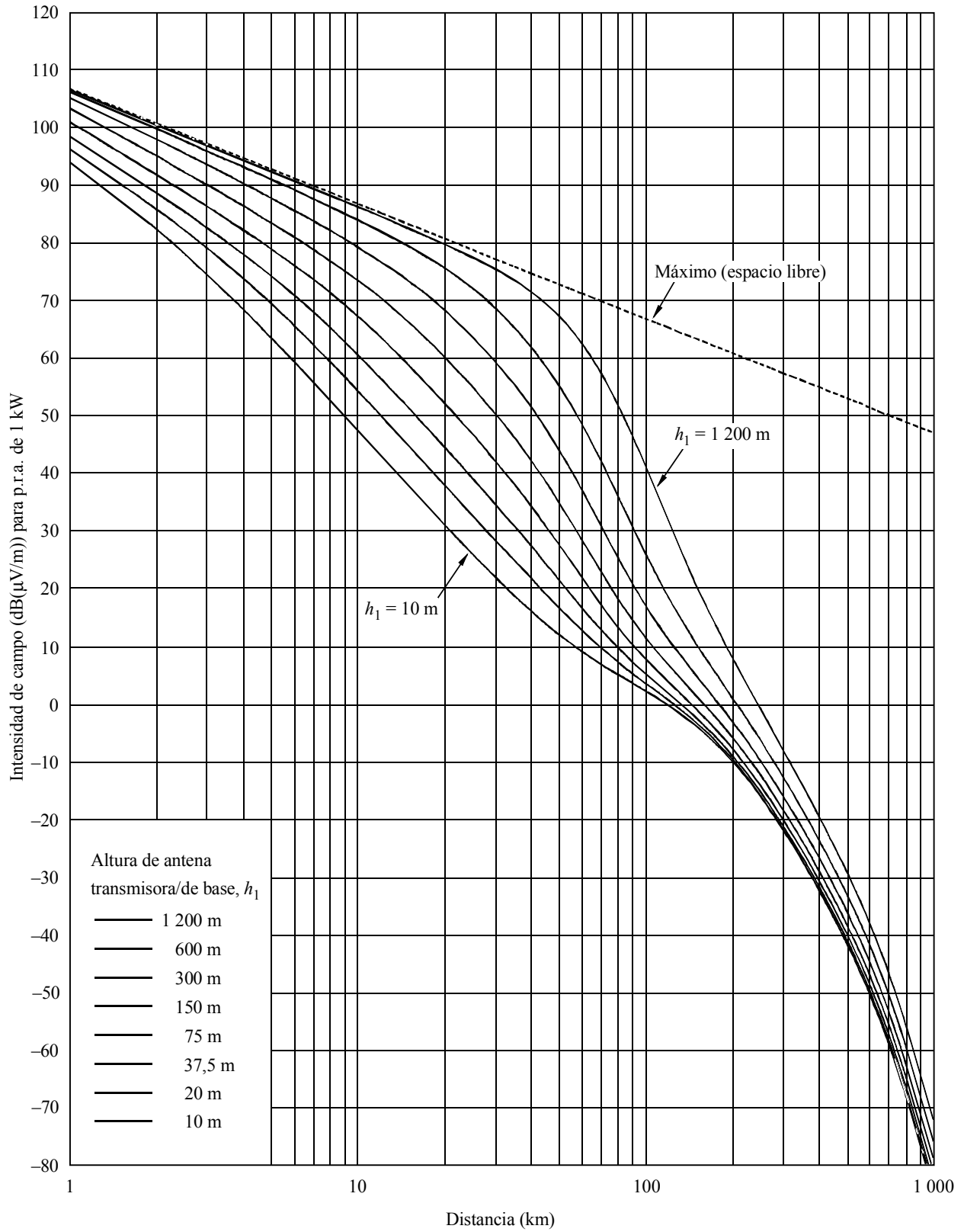
Desviación típica de la variación con las ubicaciones a 2 000 MHz

Servicio	Desviación típica (dB)
Radiodifusión, digital	5,5
Móvil, urbano	7,5
Móvil, suburbano, colinas onduladas	9,4

4 Las curvas de las Figs. 20 a 24 representan los valores de intensidad de campo rebasados en el 50% de las ubicaciones durante el 50%, el 10% y el 1% del tiempo, para trayectos marítimos sobre mares fríos y mares cálidos, cuyas características son, por ejemplo, las que se observan en el Mar del Norte y el Mar Mediterráneo, respectivamente.

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

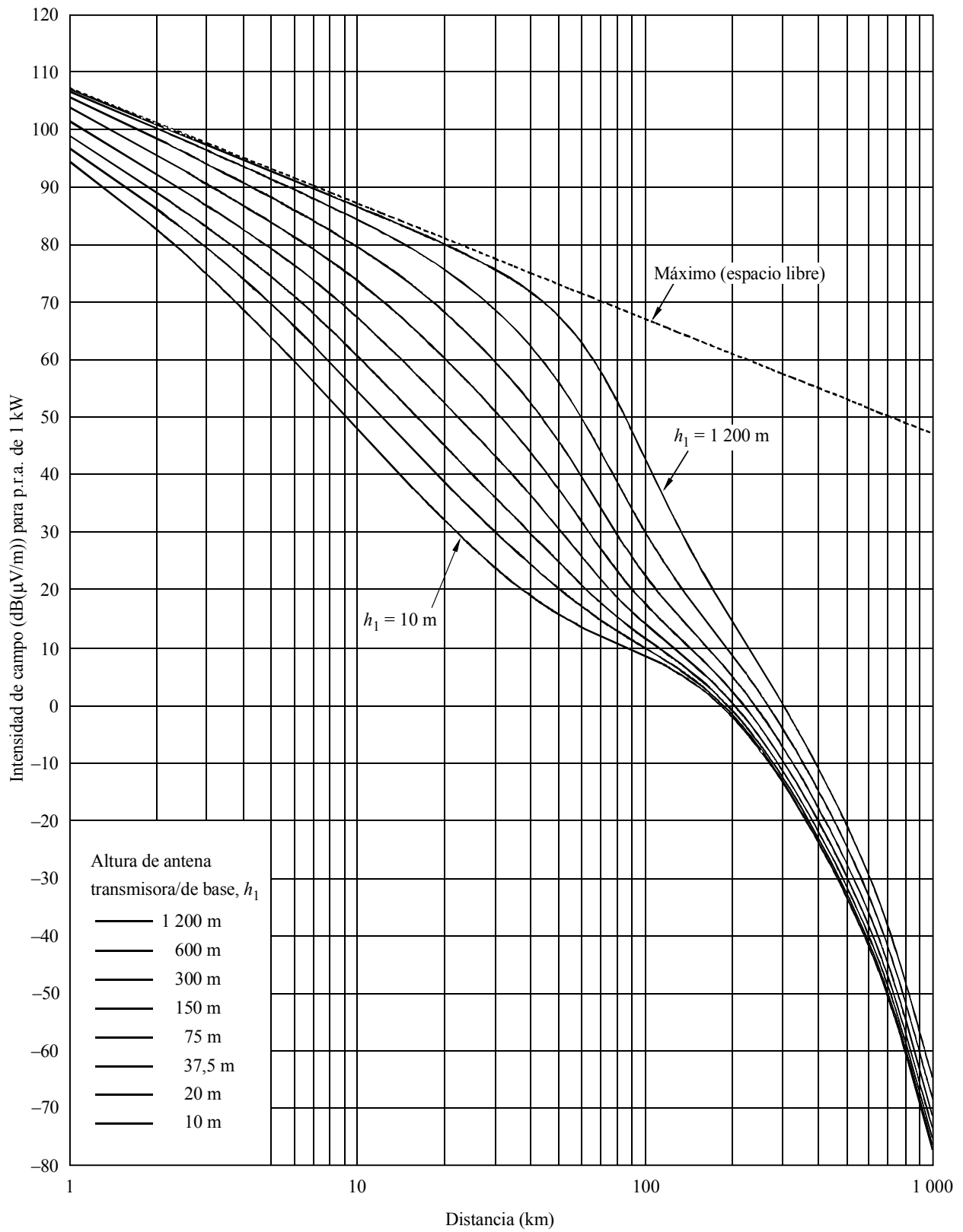
FIGURA 17
2 000 MHz, trayecto terrestre, 50% del tiempo



50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

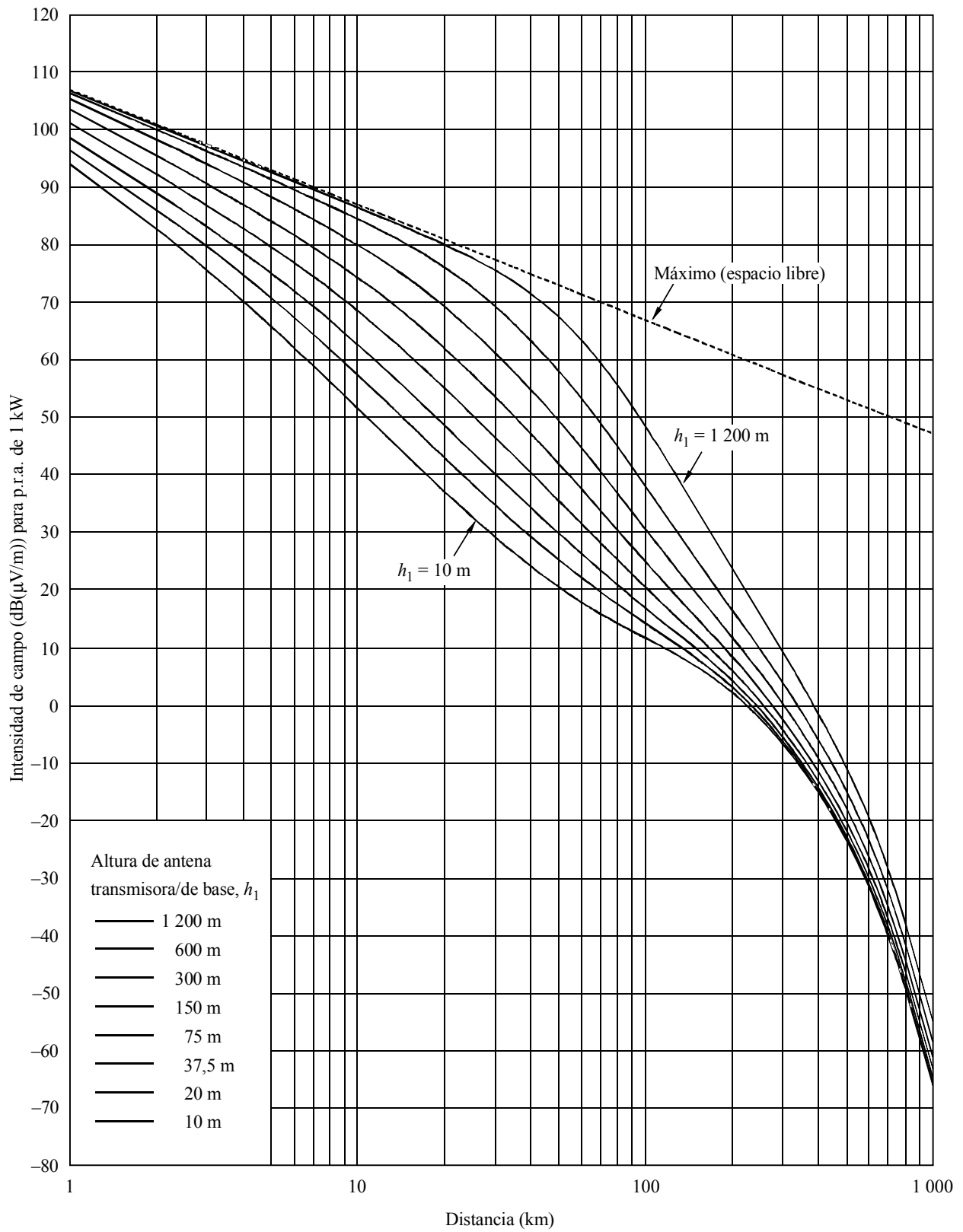
FIGURA 18
 2 000 MHz, trayecto terrestre, 10% del tiempo



50% de las ubicaciones

h_2 : altura representativa de los obstáculos

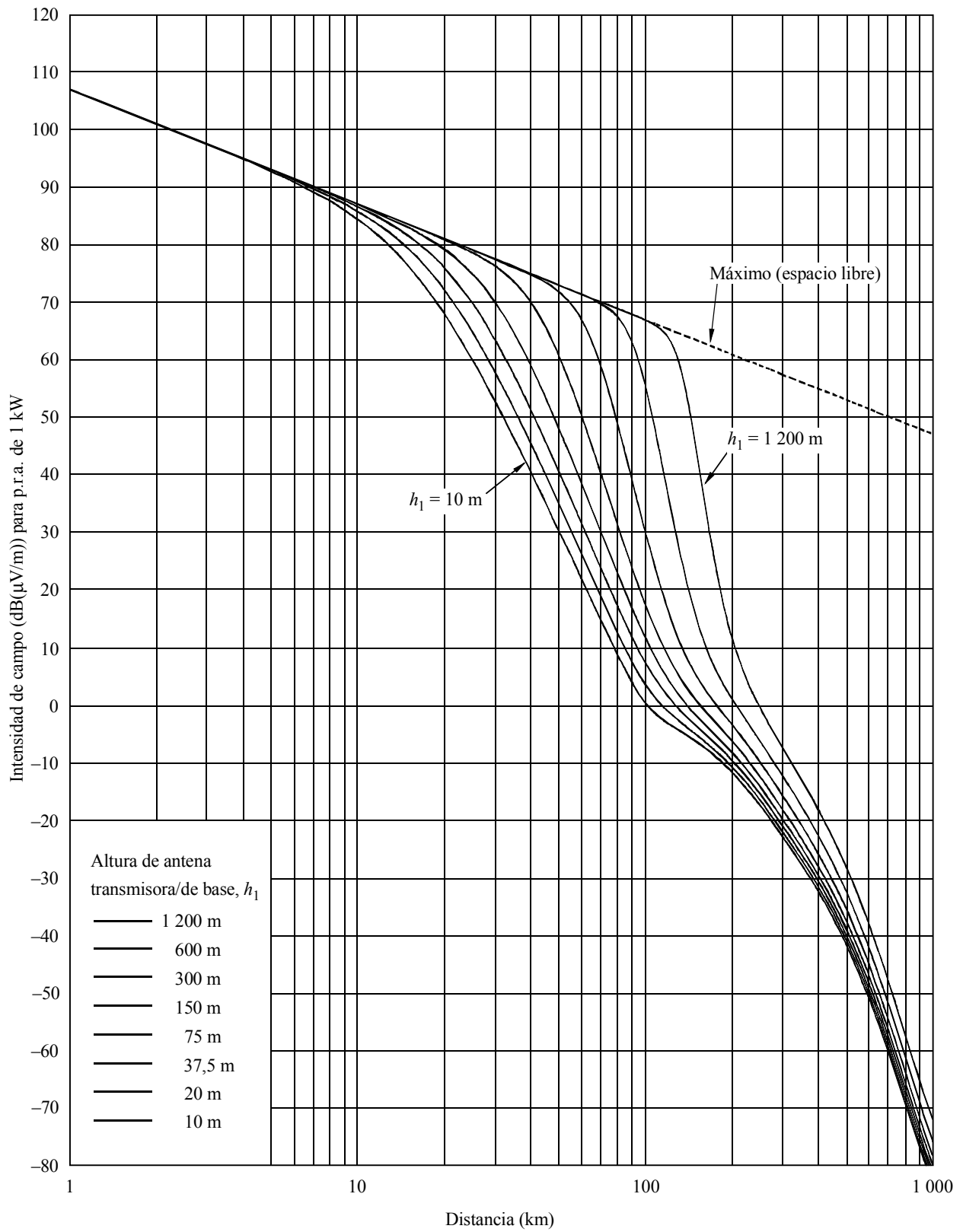
FIGURA 19
2 000 MHz, trayecto terrestre, 1% del tiempo



50% de las ubicaciones

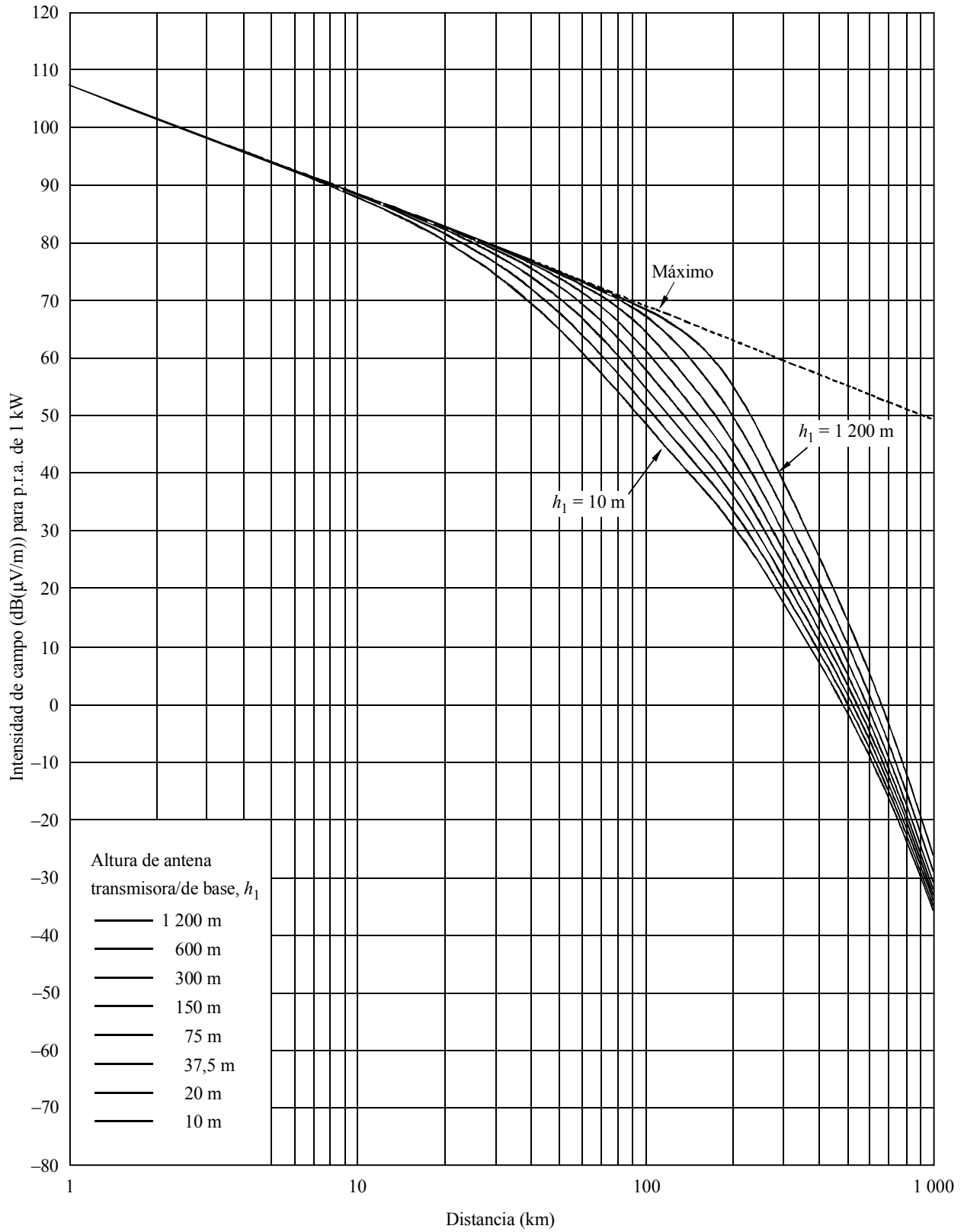
h_2 : altura representativa de los obstáculos

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



50% de las ubicaciones
 $h_2 = 10\ m$

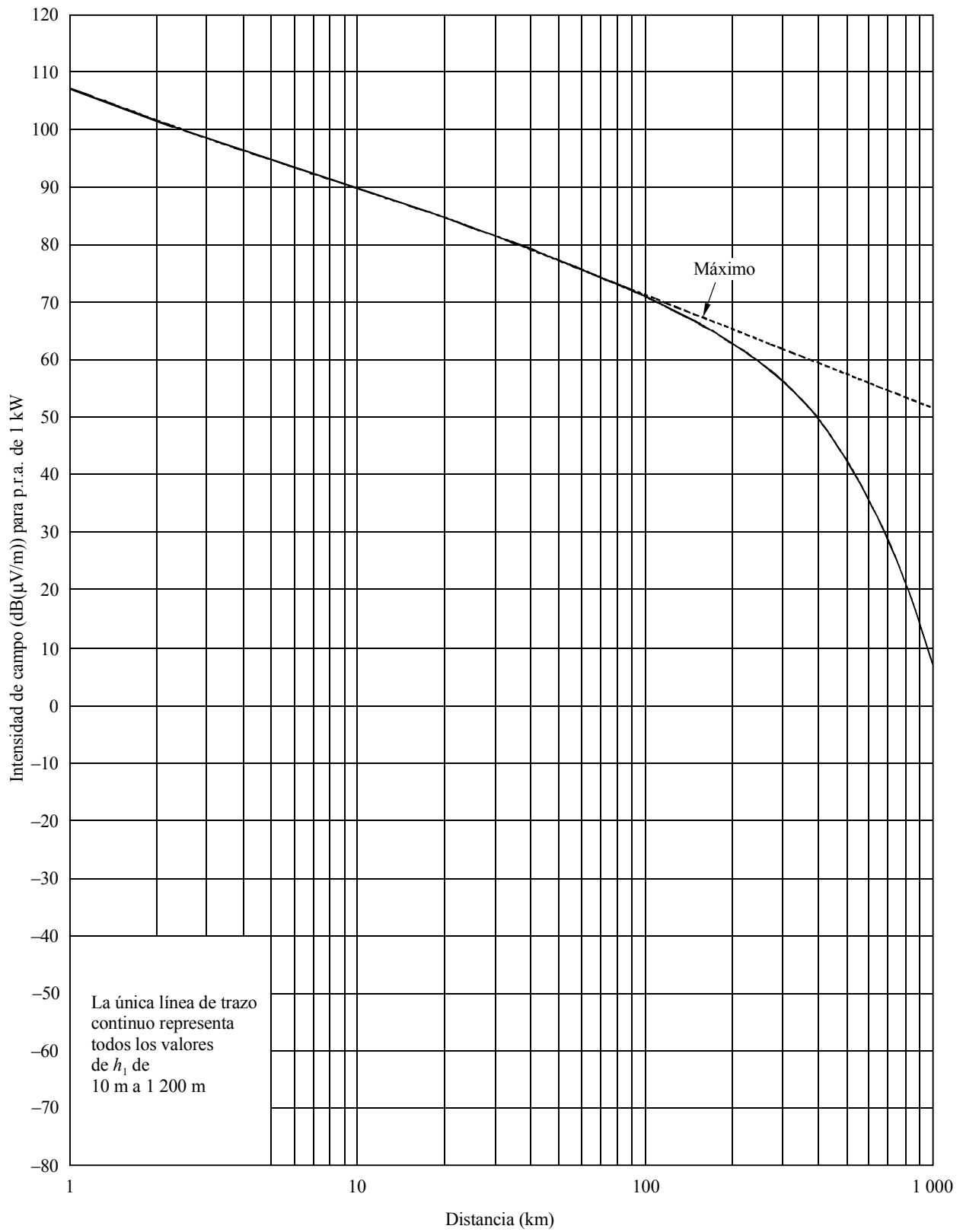
FIGURA 21
2 000 MHz, trayecto sobre mares fríos, 10% del tiempo



50% de las ubicaciones
 $h_2 = 10\ m$

FIGURA 22

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

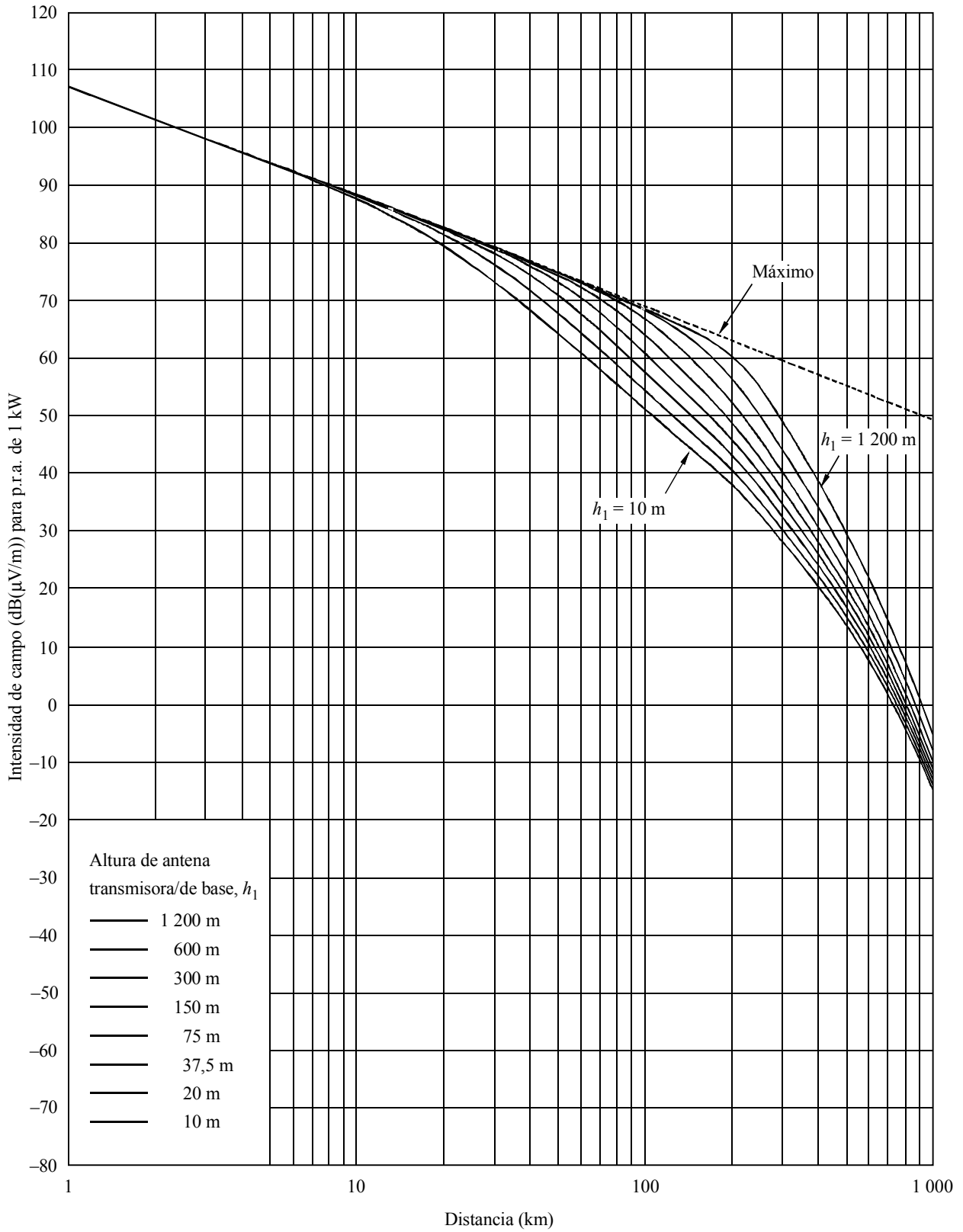


50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$ m

FIGURA 23

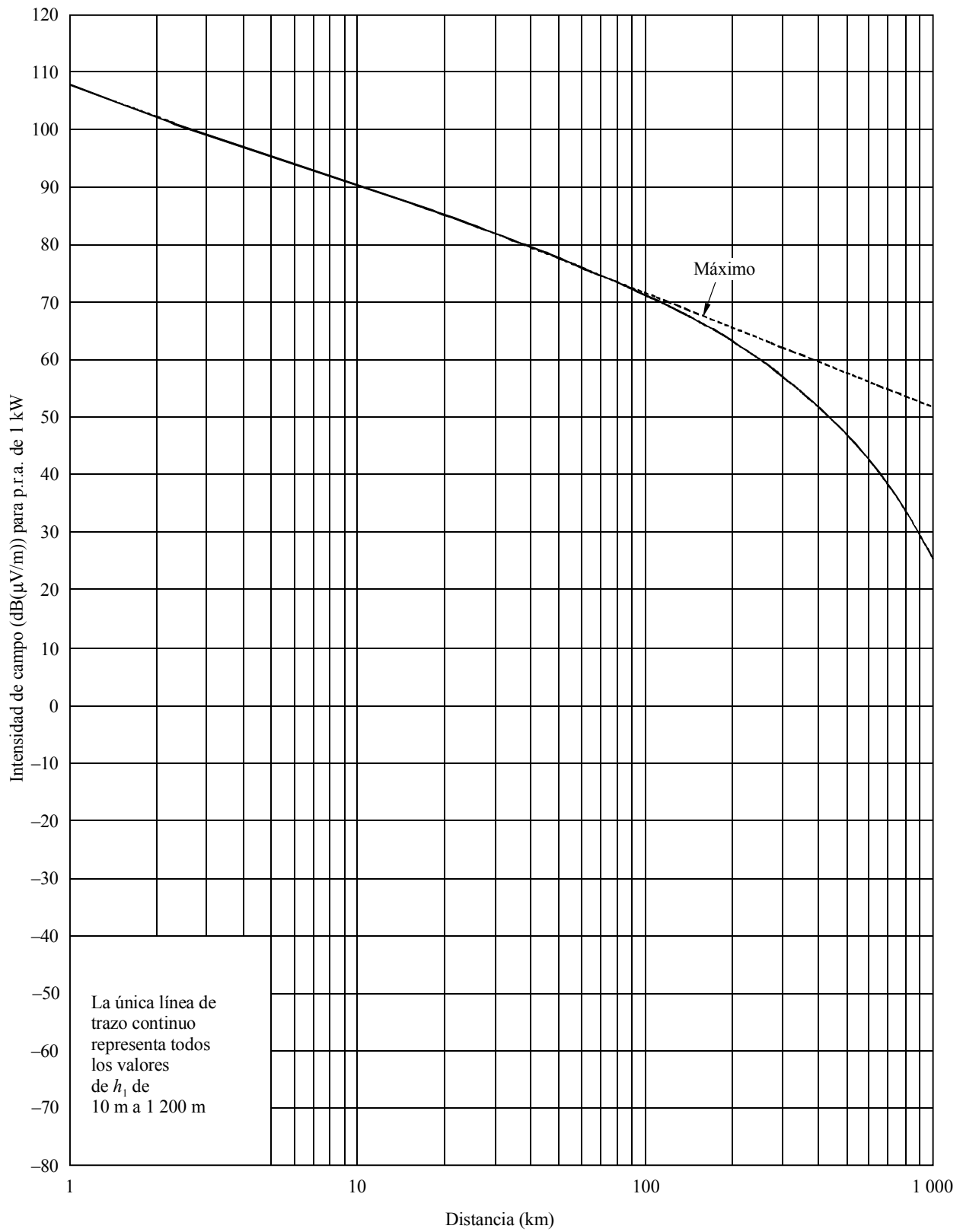
2 000 MHz, trayecto sobre mares cálidos, 10% del tiempo



50% de las ubicaciones

$h_2 = 10\ m$

FIGURA 24
2 000 MHz, trayecto sobre mares cálidos, 1% del tiempo



50% de las ubicaciones

$h_2 = 10$ m

ANEXO 5

Información adicional y procedimientos de aplicación del método de predicción

1 Introducción

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

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. Si los trayectos son de menos de 15 km resulta útil, aunque no sea esencial, disponer de la altura representativa de obstáculos en la proximidad de la antena transmisora/de base, h_{clut} . La altura de referencia de la antena transmisora/de base, h_a (m), se define entonces como la altura de la antena por encima de la altura representativa de los

obstáculos, circundantes, si es que se conoce. Si no se dispone de la altura por encima de los obstáculos, h_a se define como la altura de la antena sobre el suelo (por ejemplo, la altura del mástil). Se señala que h_a no puede ser negativa. La presente Recomendación no es válida cuando la antena transmisora/de base está por debajo de la altura del conjunto de los obstáculos circundantes.

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

3.1 Trayectos terrestres inferiores a 15 km

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

3.1.1 Información sobre el terreno no disponible

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

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

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

3.1.2 Información sobre el terreno disponible

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

$$h_1 = h_a + (h_b - h_a) d / 15 \quad \text{m} \quad (6)$$

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

3.2 Trayectos terrestres de 15 km o superiores

Para estos trayectos:

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

3.3 Trayectos marítimos

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

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

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

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

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

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

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:

El procedimiento de extrapolación de la intensidad de campo a una distancia requerida d km para valores de h_1 en la gama de 0 m a 10 m se basa en las distancias de horizonte para Tierra lisa (km), expresadas mediante la fórmula $d_H(h) = 4,1\sqrt{h}$, siendo h el valor requerido de altura de la antena transmisora/de base, h_1 (m).

Para $d < d_H(h_1)$, la intensidad de campo viene dada por la curva correspondiente a la altura de 10 m a su distancia al horizonte, más ΔE , siendo ΔE la diferencia en intensidades de campo entre la curva de altura de 10 m a la distancia d y la distancia al horizonte de h_1 .

Para $d \geq d_H(h_1)$, la intensidad de campo viene dada por la curva correspondiente a la altura de 10 m a una distancia Δd más allá de su distancia al horizonte, siendo Δd la diferencia entre la distancia d y la distancia al horizonte de h_1 .

Lo anterior se puede expresar mediante las fórmulas que siguen en las que $E_{10}(d)$ es la intensidad de campo en dB(μ V/m) tomada de la curva de la altura de 10 m para una distancia d (km):

$$E = E_{10}(d_H(10)) + E_{10}(d) - E_{10}(d_H(h_1)) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{para } d < d_H(h_1) \quad (9a)$$

$$= E_{10}(d_H(10) + d - d_H(h_1)) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{para } d \geq d_H(h_1) \quad (9b)$$

Si en la ecuación (9b) $d_H(10) + d - d_H(h_1)$ supera los 1 000 km, incluso aunque $d \leq 1\,000$ km, E_{10} puede obtenerse mediante la extrapolación lineal de log (distancia), de la curva dada por:

$$E_{10} = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \log(d / D_{inf}) / \log(D_{sup} / D_{inf}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (9c)$$

donde:

D_{inf} : penúltima distancia de la tabulación (km)

D_{sup} : distancia final de la tabulación (km)

E_{inf} : intensidad de campo a la penúltima distancia de la tabulación (dB(μ V/m))

E_{sup} : intensidad de campo a la distancia final de la tabulación (dB(μ V/m)).

Se señala que la presente Recomendación no es válida para distancias superiores a 1 000 km. La ecuación (9c) deberá utilizarse sólo para extrapolar cuando $h_1 < 10$ m.

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 la función de D_{06} se define en el § 14.

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:

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

$$= E_{Dh1} + (E_{D20} - E_{Dh1}) \log(d / D_{h1}) / \log(D_{20} / D_{h1}) \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad \text{para} \quad D_{h1} < d < D_{20} \quad (11b)$$

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

donde:

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

E_{Dh1} : $E_{m\acute{a}x}$ para la distancia de D_{h1} dada en el § 2

$E_{D20} = E_{10}(D_{20}) + (E_{20}(D_{20}) - E_{10}(D_{20})) \log(h_1/10) / \log(20/10)$

$E_{10}(x)$: 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 el método correspondiente a los trayectos terrestres indicado más arriba

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

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.

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 calcular una corrección basada en el ángulo de despejamiento del terreno que se describe en el § 10. El ángulo de despejamiento se calcula como sigue:

- Si se dispone de una base de datos del terreno, el ángulo de despejamiento del terreno 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 el método de corrección del ángulo de despejamiento del terreno que figura en el § 10 para obtener una corrección que se añade a la intensidad de campo obtenida para $h_1 = 0$. Se señala que utilizando este método, se puede producir una discontinuidad en la intensidad de campo en la transición en torno a $h_1 = 0$.

- Si no se dispone de una base de datos del terreno, el ángulo efectivo de despejamiento del terreno (positivo), θ_{eff} , 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 no produce ninguna 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:

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

donde:

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

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

y

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

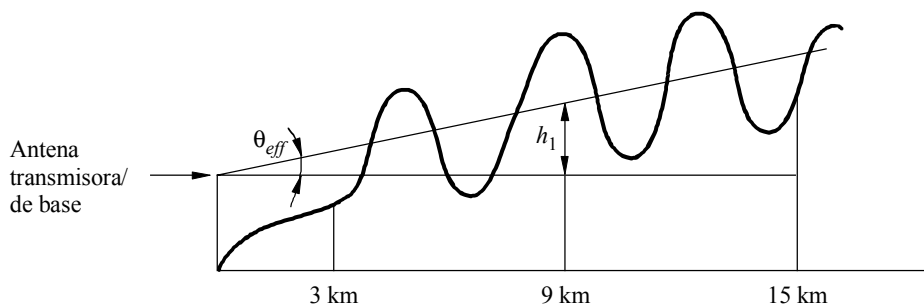
$$K_v = 1,35 \quad \text{para } 100 \text{ MHz}$$

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

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

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

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 4, 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 inferiores a 1 km o superiores a 1 000 km.

CUADRO 4

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	1000

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

Los valores de la intensidad de campo para una frecuencia determinada deberán obtenerse interpolando entre los valores correspondientes a los de las frecuencias nominales de 100 MHz, 600 MHz y 2000 MHz. En el caso de frecuencias por debajo de 100 MHz o por encima de 2000 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 $f < 100$ MHz, 600 MHz si $f > 2000$ MHz)
- f_{sup} : frecuencia nominal superior (600 MHz si $f < 100$ MHz, 2000 MHz si $f > 2000$ 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 2000 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 § 14 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 § 14.

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:

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

$$= E_{df} + (E_{d600} - E_{df}) \log(d / d_{df}) / \log(d_{600} / d_f) \quad \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad \text{para } d > d_f \quad (15b)$$

donde:

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

E_{df} : 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 § 14

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 § 14

E_{d600} : intensidad de campo a la distancia d_{600} y la frecuencia requerida calculada utilizando la ecuación (14).

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

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

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

donde:

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 $Q_i(x)$ es 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 § 12 del Anexo 5 se da un método de cálculo de $Q_i(x)$.

8 Trayectos mixtos

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

Para determinar la intensidad de campo de cualquier trayecto con una combinación de partes terrestres y partes marítimas deberán seguirse los pasos que se indican a continuación. Si el trayecto contiene tramos de mar cálido y tramos de mar frío, en el cálculo de $E_{sea}(d)$ deberán utilizarse las curvas de mar cálido. El valor de h_1 debe calcularse utilizando el § 3.1 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.

Paso 1: Se calcula la longitud total del trayecto situado sobre tierra, d_l .

Paso 2: Se calcula la cantidad Δ :

Si $d_l < 1$ km,

$$\Delta = d_l [E_{land}(1 \text{ km}) - E_{sea}(1 \text{ km})] \quad (17a)$$

de no ser así:

$$\Delta = E_{land}(d_l) - E_{sea}(d_l) \quad (17b)$$

Paso 3: Se calcula el valor del trayecto mixto a la distancia de la antena receptora/móvil, d_{total} :

$$E_{mix}(d_{total}) = E_{sea}(d_{total}) + \Delta \quad (18)$$

Paso 4: Se calcula la diferencia, ΔE , entre las intensidades de campo del trayecto mixto y el trayecto terrestre a la distancia de trayecto total requerida, d_{total} :

$$\Delta E = E_{mix}(d_{total}) - E_{land}(d_{total}) \quad (19)$$

Paso 5: Se calcula un factor de interpolación para tener en cuenta el efecto larga distancia del terreno en la propagación utilizando d_l , y la altura de la antena transmisora/de base, h_1 :

$$\chi = \alpha + (1 - \alpha) \exp\left[-\left(\beta \cdot d_l^{2,42-0,0003527h_1}\right)\right] \quad (20)$$

donde $\alpha = 0,3$ y $\beta = 0,0001$.

Paso 6: Se calcula, por último, la intensidad de campo para el trayecto mixto:

$$E = E_{land}(d_{total}) + \Delta E \cdot \chi \quad (21)$$

9 Altura de la antena receptora/móvil de referencia y correcciones para otras alturas

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

Si la altura de la antena receptora/móvil, h_2 (m), es diferente de R , deberá efectuarse una corrección en la intensidad de campo tomada de la curva.

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

$$R' = R \quad \text{m} \quad \text{para } h_1 \leq 6,5d + R \quad (22a)$$

$$= (1000 d R - 15 h_1) / (1000 d - 15) \quad \text{m} \quad \text{para } h_1 > 6,5d + R \quad (22b)$$

donde h_1 está en metros y la distancia d en kilómetros.

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

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

$$\text{Corrección} = (6,03h_2 / R') - J(v) \quad \text{dB} \quad \text{para } h_2 < R' \quad (23a)$$

$$= K_{h2} \log (h_2 / R') \quad \text{dB} \quad \text{para } h_2 \geq R' \quad (23b)$$

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

y:

$$v = K_{nu} \sqrt{h_{dif} \theta_{clut}} \quad (23c)$$

$$h_{dif} = R' - h_2 \quad \text{m} \quad (23d)$$

$$\theta_{clut} = \arctg (h_{dif} / 15) \quad \text{grados} \quad (23e)$$

$$K_{h2} = 3,2 + 6,2 \log (f) \quad (23f)$$

$$K_{nu} = 0,0108 \sqrt{f} \quad (23g)$$

f : frecuencia (MHz).

Cuando la antena receptora/móvil está situada junto al terreno en un entorno rural o abierto, la corrección viene dada por la ecuación (23b) para todos los valores de h_2 .

Cuando la antena receptora/móvil está situada junto al mar para $h_2 > 10$ m, la corrección debe calcularse utilizando la ecuación (23b) con R' fijada en 10 m.

Cuando la antena receptora/móvil está situada junto al mar para $h_2 < 10$ m, debe utilizarse un método alternativo basado en las longitudes de trayecto para las cuales la superficie del mar libera exactamente el 0,6 de la primera zona de Fresnel. En el § 14 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 § 14.

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 (23b) con R' fijada en 10 m.

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

$$\text{Corrección} = 0,0 \quad \text{dB} \quad \text{para} \quad d \leq d_{h_2} \quad (24a)$$

$$= (C_{10}) \log(d / d_{h_2}) / \log(d_{10} / d_{h_2}) \quad \text{dB} \quad \text{para} \quad d_{h_2} < d < d_{10} \quad (24b)$$

donde:

C_{10} : corrección para el valor requerido de h_2 a distancia d_{10} utilizando la ecuación (23b) con R' fijado 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 § 14

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 § 14.

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.

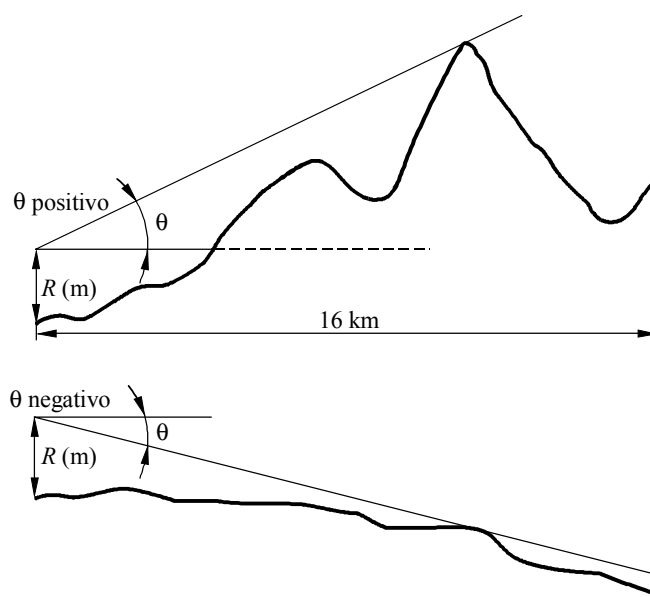
10 Corrección debida al ángulo de despejamiento del terreno

En el caso de trayectos terrestres, y cuando la antena receptora/móvil se halla en una sección terrestre de un trayecto mixto, si se ha de predecir con mayor precisión la intensidad de campo para condiciones de recepción en zonas específicas, por ejemplo en una zona de recepción pequeña, se puede efectuar una corrección basada en el ángulo de despejamiento del terreno. Este ángulo, θ , se mide en relación con 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.

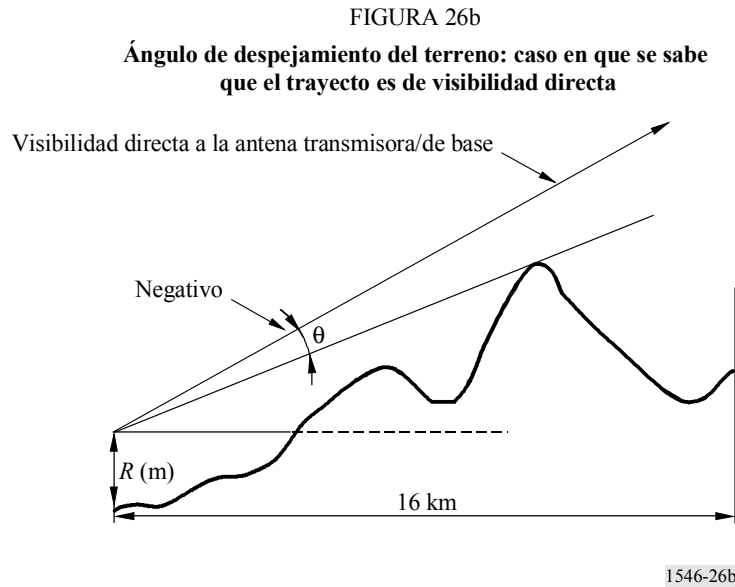
Por lo general, el ángulo θ se mide con respecto a la horizontal en la antena receptora/móvil, siendo positivo si la línea de despejamiento se halla por encima de la horizontal, como se muestra en la Fig. 26a.

FIGURA 26a

Ángulo de despejamiento del terreno: caso general



Si se sabe que el trayecto radioeléctrico se halla en una línea de visibilidad directa, θ se mide con relación a la línea de visibilidad directa y, en este caso, es siempre negativo. Esto se muestra en la Fig. 26b. Cabe señalar, no obstante, que este procedimiento quizás dé como resultado una discontinuidad en la intensidad de campo en la transición entre condiciones de visibilidad directa y de ausencia de la misma.



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

$$\text{Corrección} = J(v') - J(v) \quad \text{dB} \quad (25)$$

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

$$v' = 0,036 \sqrt{f} \quad (25a)$$

$$v = 0,065 \theta_{tca} \sqrt{f} \quad (25b)$$

θ_{tca} : ángulo de despejamiento del terreno (grados)

f : frecuencia (MHz)

La corrección es válida para un ángulo de despejamiento θ_{tca} comprendido en la gama de $-0,8^\circ$ a $+40^\circ$.

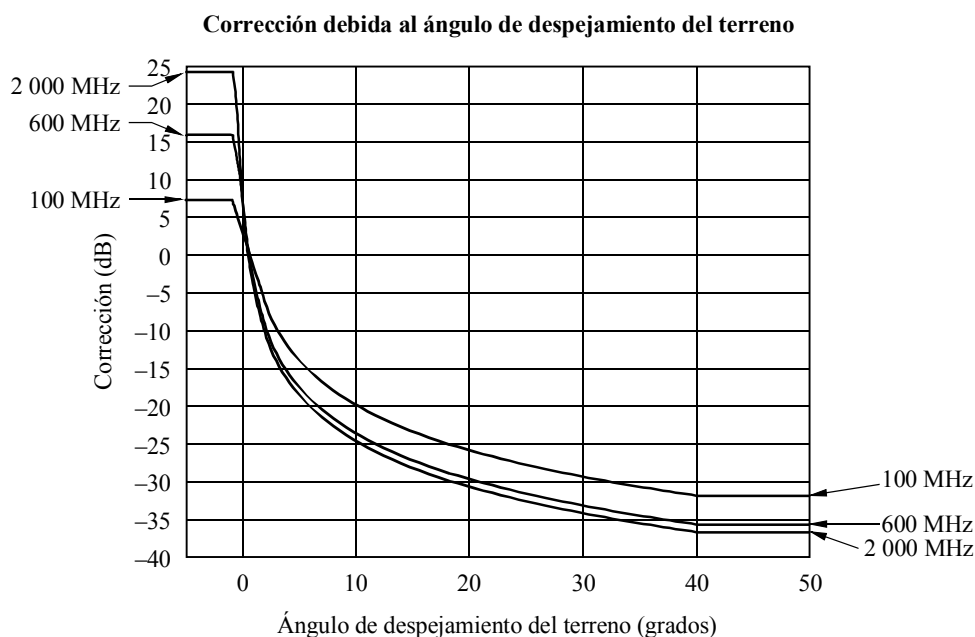
La corrección para $\theta_{tca} < -0,8^\circ$ es la misma que para $\theta_{tca} = -0,8^\circ$.

La corrección para $\theta_{tca} > +40,0^\circ$ es la misma que para $\theta_{tca} = +40,0^\circ$.

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

La Fig. 27 ilustra la corrección debida al ángulo de despejamiento del terreno correspondiente a las frecuencias nominales.

FIGURA 27



1546-27

11 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.
- Variaciones debidas a la ocupación del suelo en las inmediaciones (morfografía local)
Se producirán variaciones de la señal debido a las obstrucciones en el suelo en la zona circundante, como por ejemplo edificios, árboles, etc., con escalas del orden del tamaño de esos objetos. La magnitud de estas variaciones es normalmente bastante mayor que la de las variaciones debidas a la propagación por trayectos múltiples.
- Variaciones del trayecto
También se producirán variaciones de la señal debido a los cambios de la geometría del trayecto de propagación completo (por ejemplo, presencia de colinas, etc.). En todos los trayectos, salvo los muy cortos, la escala de estas variaciones será bastante mayor que la de las variaciones debidas a la ocupación del suelo en las inmediaciones.

En esta Recomendación, la variabilidad con las ubicaciones se refiere a las estadísticas espaciales de las variaciones debidas a la ocupación del suelo en las inmediaciones, incluidas las variaciones debidas a la propagación por trayectos múltiples. 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. Esta condición puede ser inaplicable en una zona en la que la geometría del trayecto varía rápidamente, por ejemplo, en terreno en pendiente.

En ondas métricas y decimétricas la variación con las ubicaciones se suele referir a un área representada por un cuadrado de 100 a 200 m de lado, a veces con el requisito adicional de que tal área sea llana. Lo importante es saber si la geometría del trayecto afecta o no en forma decisiva a las variaciones en el área considerada.

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.

Hay que tener en cuenta, además, que el desvanecimiento multitrayecto es selectivo en frecuencia. Por ello es muy importante conocer la anchura de banda efectiva del sistema radioeléctrico.

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:

$$E(q) = E(\text{mediana}) + Q_i(q / 100) \sigma_L(f) \quad \text{dB } (\mu\text{V/m}) \quad (26)$$

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.

Los valores de la desviación típica para sistemas digitales con una anchura de banda inferior a 1 MHz y sistemas analógicos, vienen dados en función de la frecuencia por:

$$\sigma_L = K + 1,6 \log(f) \quad \text{dB} \quad (27)$$

donde:

$K = 2,1$ para sistemas móviles en ubicaciones urbanas

= 3,8 para sistemas móviles en ubicaciones suburbanas o entre colinas onduladas

= 5,1 para sistemas de radiodifusión analógica

f : frecuencia (MHz).

En el caso de sistemas digitales con una anchura de banda de 1 MHz o superior deberá utilizarse una desviación típica de 5,5 dB a todas las frecuencias.

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

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

12 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 $0,01 \leq x \leq 0,99$:

$$Q_i(x) = T(x) - \xi(x) \quad \text{si } x \leq 0,5 \quad (28a)$$

$$Q_i(x) = - \{ T(1 - x) - \xi(1 - x) \} \quad \text{si } x > 0,5 \quad (28b)$$

donde:

$$T(x) = \sqrt{[-2 \ln(x)]} \tag{28c}$$

$$\xi(x) = \frac{[(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x)] + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2) \cdot T(x) + D_1] \cdot T(x) + 1} \tag{28d}$$

$$C_0 = 2,515517$$

$$C_1 = 0,802853$$

$$C_2 = 0,010328$$

$$D_1 = 1,432788$$

$$D_2 = 0,189269$$

$$D_3 = 0,001308$$

En el Cuadro 5 se indican los valores dados por las fórmulas anteriores.

CUADRO 5

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
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		

13 Pérdida básica de transmisión equivalente

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

$$L_b = 139 - E + 20 \log f \quad \text{dB} \quad (29)$$

donde:

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

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

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

$$D_{06} = \frac{D_f \cdot D_h}{D_f + D_h} \quad \text{km} \quad (30)$$

donde:

$$\begin{aligned} D_f: & \text{ término dependiente de la frecuencia} \\ & = 0,0000389 f h_1 h_2 \quad \text{km} \end{aligned} \quad (30a)$$

$$\begin{aligned} D_h: & \text{ término asintótico definido por distancias al horizonte} \\ & = 4,1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad \text{km} \end{aligned} \quad (30b)$$

$$f: \text{ frecuencia (MHz)}$$

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

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.

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

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

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

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

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

Paso 8.1: Para una altura de antena transmisora/de base h_1 igual o superior a 10 m, seguir los Pasos 8.1.1 a 8.1.5:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Paso 12: Si la altura de la antena receptora/móvil, h_2 , no es igual a la altura representativa de los obstáculos circundantes en esa ubicación, corregir la intensidad de campo utilizando el método indicado en el § 9 del Anexo 5.

Paso 13: 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 § 10 del Anexo 5.

Paso 14: 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 § 11 del Anexo 5.

Paso 15: Si es necesario, limitar la intensidad de campo resultante al máximo indicado en el § 2 del Anexo 5. Si se ha efectuado un cálculo de trayecto mixto para un porcentaje de tiempo inferior al 50%, será necesario calcular la intensidad de campo máxima mediante interpolación lineal entre los valores de todo terrestre y todo marítimo. Ese cálculo es como sigue:

$$E_{m\acute{a}x} = E_{fs} + d_s E_{se} / d_{total} \quad \text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad (31)$$

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 16: Si es preciso, convertir la intensidad de campo en pérdida básica de transmisión equivalente para el trayecto utilizando el método indicado en el § 13 del Anexo 5.

ANEXO 7

Comparación con el método Okumura-Hata

Las curvas de la presente Recomendación, que dan las intensidades de campo excedidas durante el 50% del tiempo para trayectos terrestres cortos, producen resultados similares, en las condiciones que se examinan más adelante, a los del método Okumura-Hata (para $H_2 = 10$ m) cuya formulación es como sigue:

$$E = 69,82 - 6,16 \log f + 13,82 \log H_1 + a(H_2) - (44,9 - 6,55 \log H_1) (\log d)^b \quad (32)$$

donde:

E : intensidad de campo (dB(μ V/m)) para 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:

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

La altura efectiva de la estación de base, H_1 , para trayectos cortos, es equivalente a la altura de la antena real por encima del suelo. La altura de la antena transmisora/de base, h_1 , utilizada en la Recomendación y definida en el § 3 del Anexo 5, es la altura sobre el nivel de los obstáculos circundantes. Se supone que los resultados del método Okumura-Hata son aplicables a una altura sobre el nivel de los obstáculos representativos en la estación de base de 20 m.

Así pues, en la ecuación de Hata, $H_1 = 30$ m es equivalente a $h_1 = 10$ m (para $d \leq 3$ km) en esta Recomendación.

Para alturas de antena transmisora/de base comprendidas en la gama válida de Hata de $30 \text{ m} \leq H_1 \leq 200 \text{ m}$ ($10 \text{ m} \leq h_1 \leq 180 \text{ m}$), los dos métodos concuerdan por lo general con longitudes de trayecto de hasta unos 10 km en terreno liso.

ANEXO 8

Información adicional y métodos de cálculo de la intensidad de campo en cualquier punto contenido dentro de la envolvente de la familia de curvas de trayectos terrestres

La información del presente Anexo tiene por objeto servir de ayuda en las aplicaciones informáticas de la presente Recomendación. En el caso de curvas terrestres solamente, la intensidad de campo de cualquier familia de curvas con interpolación para distancia y altura de la antena transmisora/de base, h_1 , se puede obtener aplicando el procedimiento paso a paso siguiente.

Paso 1: Se calcula el parámetro adimensional, k , de la altura requerida del transmisor, h_1 , como sigue:

$$k = \frac{\log \left[\frac{h_1}{9,375} \right]}{\log(2)} \quad (33)$$

El parámetro k es un entero comprendido en la gama de 0 a 7 que representa a cada línea miembro de una familia empezando en $h_1 = 9,375$ m y terminando en la línea $h_1 = 1200$ m. Los dos primeros valores de k representan de hecho valores h_1 de 9,375 m y 18,75 m para mantener la secuencia estricta de división por dos de la altura de 1200 m, si bien las dos curvas inferiores de la tabulación proporcionada se han calculado para 10 y 20 m por conveniencia.

La gama de valores de entrada para h_1 deberá limitarse de 9,375 a 1200 m. Para alturas del transmisor fuera de esa gama deberá utilizarse el procedimiento de extrapolación del Anexo 5.

El procedimiento siguiente construye una línea miembro haciendo que se fusionen suavemente una sección Okumura-Hata inicial en la gama de 1 a aproximadamente 30 km con una línea obtenida a partir de la adaptación funcional a los datos empíricos (Recomendación UIT-R P.370 para distancias superiores a 10 km utilizando la ecuación (34)). La fusión de esta línea prosigue a continuación con el valor en espacio libre que se requiere utilizando la ecuación (41).

La ecuación (36) representa un ajuste polinómico a las ecuaciones de Okumura-Hata en la gama de parámetros que interesan tanto para k como para d . La sección restante de la línea se construye siguiendo un procedimiento en dos etapas. La primera etapa consiste en la determinación de una curva de referencia básica para la línea de $h_1 = 9,375$ m (ecuación (38)) que es función solamente de d . En la segunda etapa se utiliza la ecuación (40) en función de k y de d para calcular el desplazamiento con respecto a la curva base de referencia correspondiente a cualquier valor de h_1 y d que se desee.

Paso 2: Se calcula la intensidad de campo intermedia, E_u , a la distancia d , y altura h_1 de la antena transmisora, como sigue:

$$E_u = p_b \cdot \log \left[\frac{10^{\frac{E_1 + E_2}{p_b}}}{10^{\frac{E_1}{p_b}} + 10^{\frac{E_2}{p_b}}} \right] \quad (34)$$

donde:

$$p_b = d_0 + d_1 \cdot \sqrt{k} \quad (35)$$

y

$$E_1 = (a_0 \cdot k^2 + a_1 \cdot k + a_2) \cdot \log(d) + 0,1995 \cdot k^2 + 1,8671 \cdot k + a_3 \quad (36)$$

y

$$E_2 = E_{ref} + E_{off} \quad (37)$$

donde:

$$E_{ref} = b_0 \left[\exp \left[-b_4 \cdot 10^\xi \right] - 1 \right] + b_1 \cdot \exp \left[- \left(\frac{\log(d) - b_2}{b_3} \right)^2 \right] - b_6 \cdot \log(d) + b_7 \quad (38)$$

donde:

$$\xi = \log(d)^{b_5} \quad (39)$$

y

$$E_{off} = \frac{c_0}{2} \cdot k \cdot \left[1 - \operatorname{tgh} \left[c_1 \cdot \left[\log(d) - c_2 - \frac{c_3^k}{c_4} \right] \right] \right] + c_5 \cdot k^{c_6} \quad (40)$$

Los parámetros a_0 a a_3 , b_0 a b_7 , c_0 a c_6 y d_0 a d_1 se dan en el Cuadro 6 para todas las frecuencias y porcentajes de tiempo de las curvas de trayecto terrestre.

Paso 3: Se calcula por último la intensidad de campo, E_b , a la distancia d , y con una altura h_1 de antena transmisora, como sigue:

$$E_b = p_{bb} \cdot \log \left[\frac{\frac{E_u + E_{fs}}{p_{bb}}}{\frac{E_u}{10^{p_{bb}}} + \frac{E_{fs}}{10^{p_{bb}}}} \right] \quad (41)$$

donde:

E_{fs} : intensidad de campo en espacio libre definida en el § 2 del Anexo 5

p_{bb} : coeficiente de fusión fijado en el valor 8.

CUADRO 6

Coefficientes para la generación de las tabulaciones de trayectos terrestres

Frecuencia	100 MHz			600 MHz			2 000 MHz		
	50	10	1	50	10	1	50	10	1
a_0	0,0814	0,0814	0,0776	0,0946	0,0913	0,0870	0,0946	0,0941	0,0918
a_1	0,761	0,761	0,726	0,8849	0,8539	0,8141	0,8849	0,8805	0,8584
a_2	-30,444	-30,444	-29,028	-35,399	-34,160	-32,567	-35,399	-35,222	-34,337
a_3	90,226	90,226	90,226	92,778	92,778	92,778	94,493	94,493	94,493
b_0	33,6238	40,4554	45,577	51,6386	35,3453	36,8836	30,0051	25,0641	31,3878
b_1	10,8917	12,8206	14,6752	10,9877	15,7595	13,8843	15,4202	22,1011	15,6683
b_2	2,3311	2,2048	2,2333	2,2113	2,2252	2,3469	2,2978	2,3183	2,3941
b_3	0,4427	0,4761	0,5439	0,5384	0,5285	0,5246	0,4971	0,5636	0,5633
b_4	$1,256 \times 10^{-7}$	$7,788 \times 10^{-7}$	$1,050 \times 10^{-6}$	$4,323 \times 10^{-6}$	$1,704 \times 10^{-7}$	$5,169 \times 10^{-7}$	$1,677 \times 10^{-7}$	$3,126 \times 10^{-8}$	$1,439 \times 10^{-7}$
b_5	1,775	1,68	1,65	1,52	1,76	1,69	1,762	1,86	1,77
b_6	49,39	41,78	38,02	49,52	49,06	46,5	55,21	54,39	49,18
b_7	103,01	94,3	91,77	97,28	98,93	101,59	101,89	101,39	100,39
c_0	5,4419	5,4877	4,7697	6,4701	5,8636	4,7453	6,9657	6,5809	6,0398
c_1	3,7364	2,4673	2,7487	2,9820	3,0122	2,9581	3,6532	3,547	2,5951
c_2	1,9457	1,7566	1,6797	1,7604	1,7335	1,9286	1,7658	1,7750	1,9153
c_3	1,845	1,9104	1,8793	1,7508	1,7452	1,7378	1,6268	1,7321	1,6542
c_4	415,91	510,08	343,24	198,33	216,91	247,68	114,39	219,54	186,67
c_5	0,1128	0,1622	0,2642	0,1432	0,1690	0,1842	0,1309	0,1704	0,1019
c_6	2,3538	2,1963	1,9549	2,2690	2,1985	2,0873	2,3286	2,1977	2,3954
d_0	10	5,5	3	5	5	8	8	8	8
d_1	-1	1	2	1,2	1,2	0	0	0	0