

RECOMENDACIÓN UIT-R F.1402*, **

CRITERIOS DE COMPARTICIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE UN SISTEMA DE ACCESO INALÁMBRICO MÓVIL TERRESTRE Y UN SISTEMA DE ACCESO INALÁMBRICO FIJO QUE UTILIZA EL MISMO TIPO DE EQUIPO QUE EL SISTEMA DE ACCESO INALÁMBRICO MÓVIL TERRESTRE

(Cuestiones UIT-R 215/8 y UIT-R 140/9)

(1999)

1 Introducción

Actualmente la tecnología de los sistemas móviles terrestres se utiliza para los sistemas de acceso inalámbrico fijo (FWA, *fixed wireless access*). Estos sistemas FWA son cada vez más populares y se están instalando con gran rapidez, dado que la amplia demanda de comunicaciones móviles propicia la producción de equipos económicos para esta aplicación. En la presente Recomendación, un sistema móvil terrestre se denomina sistema de acceso inalámbrico móvil terrestre (MWA, *mobile wireless access*), y el sistema de acceso inalámbrico fijo que utiliza el mismo tipo de equipo se denomina sistema FWA basado en MWA, o simplemente sistema FWA. Esta terminología se basa en la Recomendación UIT-R F.1399.

En la mayoría de los casos estos sistemas FWA son diseñados en la misma banda de frecuencias que los sistemas MWA para aumentar la eficacia de fabricación. Por consiguiente, es urgente y crítico estudiar los criterios de compartición, en particular la separación geográfica necesaria, entre ambos sistemas.

Se necesita disponer de estos criterios cuando una administración desea utilizar la banda de frecuencias con atribuciones dobles (es decir, a los servicios fijo y móvil) para ambas aplicaciones FWA y MWA con una separación geográfica determinada.

La Recomendación UIT-R F.1334 presenta una técnica estadística para calcular las condiciones de interferencia cuando el sistema móvil terrestre y el sistema fijo utilizan diferente tipo de equipo. Con miras a proporcionar la información complementaria, la presente Recomendación describe principalmente la interferencia entre un sistema MWA y un sistema FWA que utilizan el mismo tipo de equipo con los mismos parámetros de diseño.

2 Alcance

La presente Recomendación describe los criterios de compartición de frecuencias entre los sistemas FWA y MWA suponiendo que ambos sistemas utilizan la misma frecuencia y el mismo tipo de equipo. Se calculan las separaciones geográficas necesarias entre ambos sistemas cuando estos emplean dúplex por división en el tiempo (DDT) o dúplex por división de frecuencia (DDF).

3 Referencias

- Recomendación UIT-R F.1334: Criterios de protección para sistemas del servicio fijo que comparten las mismas bandas de frecuencias en la gama de 1 a 3 GHz con el servicio móvil terrestre;
- Recomendación UIT-R F.1399: Terminología del acceso inalámbrico.

* Esta Recomendación fue elaborada conjuntamente por las Comisiones de Estudio 8 (Grupo de Trabajo 8A) y 9 (Grupo de Trabajo 9B) de Radiocomunicaciones, y cualquier ulterior modificación debe ser efectuada también conjuntamente.

** Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 3 (Grupo de Trabajo 3K) y 8 (Grupo de Trabajo 8A) de Radiocomunicaciones.

4 Recomendación

4.1 Modelo de interferencia

A continuación se indican los requisitos previos para establecer un modelo de interferencia:

- Los sistemas MWA y FWA utilizan equipos con las mismas especificaciones.
- Los sistemas MWA y FWA son sistemas punto a multipunto.
- Los sistemas MWA y FWA emplean DDT o DDF para transmisión dúplex.

La Fig. 1 muestra un modelo de interferencia, cuando diversas interferencias pueden ser clasificadas en los siguientes ocho tipos:

Caso I: El sistema MWA es interferido:

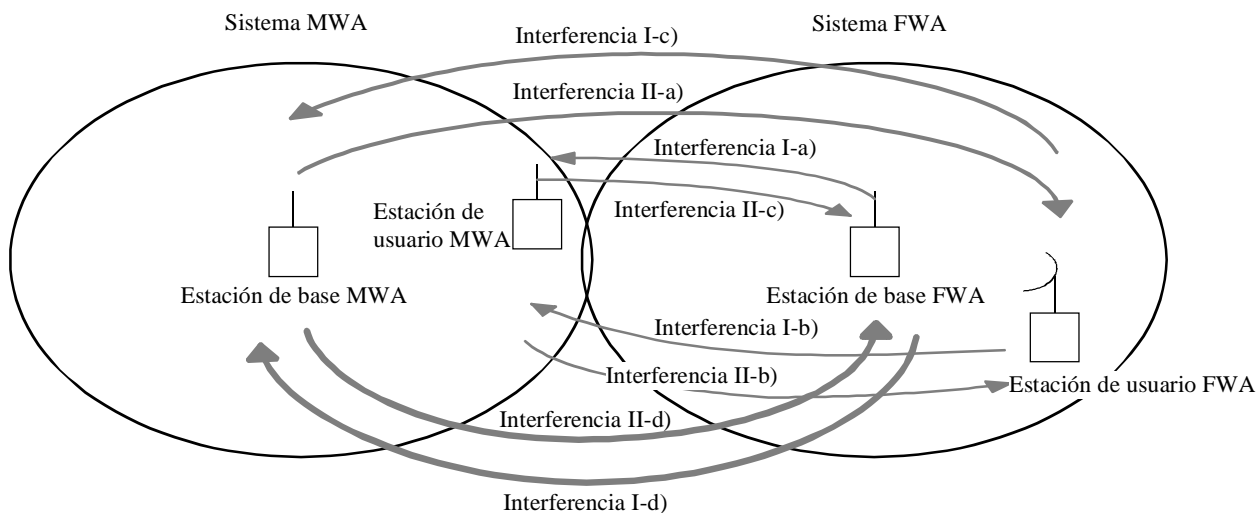
- I-a) Estación de base FWA \Rightarrow estación de usuario MWA.
- I-b) Estación de usuario FWA \Rightarrow estación de usuario MWA (sistema DDT solamente).
- I-c) Estación de usuario FWA \Rightarrow estación de base MWA.
- I-d) Estación de base FWA \Rightarrow estación de base MWA (sistema DDT solamente).

Caso II: El sistema FWA es interferido:

- II-a) Estación de base MWA \Rightarrow estación de usuario FWA.
- II-b) Estación de usuario MWA \Rightarrow estación de usuario FWA (sistema DDT solamente).
- II-c) Estación de usuario MWA \Rightarrow estación de base FWA.
- II-d) Estación de base MWA \Rightarrow estación de base FWA (sistema DDT solamente).

FIGURA 1

Modelo de interferencia



I-d) y II-d): interferencia dominante en entorno DDT
I-c) y II-c): interferencia dominante en entorno DDF

1402-01

4.2 Interferencia dominante

Si las zonas de servicio de los sistemas FWA y MWA están totalmente separadas entre sí, el factor principal que determina el nivel de interferencia no es la posición individual de las estaciones, es decir, la distancia entre la fuente de interferencia y el equipo interferido. El nivel de interferencia depende de la potencia de salida del transmisor, de la ganancia de la antena, de la altura de la antena y de la dirección del haz principal de la antena.

Se supone que en los anteriores ocho tipos de interferencia, se mantiene el trayecto de visibilidad directa sin obstáculos. En relación con el tipo de antena, sólo las estaciones de usuario FWA emplean antenas directivas mientras que otras tres clases de estaciones utilizan el tipo omnidireccional o sectorizado.

En el Caso I para el entorno DDF, la interferencia I-c) se considera más crítica que la interferencia I-a), porque la estación de usuario FWA tiene antena directiva. Se aplica una consideración similar en el Caso II para el entorno DDF.

En el Caso I para el entorno DDT, la interferencia I-d) se considera más crítica que la interferencia I-c), porque la estación de base FWA está situada en un punto más alto, de modo que cubre la zona y la condición de propagación entre la estación de base MWA y la estación FWA es mejor que la condición entre la estación de base MWA y la estación de usuario FWA. Se aplica una consideración similar en el Caso II para el entorno DDF.

En consecuencia, el criterio de compartición se debe determinar considerando la siguiente interferencia dominante:

a) *Caso I:*

- Entorno DDT: I-d) estación de base FWA \Rightarrow estación de base MWA.
- Entorno DDF: I-c) estación de base FWA \Rightarrow estación de base MWA.

b) *Caso II:*

- Entorno DDT: II-d) estación de base MWA \Rightarrow estación de base FWA.
- Entorno DDF: II-a) estación de base MWA \Rightarrow estación de usuario FWA.

Cabe señalar que la misma combinación de interferencia con sentido opuesto, es decir I-d) y II-d), o I-c) y II-a) dará como resultado el mismo nivel, pues MWA y FWA utilizan los mismos parámetros de sistema.

Además se ha de señalar que si en un entorno DDT se logra la sincronización de transmisión DDT dentro del sistema y con el sistema interferente, se puede aplicar la combinación para el entorno DDF.

En la interferencia anterior la antena directiva en la estación de usuario FWA está orientada hacia la estación de base MWA. Además, se supone el caso más desfavorable cuando una estación de usuario FWA está situada cerca de la estación de base FWA.

4.3 Criterio de protección para los sistemas MWA contra la interferencia producida por el sistema FWA

4.3.1 Condiciones en el entorno DDT

El nivel de interferencia I (dBm) (valor mediano) en la estación de base MWA se puede calcular como sigue:

$$I = P_{tC} - L_{fC} - L_{fB} + G_C + G_B - L \quad (1)$$

donde:

- L : pérdida de propagación (dB)
- P_{tC} : potencia transmisora de la estación de base FWA (dBm)
- L_{fC} : pérdida de la línea de alimentación de la estación de base FWA (dB)
- L_{fB} : pérdida de la línea de alimentación de la estación de base MWA (dB)
- G_C : ganancia de antena de la estación de base FWA (dBi)
- G_B : ganancia de antena de la estación de base MWA (dBi).

En este caso, el nivel de interferencia admisible máximo para el sistema MWA se puede calcular como sigue:

$$I < N_B + X \quad (2)$$

donde:

- N_B : nivel de ruido térmico en el receptor MWA (dBm)
- X : relación (I/N) relativa admisible en los criterios a largo plazo (dB).

X indica la interferencia admisible comparada con el ruido térmico. Para el sistema MWA que funciona en un umbral relacionado con el ruido térmico se requiere que la influencia mutua de MWA y FWA sea mínima (digamos, 1 dB); en este caso, la interferencia debe ser aproximadamente 6 dB por debajo del ruido térmico y X será de -6 dB aproximadamente.

En algunos casos la influencia mutua de MWA y FWA puede tener el mismo nivel que el ruido térmico para mejorar la compartición eficaz desde el punto de vista geográfico, y en este caso X será 0 dB aproximadamente.

Otro enfoque posible para la compartición de frecuencias es que se acepte cierto nivel de interferencia para MWA y FWA, porque este sistema tiene las funciones para evitar la interferencia. Aunque se puede reducir la capacidad de tráfico, el sistema puede funcionar incluso cuando hay cierta interferencia. En este caso, X puede ser mayor que 0 dB y la distancia de separación será más corta.

En el diseño del enlace de los sistemas FWA, L se suele calcular a partir de la propagación en el espacio libre cuando se obtiene un radio de Fresnel suficiente. Por otra parte, en el caso de sistemas MWA, se puede adoptar un enfoque diferente. Es muy probable que no se obtenga el trayecto de propagación con un radio de zona de Fresnel suficiente para cada trayecto de interferencia de la Fig. 1. En tales casos, se prevé una pérdida de propagación mayor que la propagación en el espacio libre. Si se supone que la pérdida de propagación en la distancia, d , se expresa por $L(d)$, la distancia mínima, $d_{mín}$, entre ambas estaciones viene dada por la siguiente fórmula derivada de las fórmulas (1) y (2):

$$L(d_{mín}) = P_{tC} - L_{fC} - L_{fB} + G_C + G_B - (N_B + X) \quad (3)$$

4.3.2 Condiciones en el entorno DDF

En el entorno DDF, la distancia mínima $d_{mín}$ entre ambas estaciones se puede calcular para diferente interferencia dominante pero de la misma manera, como sigue:

$$L(d_{mín}) = P_{tS} - L_{fS} - L_{fB} + G_S + G_B - (N_B + X) \quad (4)$$

donde:

P_{tS} : potencia transmisora de la estación de usuario FWA (dBm)

L_{fS} : pérdida de la línea de alimentación de la estación de usuario FWA (dB)

G_S : ganancia de antena de la estación de usuario FWA (dBi).

4.4 Criterios de protección para los sistemas FWA contra la interferencia producida por el sistema MWA

Los criterios de protección para los sistemas FWA con respecto a la interferencia del sistema MWA se pueden deducir de los resultados indicados en el punto anterior. Como se mencionó antes, en el Caso II los niveles de interferencia de II-d) y II-a) equivalen a los de I-d) y I-c) en el Caso I.

4.5 Ejemplos del cálculo

En los Anexos 1 y 2 se muestran ejemplos del cálculo de interferencia basado en el sistema real.

ANEXO 1

Ejemplos de cálculo de condiciones de interferencia en la banda 1,9 GHz

El siguiente ejemplo muestra cómo calcular las condiciones entre un sistema de teléfono manual personal (PHS, *personal handy-phone system*) y PHS-FWA (o PHS-bucle local inalámbrico (WLL, *wireless local loop*)) en la banda 1,9 GHz (entorno DDT). Incluso en otros entornos, se obtendrán resultados similares cambiando los parámetros.

La tecnología PHS emplea asignación dinámica de canales (DCA, *dynamic channel assignment*). Con esta tecnología, más de un sistema, posiblemente explotado por diferentes entidades operadoras, comparten los mismos radiocanales evitando el uso de la misma frecuencia en cada intervalo de tiempo.

Por consiguiente, es técnicamente factible que un sistema FWA y un sistema MWA con DCA compartan la misma banda de frecuencias en la misma zona. Sin embargo, en este cálculo, la existencia de la función DCA no se considera como en sistemas reales. En cambio, sólo se examinan las condiciones de compartición ordinarias, en las cuales dos sistemas utilizan la misma frecuencia, aceptando un determinado nivel de degradación por mutua interferencia.

En este ejemplo la interferencia de condiciones PHS-FWA a PHS se calculan suponiendo que las condiciones de PHS-FWA a PHS y las condiciones de PHS a PHS-FWA son simétricas en el diseño del trayecto radioeléctrico.

1 Cálculo de la pérdida de propagación necesaria

Los parámetros del sistema para la estación de base FWA y la estación de base MWA figuran en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Sistema supuesto (estación de base FWA y estación de base MWA)

Parámetro	Contenido
Interfaz	R2
Sistema	PHS a PHS-FWA
Método de acceso/dúplex	AMDT/DDT
Número de intervalos	4
Potencia transmisora, P_{tC}	13 dBm (valor medio)/22 dBm (valor de cresta)
Anchura de banda	300 kHz
Factor de ruido	10 dB
Umbral mínimo de ruido	-109 dBm
Ganancia de antena, G_C, G_B	10 dBi
Pérdida de la línea de alimentación, L_{fC}, L_{fB}	1 dB
Altura del punto de alimentación, h_C, h_B	10 m
Relación I/N admisible	X dB

La pérdida de propagación necesaria para el sistema supuesto en el Cuadro 1 será como sigue, de acuerdo con la ecuación (3):

$$\begin{aligned}
 L(d_{mín}) &= P_{tC} - L_{fC} - L_{fB} + G_C + G_B - (N_B + X) \\
 &= 22 - 1 - 1 + 10 + 10 - (-109 + X) \\
 &= 149 - X \qquad \qquad \qquad \text{dB}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

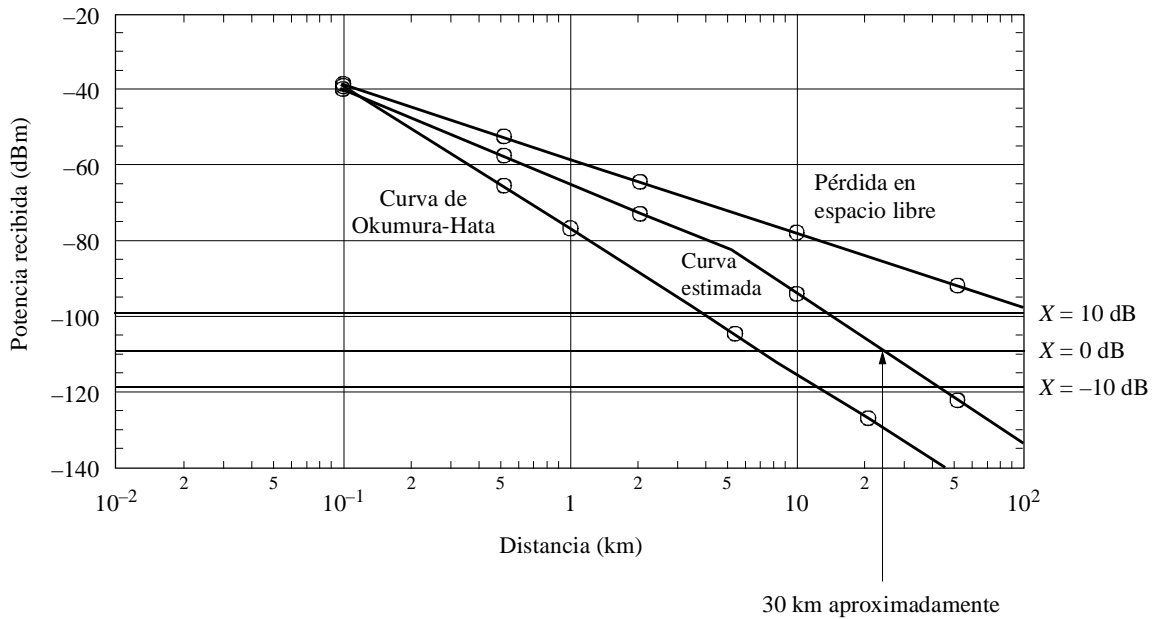
2 Cálculo de la distancia de separación

Suponiendo la coexistencia del sistema MWA principalmente en una zona urbana y del sistema FWA principalmente en una zona rural, la distancia de separación se calcula utilizando las características de pérdida de propagación en una zona rural.

El Apéndice 1 al Anexo 1 muestra el método de estimación de las características de propagación en zonas rurales.

En la Fig. 2, la distancia de separación se calcula utilizando la curva estimada de las características de potencia recibida en función de la distancia que se muestra en la Fig. 4. La distancia de separación será aproximadamente 30 km en $X = 0$ dB.

FIGURA 2
Cálculo de la distancia de separación



Nota 1 – h_c está fuera de su gama de aplicación (30-200 m) en la curva de Okumura-Hata. No se considera el ajuste basado en las condiciones topográficas y de los edificios.

1402-02

APÉNDICE 1
AL ANEXO 1

Características de propagación en la banda de 1,9 GHz en zonas rurales*

1 Características de la propagación a corta distancia en zonas rurales

La pérdida de propagación aumentada por la pérdida en espacio libre en la banda de 1,9 GHz se calculó a partir de la pérdida de propagación medida en un terreno comparativamente llano y abierto, donde solamente existen casas y arboledas en pequeña escala en la ruta de propagación. Con la altura de la antena transmisora, la altura de la antena receptora y la distancia de transmisión como parámetros, la pérdida de propagación adicional se calculó utilizando la siguiente fórmula experimental:

$$L_a = [52,53 - 36,45 \log (h_t + h_r)] \log d + 61,93 \log (h_t + h_r) - 89,24 \quad (6)$$

donde:

- L_a : pérdida de propagación adicional (no incluida la pérdida en el espacio libre) (dB)
 - h_t : altura de la antena transmisora (m) (aproximadamente 10 m a 20 m)
 - h_r : altura de la antena receptora (m) (aproximadamente 2 m a 10 m)
 - d : distancia de transmisión (m)
- el valor máximo para $(h_t + h_r)$ es 25 m.

La fórmula experimental (6) es aplicable a la propagación a corta distancia desde unos 100 m hasta 5 km aproximadamente.

* Las características de propagación propuestas en este Apéndice y la aplicabilidad de las fórmulas (6) y (7) a bandas de frecuencias distintas a 1,9 GHz deben ser examinadas posteriormente en el trabajo de la Comisión de Estudio 3 (Grupo de Trabajo 3K) de Radiocomunicaciones.

2 Características de la propagación a larga distancia en zonas rurales

De acuerdo con las características de propagación a larga distancia en una zona extremadamente abierta donde no hay obstáculos en la ruta de propagación, la pérdida de propagación es proporcional al cuadrado de la distancia hasta el punto crítico, B_p , y casi la cuarta potencia de la distancia por encima de B_p .

Para calcular B_p , se supone la fórmula (7):

$$B_p = \frac{4h_t h_r}{\lambda k_f^2} \quad (7)$$

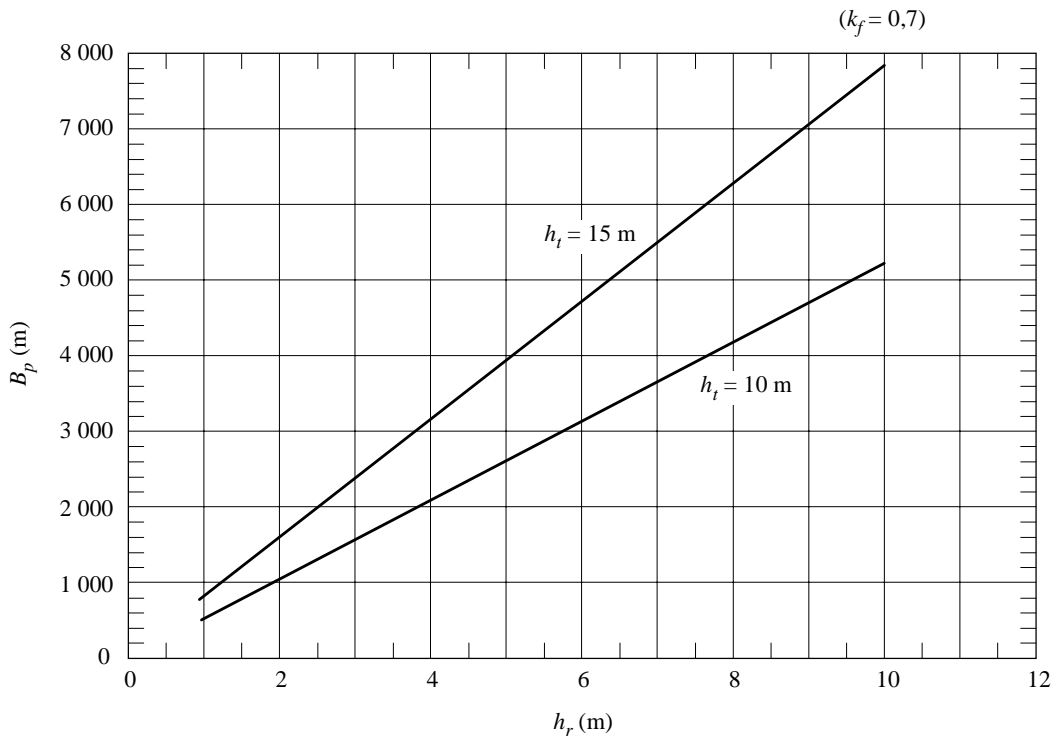
donde:

k_f : factor del radio de la zona de Fresnel

λ : longitud de onda.

La Fig. 3 muestra B_p calculado a partir de h_r y h_t .

FIGURA 3
Cálculo de B_p



3 Estimación de la pérdida de propagación en zonas rurales

3.1 Método de estimación de la pérdida de propagación

Considerando los resultados anteriores, la pérdida de propagación en un terreno comparativamente plano y abierto, donde sólo existen casas y arboledas en pequeña escala en la ruta de propagación puede estimarse como sigue:

Paso 1: Calcúlese B_p utilizando la fórmula (7) ($k_f = 0,7$).

Paso 2: Cuando la distancia de propagación es hasta B_p ($d \leq B_p$):

$$L = L_a + L_0$$

donde:

L : pérdida de propagación total (dB)

L_a : pérdida de propagación adicional (dB) calculada utilizando la fórmula (6)

L_0 : pérdida de propagación en el espacio libre (dB).

Paso 3: Cuando la distancia de separación rebasa B_p ($B_p < d$):

$$L \text{ (dB)} = L \text{ (dB) en } B_p + 40 \log (d/B_p).$$

3.2 Ejemplo de estimación de la potencia recibida en función de la distancia

Cuando la potencia transmitida es 22 dBm (valor de cresta), la ganancia de la antena transmisora es 10 dBi, la pérdida de alimentación de la potencia transmisora es 1 dB, la altura de la antena transmisora es 10 m, la ganancia de la antena receptora es 10 dBi, la pérdida de alimentación de potencia recibida es 1 dB, y la altura de la antena transmisora es 10 m, las características de la potencia recibida en función de la distancia se pueden calcular como sigue:

La potencia recibida P_r en B_p será como sigue:

$$\begin{aligned} B_p &= (4 \times 10 \times 10) (0,158 \times 0,7^2) \\ &= 5166,7 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_a(d = B_p) &= [52,53 - 36,45 \log (10 + 10)] \log (5166,7) + 61,93 \log (10 + 10) - 89,24 \\ &= 10,3 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_0(d = B_p) &= 20 \log (4 \times \pi \times 5166,7/0,158) \\ &= 112,3 \text{ dB} \end{aligned}$$

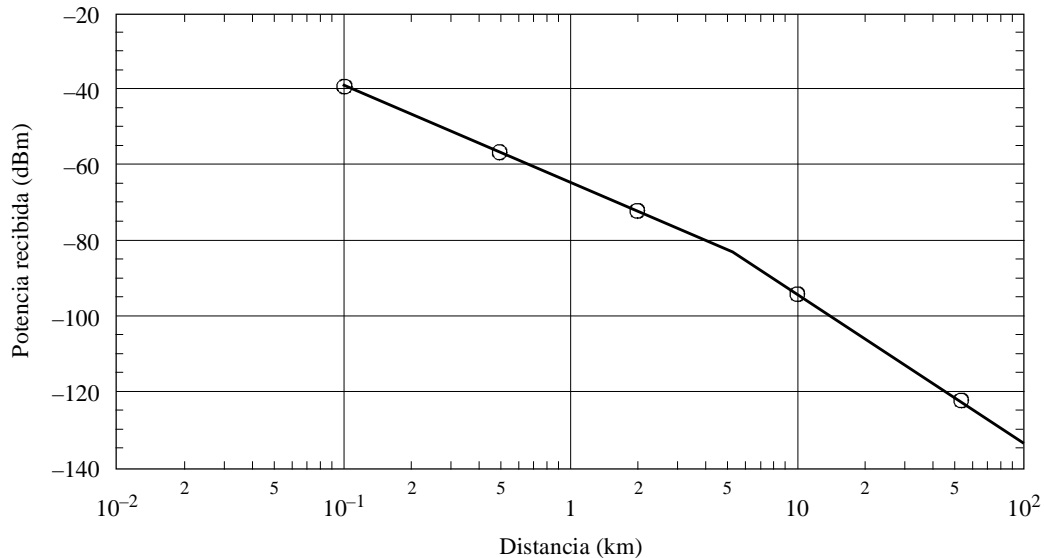
$$\begin{aligned} L(d = B_p) &= L_a(d = B_p) + L_0(d = B_p) = 10,3 + 112,3 \\ &= 122,6 \text{ dB} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_r(d = B_p) &= 22 + 10 - 1 + 10 - 1 - L \\ &= 22 + 10 - 1 + 10 - 1 - 122,6 \\ &= -82,6 \text{ dBm} \end{aligned}$$

La Fig. 4 muestra la curva estimada para las características de la potencia recibida.

FIGURA 4

Características estimadas de la potencia recibida en función de la distancia en una zona rural



1402-04

ANEXO 2

Ejemplos de cálculo de las condiciones de interferencia en la banda de 800 MHz

El ejemplo siguiente muestra cómo calcular las condiciones entre un sistema celular digital personal (PDC, *personal digital cellular*) y PDC-FWA (o PDC-WLL) en la banda de 800 MHz (entorno DDF). Incluso en otros entornos, se obtendrán resultados similares cambiando los parámetros.

En comparación con los sistemas sin hilos examinados en el Anexo 1, PDC/PDC-FWA tiene las siguientes características:

- Se emplea el esquema de acceso DDF;
- la potencia transmisora es más alta, y la antena de la estación de base está situada en un punto más alto, por lo que dicha estación de base cubre una zona mayor;
- dado que una estación de base PDC que cubre una zona más amplia, típicamente de hasta 50 km, interfiere con el sistema FWA, para estimar la interferencia se puede utilizar la curva de propagación usualmente aplicada para el sistema móvil celular.

(Por el contrario, en los sistemas sin hilos, una estación de base MWA cubre una zona más pequeña de varios centenares de metros, y la estación de base MWA que puede causar interferencia a FWA está situada cerca de una zona rural y se supone una curva de propagación diferente.)

En este ejemplo, la interferencia de condiciones PDC-FWA a PDC se calcula suponiendo que las condiciones de PDC-FWA a PDC y las condiciones de PDC a PDC-FWA son simétricas en el diseño del trayecto radioeléctrico.

1 Cálculo de la pérdida de propagación necesaria

Los parámetros del sistema para los sistemas supuesto FWA y MWA figuran en el Cuadro 2.

CUADRO 2

Sistema supuesto (estación de usuario FWA y estación de base MWA)

a) Estación de usuario FWA

Parámetro	Contenido
Interfaz	R1
Sistema	PDC-FWA
Método de acceso/dúplex	AMDT/DDF
Número de intervalos	3
Potencia transmisora, P_{tS}	30 dBm (valor de cresta)
Anchura de banda	50 kHz
Ganancia de antena, G_S	13 dBi (direccional)
Pérdida de la línea de alimentación, L_{fS}	1 dB
Altura del punto de alimentación, h_S	10 m

b) Estación de base MWA

Parámetro	Contenido
Interfaz	R1
Sistema	PDC
Método de acceso/dúplex	AMDT/DDF
Número de intervalos	3
Anchura de banda	50 kHz
Factor de ruido	7 dB
Umbral mínimo de ruido	-120 dBm
Ganancia de antena, G_B	11 dBi (omnidireccional)
Pérdida de la línea de alimentación, L_{fB}	2 dB (línea de alimentación de 50 m)
Altura del punto de alimentación, h_B	50 m
Relación I/N admisible	X dB

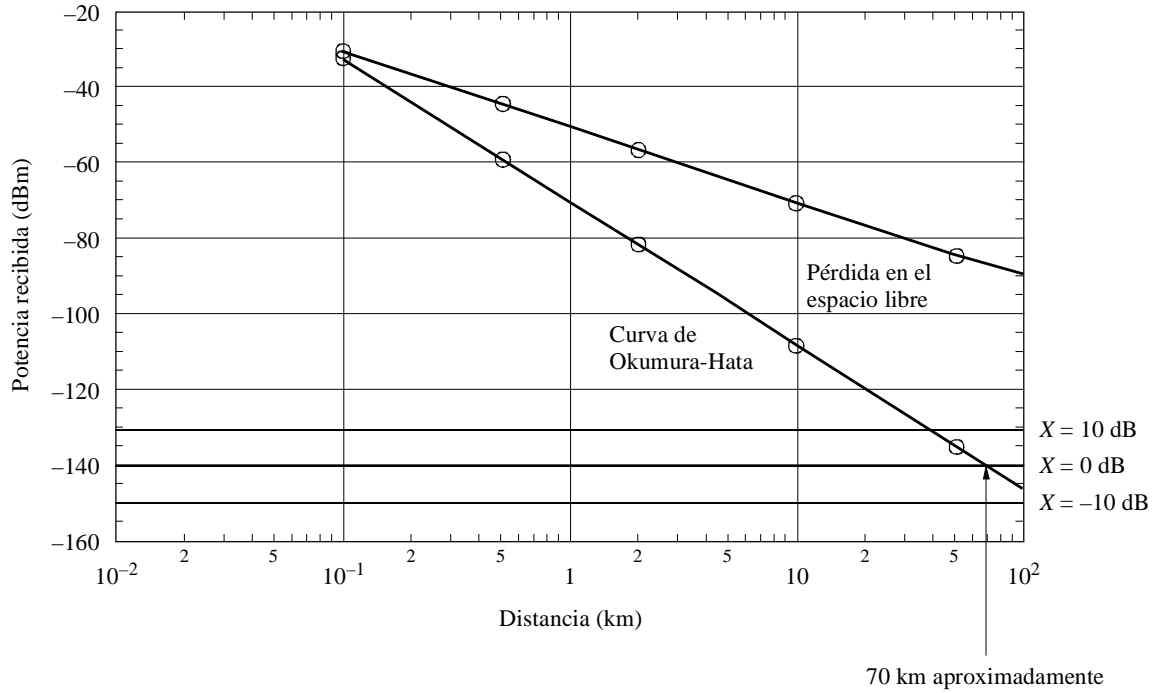
La pérdida de propagación necesaria para el sistema supuesto en el Cuadro 2 será como sigue:

$$\begin{aligned}
 L(d_{\min}) &= P_{tS} - L_{fS} - L_{fB} + G_S + G_B - (N_B + X) \\
 &= 30 - 1 - 2 + 13 + 11 - (-120 + X) \\
 &= 171 - X \text{ dB}
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

2 Cálculo de la distancia de separación

En la Fig. 5 la distancia de separación se calcula utilizando la curva de Okumura-Hata. La distancia de separación será aproximadamente 70 km en $X = 0$ dB.

FIGURA 5
Cálculo de la distancia de separación



Nota 1 – No se considera el ajuste basado en las condiciones topográficas y los edificios.