

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1641

Metodología de evaluación de la interferencia cocanal para determinar la distancia de separación entre un sistema que utiliza estaciones situadas en plataformas a gran altitud y un sistema celular para la provisión de servicios IMT-2000 dentro de los límites de una administración

(2003)

Resumen

En esta Recomendación se presenta una metodología para evaluar la interferencia cocanal y la distancia de separación entre un sistema con estaciones base situadas sobre plataformas a gran altitud (HAPS) para IMT-2000 y un sistema celular con estaciones base situadas en tierra que proporcionan servicios IMT-2000 dentro de los límites de una administración.

En el Anexo 1 se describe una metodología para evaluar la interferencia cocanal que se produce desde una estación base HAPS y desde estaciones base celulares hacia una estación móvil del sistema celular y que proporcionan servicios IMT-2000. Para establecer la distancia de separación entre un sistema HAPS y un sistema celular se utiliza como criterio la relación (C/I). Para evaluar la interferencia en un sistema celular se utiliza un modelo simplificado de una versión ampliada del modelo de Hata. En el Anexo 2 se incluye un ejemplo de cálculo de la distancia de separación entre un sistema HAPS y un sistema celular.

En los Apéndices 1 y 2 se describe cómo se obtienen las ecuaciones utilizadas para los cálculos de interferencia del Anexo 1 y el diagrama de radiación de referencia de la antena, respectivamente.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que se está desarrollando una nueva tecnología que utiliza estaciones situadas en plataformas a gran altitud (HAPS) en la estratosfera;
- b) que la CMR-2000 estableció disposiciones relativas a la utilización de HAPS para proporcionar servicios IMT-2000 en las bandas 1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz y 2110-2170 MHz en las Regiones 1 y 3 y en las bandas 1885-1980 MHz y 2110-2160 MHz en la Región 2;
- c) que la Resolución 221 (CMR-2000) instaba a que se realizaran estudios sobre la compartición entre HAPS y otras estaciones dentro de las IMT-2000, teniendo en cuenta la compatibilidad de las HAPS utilizadas para IMT-2000 con algunos servicios con atribuciones en bandas adyacentes;
- d) que, de conformidad con la Resolución 221, las HAPS pueden ser utilizadas como estaciones base de la componente terrenal de IMT-2000 en las bandas de frecuencias 1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz y 2110-2170 MHz en las Regiones 1 y 3 y en las bandas 1885-1980 MHz y 2110-2160 MHz en la Región 2; la utilización de las HAPS como estaciones base para aplicaciones IMT-2000 no excluye la utilización de dichas bandas por cualquier estación de los servicios a los que éstas están atribuidas y en relación con los cuales el Reglamento de Radiocomunicaciones no establece prioridades,

recomienda

1 que se utilice la metodología incluida en el Anexo 1 como guía para determinar la distancia de separación entre los sistemas HAPS y los sistemas celulares destinados a proporcionar servicios IMT-2000 dentro de los límites de una administración en las bandas de frecuencias del *considerando b*).

NOTA 1 – En relación con los parámetros típicos de un sistema HAPS para los estudios de compartición entre HAPS IMT-2000 y un servicio celular en las bandas de frecuencias del *considerando b*), debe hacerse referencia a la Recomendación UIT-R M.1456.

Anexo 1

Metodología de evaluación de la interferencia cocanal para determinar la distancia de separación entre un sistema que utiliza HAPS y un sistema celular para la provisión de servicios IMT-2000 dentro de los límites de una administración

1 Introducción

La Recomendación UIT-R M.1456 proporciona un límite de la densidad espectral del flujo de potencia (defp) cocanal de las emisiones de HAPS en las zonas limítrofes del territorio de una administración y los límites de la defp fuera de banda de emisiones desde HAPS sobre la superficie de la Tierra, así como requisitos de calidad de funcionamiento de las HAPS para la protección de estaciones móviles terrestres y estaciones fijas que funcionan en las bandas adyacentes a las utilizadas para la transmisión desde las HAPS.

Sin embargo, en el diseño de un sistema celular debe tenerse en cuenta la interferencia que se produce por la existencia de múltiples usuarios en el sistema así como las interferencias producida por otros servicios, siendo la eficiencia espectral función de la interferencia procedente de la misma célula y de células adyacentes.

En esta Recomendación se proporcionan directrices para estimar los efectos de la interferencia cocanal en un sistema celular terrenal IMT-2000, cuyas estaciones de base estén situadas en torres, producida por un sistema HAPS IMT-2000 que sea explotado dentro de los límites de una administración, considerando dos fuentes de interferencia: la interferencia procedente de la propia célula y de una célula adyacente del sistema celular, así como la interferencia producida por una HAPS IMT-2000. Debido a que la interferencia de una HAPS IMT-2000 está basada en el diagrama de radiación de las antenas situadas en las HAPS de la Recomendación UIT-R M.1456, dicho diagrama de radiación se utiliza para evaluar la potencia interferente de un sistema celular de forma que pueda obtenerse la potencia interferente total. La interferencia sobre una estación móvil del sistema celular procedente de estaciones base del sistema celular y de una estación de base HAPS, se evalúa mediante la relación (C/I), utilizando parámetros del sistema HAPS tales como el número de usuarios por célula, el radio de la célula y la potencia de transmisión. Para cada uno de los casos analizados, se determinan los valores óptimos para dichos parámetros del sistema HAPS IMT-2000 de forma que éste sea compatible con el sistema celular. Esta Recomendación proporciona directrices a los proveedores de servicio IMT-2000 que utilicen dichos sistemas dentro de los límites de una administración, que permiten evaluar la distancia de separación entre un sistema HAPS IMT-2000 y un sistema IMT-2000 celular.

2 Modelo del sistema

2.1 Sistemas HAPS IMT-2000

Las HAPS se han desarrollado de conformidad con la Recomendación UIT-R M.1457 para permitir la provisión de servicios IMT-2000 en las bandas de frecuencias 1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz y 2110-2170 MHz en las Regiones 1 y 3, y en las bandas de frecuencias 1885-1980 MHz y 2110-2160 MHz en la Región 2. Además, el diagrama de radiación de la antena de la HAPS utilizada como estación base de un sistema IMT-2000 deberá cumplir lo siguiente:

$$G(\psi) = \begin{cases} G_m - 3(\psi/\psi_b)^2 & \text{dBi} & \text{para } 0 \leq \psi \leq \psi_1 \\ G_m + L_N & \text{dBi} & \text{para } \psi_1 < \psi \leq \psi_2 \\ X - 60 \log(\psi) & \text{dBi} & \text{para } \psi_2 < \psi \leq \psi_3 \\ L_F & \text{dBi} & \text{para } \psi_3 < \psi \leq 90^\circ \end{cases} \quad (1)$$

donde:

$G(\psi)$: ganancia a un ángulo ψ a partir de la dirección del haz principal (dBi)

G_m : ganancia máxima en el lóbulo principal (dBi)

ψ_b : mitad de la abertura angular a 3 dB en el plano de interés (3 dB por debajo de G_m) (grados)

L_N : nivel del lóbulo lateral próximo (dB) con respecto a la ganancia de cresta requerida por el diseño del sistema, cuyo valor máximo es -25 dB

$L_F = G_m - 73$ dB nivel de lóbulo lateral lejano (dBi)

$\psi_1 = \psi_b \sqrt{-L_N/3}$ grados

$\psi_2 = 3,745\psi_b$ grados

$X = G_m + L_N + 60 \log(\psi_2)$ dB

$\psi_3 = 10^{\frac{X-L_F}{60}}$ grados

La anchura del haz a 3 dB ($2\psi_b$) se estima de nuevo mediante:

$$\psi_b = \sqrt{\frac{7442}{10^{0,1G_m}}} \quad \text{grados}$$

donde G_m es la ganancia de cresta de abertura (dBi).

2.2 Modelo de propagación

Para el sistema celular se considera un modelo simplificado de una versión ampliada del modelo de Hata, mientras que para el sistema HAPS se utiliza el modelo de pérdidas en espacio libre.

El modelo de pérdidas en espacio libre es adecuado para un ángulo de elevación elevado, debiéndose utilizar con precaución para ángulos de elevación bajos hasta que se desarrolle un modelo mejor para sistemas HAPS, momento en que se deberá revisar esta metodología.

2.2.1 Modelo simplificado de una versión ampliada del modelo de Hata

Se utiliza de forma generalizada una versión ampliada del modelo de Hata de la ecuación (2) para modelar los canales de radiocomunicaciones de un sistema celular en una zona urbana cuya antena de estación base se encuentre a una altura de 30 m y la antena de la estación móvil a 1,5 m de altura.

$$L = 25,87 + 33,9 \log_{10}(F) + 35,2 \log_{10}(R) \quad (2)$$

donde:

L : pérdida del trayecto (dB)

F : frecuencia (MHz)

R : distancia (km).

Tal como se muestra en la ecuación (3), en redes celulares terrenales generalmente se utiliza la ley de pérdidas de trayecto de la cuarta potencia como modelo simplificado de la versión ampliada del modelo de Hata con el objeto de simplificar la obtención de la fórmula.

$$L = 25,87 + 33,9 \log_{10}(F) + 40 \log_{10}(R) \quad (3)$$

2.2.2 Modelo de pérdidas en espacio libre

$$L = 32,4 + 20 \log_{10}(F) + 20 \log_{10}(R) \quad (4)$$

donde:

L : pérdida del trayecto (dB)

F : frecuencia (MHz)

R : la distancia (km).

3 Análisis de la relación C/I en una estación móvil celular y C/I necesaria para determinar la distancia de separación entre el sistema HAPS y el sistema celular

3.1 Análisis de la relación C/I en una estación móvil celular

La Fig. 1 muestra el modelo que describe la interferencia que recibe una estación móvil celular procedente de estaciones de base celulares y de una estación de base HAPS. Se supone que la estación móvil celular interferida está situada en el punto más cercano a la zona de servicio de la HAPS, tal como se muestra en la Fig. 1. La potencia interferente recibida en dicha estación móvil celular puede obtenerse mediante la ecuación (5), teniendo en cuenta la interferencia procedente de estaciones de base celulares y de la estación de base HAPS (véase el Apéndice 1). Debido a que la estación móvil celular se encuentra situada en el límite de la zona de cobertura del sistema celular, se supone despreciable la interferencia dentro de la propia célula.

$$I = I_{Cellular} + I_{HAPS} = \frac{\alpha_i S_i M_i l_i}{3} \sum_{n=1}^N c_{in} d_{in}^{-4} \left[1 + K \frac{c_{hn} d_{hn}^{-2}}{c_{in} d_{in}^{-4}} 10^{\frac{G(\phi_{hn})}{10}} \right] \quad (5)$$

donde:

α_i : factor de actividad de la voz en un sistema celular

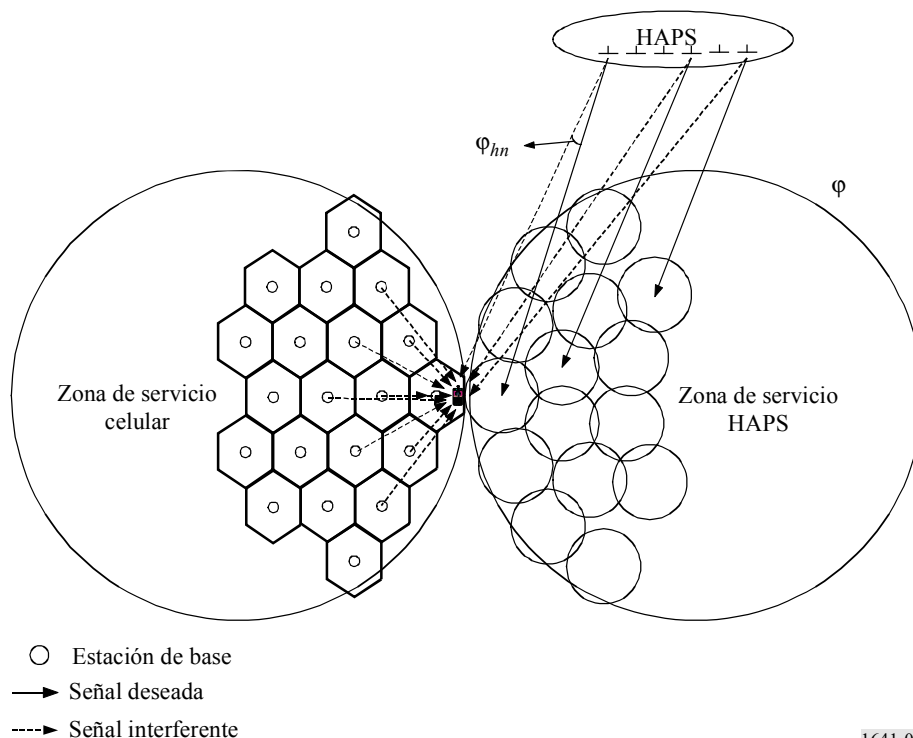
S_i : potencia del enlace directo celular del usuario situado en el límite de la célula (W)

M_i : número de usuarios por célula del sistema celular

- l_i : pérdida del trayecto del sistema celular
 - c_{in} : número de células interferentes del sistema celular ($= 2n + 1$)
 - c_{hn} : número de haces interferentes de la estación de base HAPS ($= 2n - 1$)
 - N : número de enlaces (de interferencia)
 - d_{in} : distancia entre la estación móvil del sistema celular y las estaciones de base celulares (km)
 - d_{hn} : distancia entre la estación móvil del sistema celular y la estación de base HAPS (km)
 - φ_{hn} : ángulo entre la estación móvil celular y la dirección del haz de la célula servida por la estación de base HAPS (grados)
- $$K: \left(= 3 \frac{\alpha_h S_h M_h l_h}{\alpha_i S_i M_i l_i} \right)$$
- α_h : factor de actividad de la voz en un sistema HAPS
 - M_h : número de usuarios HAPS por célula
 - S_h : potencia del enlace directo HAPS (W)
 - l_h : pérdida del trayecto HAPS
 - G : ganancia de la antena expresada en la ecuación (1).

FIGURA 1

Modelo de interferencia sobre una estación móvil del sistema celular



La relación C/I de una estación móvil celular puede obtenerse mediante la ecuación (6).

$$C/I = \frac{P_F(r_j) \times I_i \times R_i^{-4}}{I} \quad (6)$$

donde:

- $P_F(r_j)$: potencia transmitida dedicada a un enlace de usuario a una distancia r_j
- r_j : distancia entre la estación de base celular y el usuario celular j-ésimo
- R_i : radio de la célula del sistema celular (km).

La relación C/I no constituye el único método que puede utilizarse para evaluar la distancia de separación, pudiéndose utilizar otros métodos tales como el aumento de ruido.

3.2 Valor de C/I requerido para determinar la distancia de separación

En esta Recomendación, la distancia de separación se define como la distancia desde el contorno de cobertura de la HAPS hasta el contorno de cobertura de la célula más cercana que puede dar servicio a la estación móvil celular interferida. La compartición de espectro entre un sistema HAPS y un sistema celular para la provisión de servicios IMT-2000 en zonas adyacentes, exige establecer una distancia de separación adecuada. La C/I requerida en una sistema AMDC celular se expresa mediante la ecuación (7):

$$(C/I)_{req} = \left(\frac{E_b}{I_0} \right) \left(\frac{R_b}{B_c} \right) \quad (7)$$

donde:

- E_b : energía/bit
- I_0 : potencia interferente/Hz
- R_b : bits/s
- B_c : anchura de banda del canal de radiocomunicaciones (Hz).

Anexo 2

Ejemplo de cálculo de la distancia de separación entre un sistema HAPS y un sistema celular para la provisión de servicios IMT-2000

1 Parámetros para el cálculo de C/I

En el Cuadro 1 se incluyen los parámetros y valores utilizados para calcular la C/I en una estación móvil celular consecuencia de la interferencia producida por una estación de base HAPS y por estaciones de base celulares.

CUADRO 1

Parámetros para el cálculo de C/I

Parámetro	Valor
Frecuencia (MHz)	1 950
Número de usuarios por célula	50
Número de enlaces (de interferencia)	5
Radio de la célula del sistema celular (km)	1
Potencia de transmisión por usuario del sistema celular (mW)	100
Altitud de HAPS (km)	20
Radio de la zona de cobertura de la célula HAPS (km)	55

Con $E_b/I_0 = 4,5$ dB, $R_b = 8$ kbit/s y $B_c = 1,25$ MHz, $(C/I)_{req} = -17,438$ dB.

Sin tener en cuenta la interferencia procedente de la célula adyacente, la C/I requerida se expresa mediante:

$$(C/I)_{req} = \frac{R^{-4}}{(M-1)R^{-4}} = \frac{1}{M-1} \quad (8)$$

donde:

M : número total de canales de tráfico

R : radio de la célula en el sistema celular.

Si $(C/I)_{req} = -17,438$ dB, $M = 56,44$. La ecuación (8) proporciona la capacidad de radio-comunicaciones sin interferencia de ninguna otra célula del sistema celular. La relación C/I obtenida mediante la ecuación (7) se utiliza como criterio para determinar la distancia de separación entre el sistema HAPS y el sistema celular para servicios IMT-2000.

Los factores de actividad de la voz utilizados, α_i y α_h , tienen un valor de 0,375.

2 Cálculo de la distancia de separación

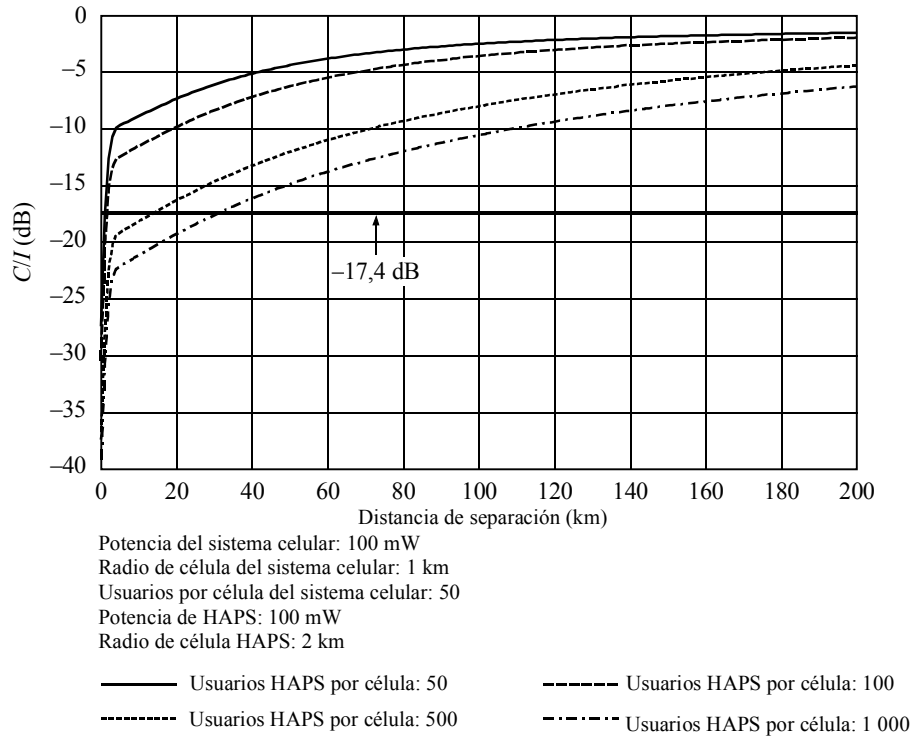
Para el análisis de la interferencia de un sistema celular, en este ejemplo se utiliza un valor de C/I de $-17,4$ dB para determinar la distancia de separación entre el sistema HAPS y el sistema celular. Dicho criterio constituye un límite para el funcionamiento de una estación móvil, el criterio normalmente utilizado es más exigente.

El número de enlaces de interferencia puede ser de hasta 5, debido a que la interferencia adicional es despreciable para un número superior a 5. La ganancia máxima de la antena de la estación de base HAPS se considera adecuada en función del radio de la célula HAPS.

A partir de la ecuación (5) y de las consideraciones anteriores, el valor de C/I como función de la distancia de separación se muestran en las Figs. 2, 3 y 4 para la versión ampliada del modelo simplificado de Hata, teniendo en cuenta el número de usuarios por celular, la potencia de transmisión y el radio de la celda para HAPS, respectivamente.

FIGURA 2

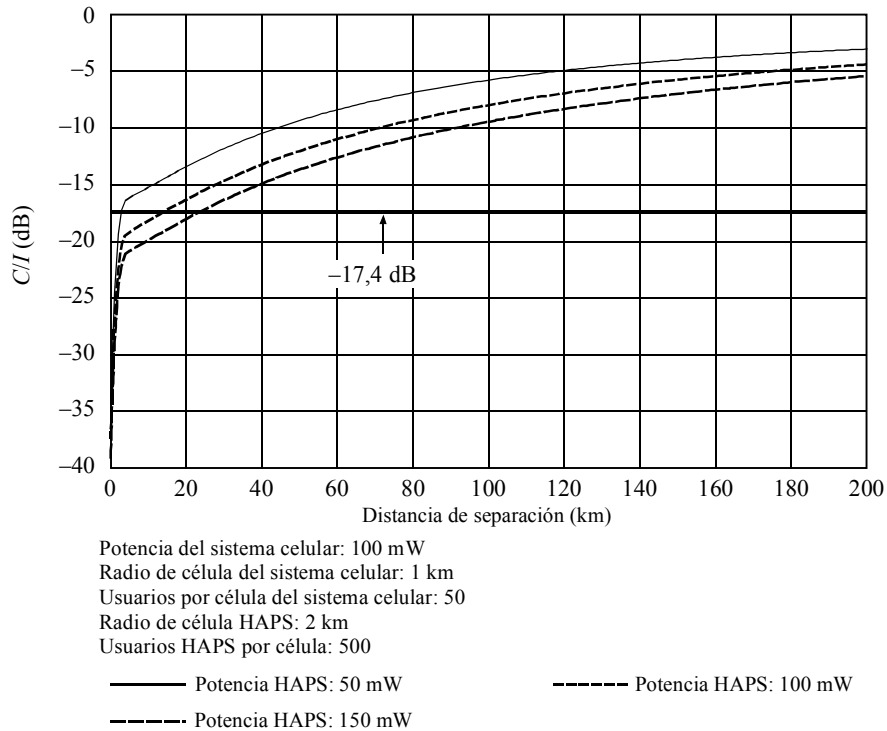
C/I en función de la distancia de separación para varios números de usuarios HAPS por célula



1641-02

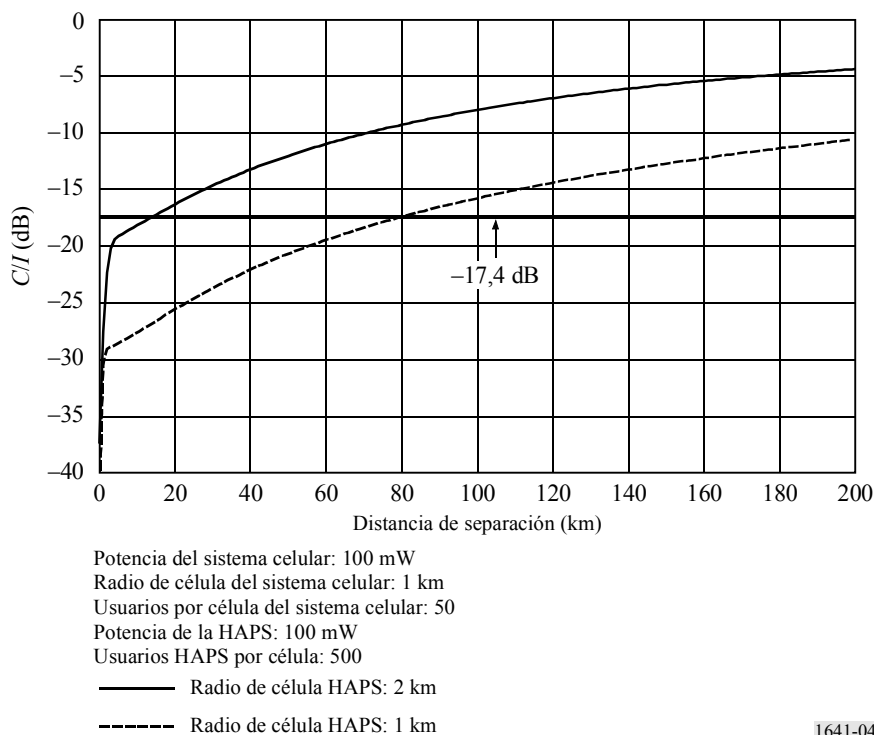
FIGURA 3

C/I en función de la distancia de separación para diferentes potencias de transmisión



1641-03

FIGURA 4
C/I en función de la distancia de separación para diferentes
 radios de célula HAPS



En la Fig. 2 se muestra la relación *C/I* como función de la distancia de separación, teniendo en cuenta el número de usuarios HAPS por célula. Los valores de *C/I* en una estación móvil celular son inferiores al umbral de $-17,4$ dB en el punto de contacto entre ambos sistemas. Cuando la potencia de transmisión HAPS por usuario es de 100 mW y el radio de la célula HAPS es de 2 km, son necesarias distancias de separación entre ambos sistemas de 1,1; 1,6; 14 y 31,1 km para un número de usuarios HAPS por célula de 50, 100, 500 y 1000 respectivamente, tal como se muestra en el Cuadro 2.

En la Fig. 3 se muestra la relación *C/I* como función de la distancia de separación, teniendo en cuenta la potencia de transmisión HAPS por usuario. Los valores de *C/I* en una estación móvil del sistema celular son inferiores al valor umbral en el punto de contacto entre ambos sistemas. Cuando el número de usuarios HAPS por célula es de 500 y el radio de la célula HAPS es de 2 km, las distancias de separación entre ambos sistemas deben ser 3,2, 14,2 y 23,5 km para una potencia de transmisión por usuario de 50, 100 y 150 mW respectivamente, tal como se muestra en el Cuadro 3.

En la Fig. 4 se muestra la relación *C/I* en función de la distancia de separación, teniendo en cuenta el radio de la célula HAPS. Los valores de *C/I* en una estación móvil celular son función del radio de la célula HAPS. Cuando el número de usuarios HAPS por célula es de 500 y la potencia de transmisión por célula es de 100 mW, las distancias de separación entre ambos sistemas deben ser de 14 y 80 km para radios de célula HAPS de 2 y 1 km respectivamente, tal como se muestra en el Cuadro 4.

En el ejemplo del cálculo, y con $C/I = -17,4$ dB, la *C/I* que existiría asumiendo exclusivamente un despliegue celular (es decir, sin HAPS) sería de aproximadamente -8 dB, lo que significa que se dispone de un margen significativo para la interferencia externa. En el segundo ejemplo de cálculo, se supone que el valor de *C/I* está limitado a -12 dB.

CUADRO 2

Distancia de separación en función del número de usuarios HAPS por célula

Usuarios HAPS por célula	Distancia de separación (km)	
	$C/I = -17,4$ (dB)	$C/I = -12$ (dB)
50	1,1	2,1
100	1,6	7,2
500	14	50,2
1 000	31,1	79,5

CUADRO 3

Distancia de separación en función de la potencia de transmisión

Potencia HAPS (mW)	Distancia de separación (km)	
	$C/I = -17,4$ (dB)	$C/I = -12$ (dB)
50	3,2	28,5
100	14,2	50,1
150	23,5	66,1

CUADRO 4

Distancia de separación en función del radio de la célula HAPS

Radio de célula HAPS (km)	Distancia de separación (km)	
	$C/I = -17,4$ (dB)	$C/I = -12$ (dB)
1	80	165
2	14	50,1

Apéndice 1 al Anexo 1

Estimación de la interferencia entre un sistema HAPS y un sistema celular

1 Interferencia sobre una estación móvil celular

1.1 Interferencia procedente de una estación de base celular

La potencia de transmisión de la estación de base, considerando leyes de control de potencia simplificadas, viene dada por:

$$P_F(r_j) = \begin{cases} \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^4 S_i & \text{para } 0 < r_j \leq r_{i0} \\ \left(\frac{r_j}{R_i}\right)^4 S_i & \text{para } r_{i0} < r_j \leq R_i \end{cases} \quad (9)$$

donde:

R_i : radio de la célula del sistema celular

r_j : distancia a la estación móvil j -ésima en una célula

$P_F(r_j)$: potencia transmitida desde el emplazamiento de una célula hasta el usuario celular j -ésimo.

Sea P_c la potencia media transmitida desde el emplazamiento de una célula. De acuerdo con la ley de control de potencia de la ecuación (9):

$$\begin{aligned} P_c &= \alpha_i \rho_i \int_0^{R_i} P_F(r_j) \times 2\pi r_j \, dr_j \\ &= 2\pi \alpha_i \rho_i \left[\int_0^{r_{i0}} \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^4 S_i r_j \, dr_j + \int_{r_{i0}}^{R_i} \left(\frac{r_j}{R_i}\right)^4 S_i r_j \, dr_j \right] \\ &= \frac{\pi \alpha_i \rho_i S_i R_i^2}{3} \left[1 + \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^6 \right] \end{aligned} \quad (10)$$

Si ρ_i es la densidad de usuarios y $\rho_i = \frac{M_i}{\pi R_i^2}$, entonces P_c puede escribirse como:

$$P_c = \frac{\alpha_i S_i M_i}{3} \left[1 + \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^6 \right] \quad (11)$$

Si $r_{i0} = 0,55 R_i$, entonces $\left[1 + \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^6 \right] \approx 1,027 \approx 1$.

Por lo tanto, la ecuación (11) se convierte en:

$$P_c = \frac{\alpha_i S_i M_i}{3} \quad (12)$$

La interferencia total que una estación de base produce sobre una estación móvil del sistema celular viene dada por:

$$I_{Cellular} = \sum_{n=1}^N c_{in} l_i P_c d_{in}^{-4} = \frac{\alpha_i S_i M_i l_i}{3} \left[\sum_{n=1}^N c_{in} d_{in}^{-4} \right] \quad (13)$$

1.2 Interferencia procedente de una estación de base HAPS

La potencia por célula que transmite una estación de base HAPS, P_h se expresa mediante

$$P_h = \alpha_h S_h M_h \quad (14)$$

La interferencia total que una estación de base HAPS produce sobre una estación móvil celular viene dada por:

$$I_{HAPS} = \sum_{n=1}^N c_{hn} l_h P_h 10^{\frac{G(\varphi_{hn})}{10}} d_{hn}^{-2} = \alpha_h S_h M_h l_h \left[\sum_{n=1}^N c_{hn} d_{hn}^{-2} 10^{\frac{G(\varphi_{hn})}{10}} \right] \quad (15)$$

donde:

$$l_h = 1,41 \times 10^{-10}$$

$$d_{hn} = \sqrt{r_{hn}^2 + h_s^2}$$

r_{hn} : distancia desde el nadir de la HAPS hasta la estación móvil celular

h_s : altitud de la HAPS.

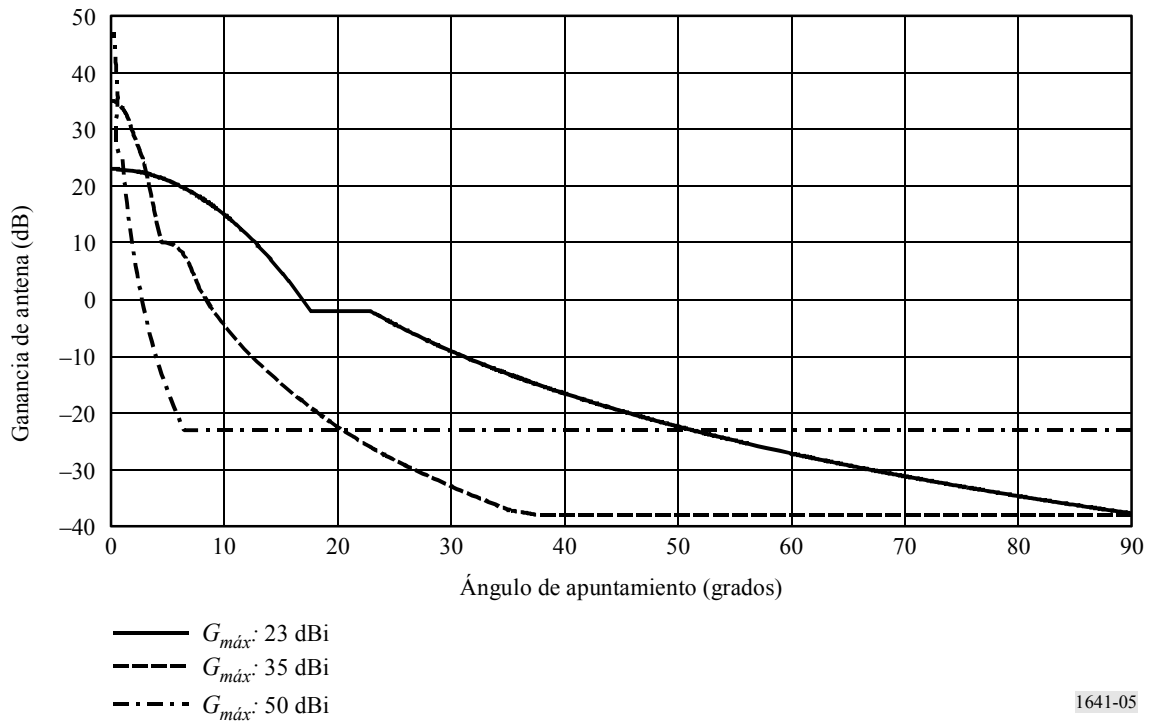
Apéndice 2 al Anexo 1

Diagramas de radiación de las antenas

1 Diagrama de radiación de referencia utilizado (Recomendación UIT-R M.1456)

En la Fig. 5 se muestran las características del diagrama de radiación de referencia considerado, para ganancias de antena máximas de 23 dBi, 35 dBi y 50 dBi, respectivamente.

FIGURA 5
Diagramas de radiación de la antena



1641-05