

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R M.1641-1
(03/2006)**

**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**

Serie M

**Servicios móviles, de radiodeterminación,
de aficionados y otros servicios
por satélite conexos**



Prólogo

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

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

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

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

Series de las Recomendaciones UIT-R

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

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

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

Publicación electrónica
Ginebra, 2010

© UIT 2010

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

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1641-1*

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

(2003-2006)

Cometido

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 estaciones situadas en plataformas a gran altitud (HAPS) para IMT-2000 y un sistema celular con estaciones base situadas en tierra que proporcionan servicios IMT-2000.

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 1 885-1 980 MHz, 2 010-2 025 MHz y 2 110-2 170 MHz en las Regiones 1 y 3 y en las bandas 1 885-1 980 MHz y 2 110-2 160 MHz en la Región 2;
- c) que la Resolución 221 (CMR-03) 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 el número 5.388A del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), las HAPS pueden ser utilizadas como estaciones base de la componente terrenal de IMT-2000 en las bandas de frecuencias 1 885-1 980 MHz, 2 010-2 025 MHz y 2 110-2 170 MHz en las Regiones 1 y 3 y en las bandas 1 885-1 980 MHz y 2 110-2 160 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,

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 9 de Radiocomunicaciones.

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 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

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 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, 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, 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 1 885-1 980 MHz, 2 010-2 025 MHz y 2 110-2 170 MHz en las Regiones 1 y 3, y en las bandas de frecuencias 1 885-1 980 MHz y 2 110-2 160 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

$L_F = G_m - 73$ dBi 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 ecuación.

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

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 : 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.

$$I = I_{Cellular} + I_{HAPS} = \sum_{n=1}^N \left\{ K_c S_i 10^{\frac{G_i}{10}} \left[\sum_{m=1}^{c_{in}} d_{inm}^{-4} \right] + K_h S_{hn} d_h^{-2} \left[\sum_{m=1}^{c_{hn}} 10^{\frac{G_{hn}(\Phi_{hnm})}{10}} \right] \right\} \quad (5)$$

donde:

- α_i : factor de actividad de la voz en un sistema celular
- S_i : potencia del enlace directo de la estación celular de base al usuario situado en el límite de la célula (mW)
- M_i : número de usuarios por célula del sistema celular
- l_i : pérdida del trayecto del sistema celular por km
- c_{in} : número de células interferentes en el n -ésimo nivel del sistema celular ($= 2n + 1$, siendo n un número entero)
- N : número de enlaces (de interferencia)
- c_{hn} : número de haces interferentes HAPS en el n -ésimo nivel a una distancia de $(2N-1) \times$ (radio de la célula HAPS) en torno al perímetro de la célula víctima que se considera
- d_{imm} : distancia entre la estación móvil del sistema celular y las estaciones de base celulares (km)
- d_h : distancia entre la estación móvil del sistema celular y la estación de base HAPS (km)
- Φ_{hnm} : ángulo entre la estación móvil celular y la dirección del haz de la célula servida por la estación de base HAPS (grados)
- S_{hn} : potencia del enlace directo HAPS de la estación de base HAPS al usuario del extremo de la célula HAPS situada en el n -ésimo nivel (mW)
- G_i : ganancia de antena de la estación de base en el sistema celular
- G_{hn} : ganancia de la antena expresada en la ecuación (1) con arreglo al nivel que se considere

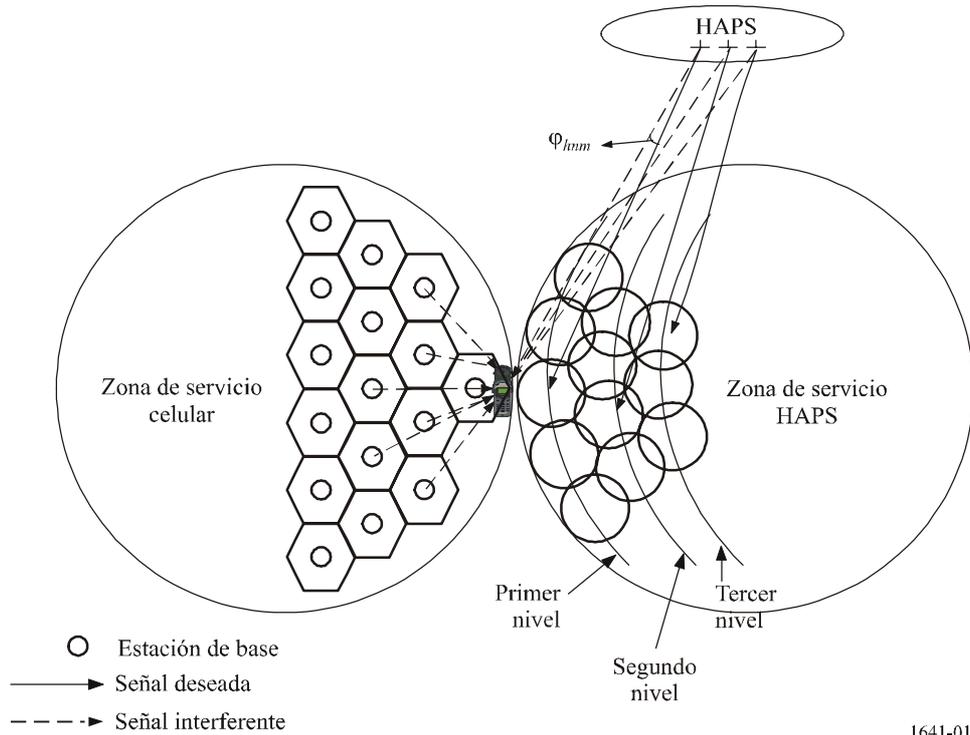
$$K_c = \frac{\alpha_i M_i l_i}{3}$$

$$K_h = \alpha_h M_h l_h$$

- α_h : factor de actividad vocal en el sistema HAPS
- M_h : número de usuarios del sistema HAPS por célula
- l_h : pérdida del trayecto por kilómetro del sistema HAPS.

FIGURA 1

Modelo de interferencia sobre una estación móvil del sistema celular



1641-01

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

$$C/I = \frac{P_F(r_j) \times 10^{\frac{G_i}{10}} \times l_i \times R_i^{-4}}{I} \quad (6)$$

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).

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 un 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 celular	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
Factor de actividad vocal (α_i)	0,375
Factor de actividad vocal del sistema HAPS (α_h)	0,375

Si E_b/I_0 , R_b y B_c son 4,5 dB, 8 kbit/s y 1,25 MHz, respectivamente, y la relación requerida C/I , $(C/I)_{req}$, que se obtiene mediante la ecuación (7) es de -17,438 dB.

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.

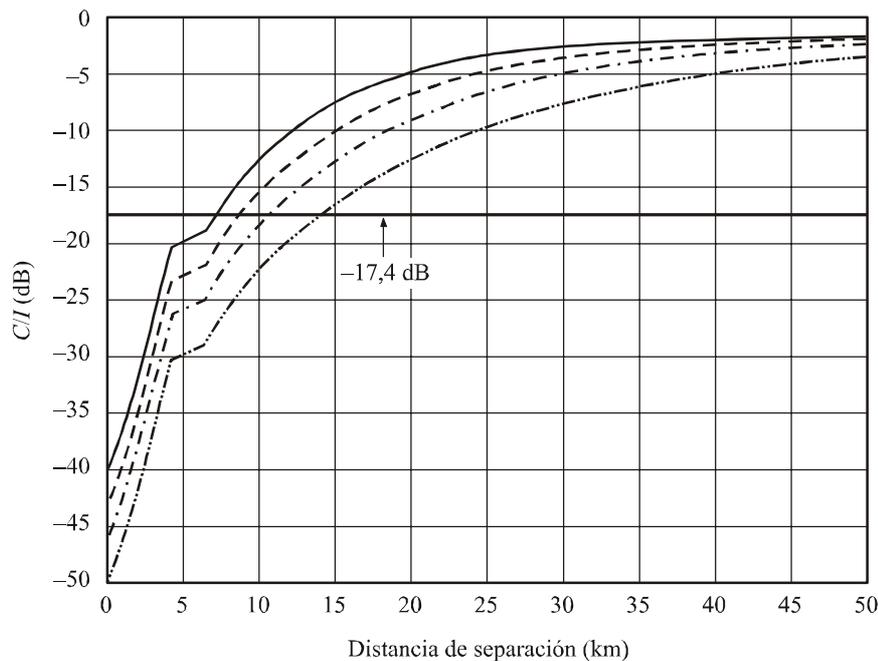
2 Cálculo de la distancia de separación

Para el análisis de la interferencia de un sistema celular, en este ejemplo se utiliza un valor de C/I de $-17,4$ dB como criterio para el diseño interno de la relación C/I del sistema celular terrenal y que se utiliza con el fin de 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.

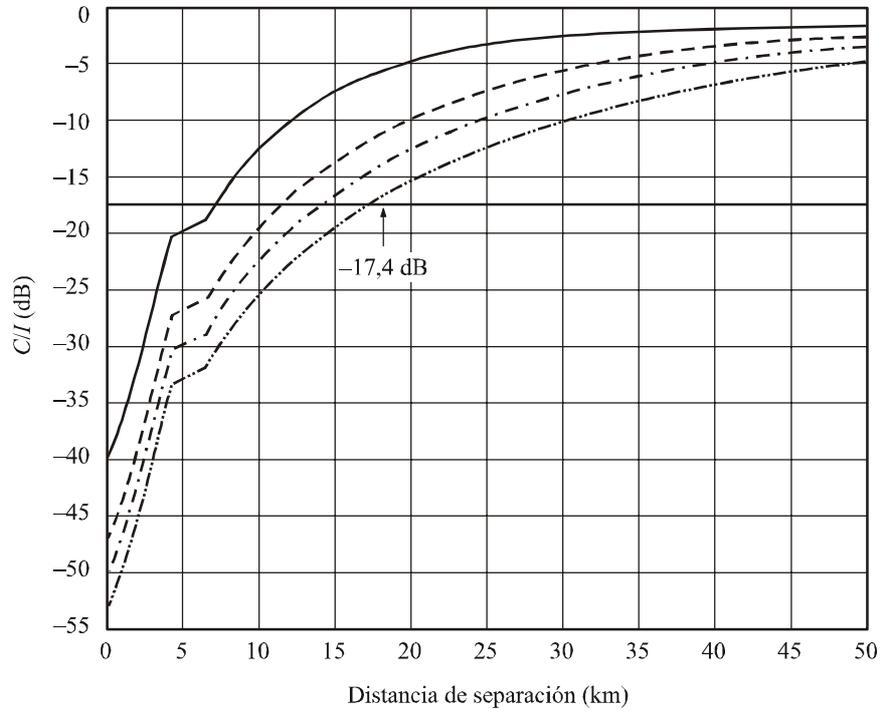
FIGURA 2
 C/I en función de la distancia de separación para varios
números de usuarios HAPS por célula



Potencia del sistema celular: 100 mW
Radio de célula del sistema celular: 1 km
Usuarios por célula del sistema celular: 50
Potencia de HAPS: 10 mW
Radio de célula HAPS: 2 km

— Usuarios HAPS por célula: 50 - - - - - Usuarios HAPS por célula: 200
- - - - - Usuarios HAPS por célula: 100 - · - · - · Usuarios HAPS por célula: 500

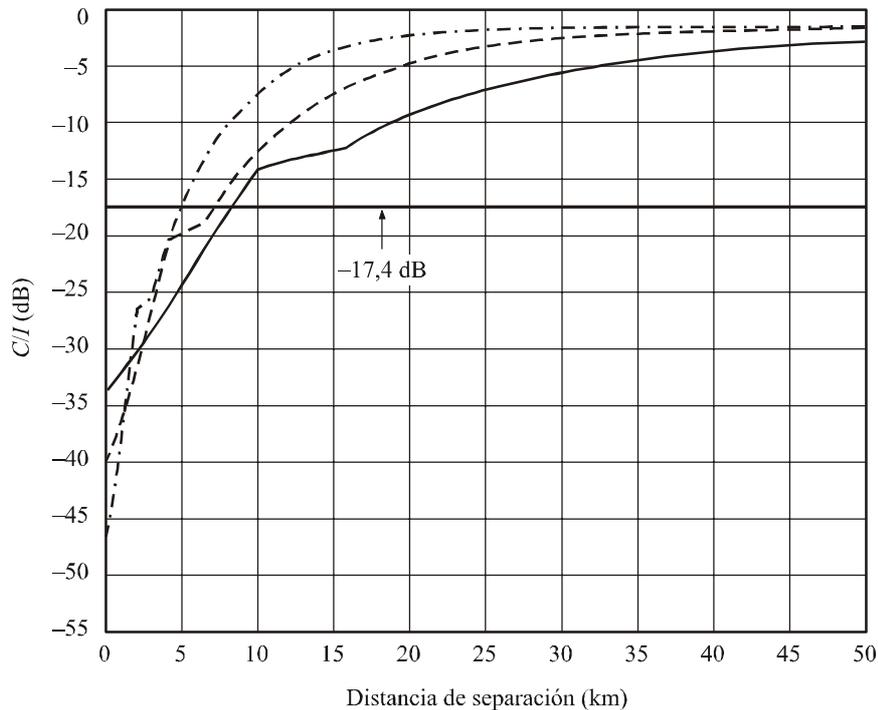
FIGURA 3
 C/I en función de la distancia de separación para diferentes potencias de transmisión



Potencia del sistema celular: 100 mW
 Radio de célula del sistema celular: 1 km
 Usuarios por célula del sistema celular: 50
 Radio de célula HAPS: 2 km
 Usuarios HAPS por célula: 50

— Potencia HAPS: 10 mW - - - - Potencia HAPS: 100 mW
 - - - - Potencia HAPS: 50 mW - · - · - Potencia HAPS: 200 mW

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



Potencia del sistema celular: 100 mW
 Radio de célula del sistema celular: 1 km
 Usuarios por célula del sistema celular: 50
 Potencia HAPS: 10 mW
 Usuarios HAPS por célula: 50

— Radio de célula HAPS: 4 km - · - · - Radio de célula HAPS: 1 km

- - - - Radio de célula HAPS: 2 km

1641-04

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 10 mW y el radio de la célula HAPS es de 2 km, son necesarias distancias de separación entre ambos sistemas de 7,2; 8,8; 10,8 y 14,1 km para un número de usuarios HAPS por célula de 50, 100, 200 y 500 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 50 y el radio de la célula HAPS es de 2 km, las distancias de separación entre ambos sistemas deben ser 7,2; 11,5; 14,1 y 17,4 km para una potencia de transmisión por usuario de 10, 50, 100 y 200 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 50 y la potencia de transmisión por célula es de 10 mW, las distancias de separación entre ambos sistemas deben ser de 8,3; 7,2 y 5 km para radios de célula HAPS de 4, 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	7,2	10,6
100	8,8	12,9
200	10,8	15,9
500	14,1	20,9

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)
10	7,2	10,6
50	11,5	17
100	14,1	20,9
200	17,4	25,7

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	5	7,1
2	7,2	10,6
4	8,3	16,1

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:

$$P_F(r_j) = \begin{cases} \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^4 S_i & \text{para } 0 < r_j \leq r_{i0} \\ \left(\frac{r_j}{R_i}\right)^4 S_i & \text{para } r_{i0} < r_j \leq R_i \end{cases} \quad (8)$$

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 la estación de base del sistema celular. De acuerdo con la ley de control de potencia de la ecuación (8), P_c expresada por la ecuación (9):

$$\begin{aligned} P_c &= \alpha_i \rho_i \int_0^{R_i} P_F(r_j) \times 2\pi r_j \, dr_j \\ &= 2\pi \alpha_i \rho_i \left[\int_0^{r_{i0}} \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^4 S_i r_j \, dr_j + \int_{r_{i0}}^{R_i} \left(\frac{r_j}{R_i}\right)^4 S_i r_j \, dr_j \right] \\ &= \frac{\pi \alpha_i \rho_i S_i R_i^2}{3} \left[1 + \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^6 \right] \end{aligned} \quad (9)$$

donde:

ρ_i : densidad de usuarios

Si $\rho_i = \frac{M_i}{\pi R_i^2}$, entonces P_c puede escribirse como:

$$P_c = \frac{\alpha_i S_i M_i}{3} \left[1 + \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^6 \right] \quad (10)$$

Si la gama en el punto de ruptura $r_{i0} = 0,55 R_i$, entonces $\left[1 + \left(\frac{r_{i0}}{R_i}\right)^6 \right] \approx 1,027 \approx 1$.

Por lo tanto, la ecuación (10) se convierte en:

$$P_c = \frac{\alpha_i S_i M_i}{3} \quad (11)$$

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

$$I_{Cellular} = \sum_{n=1}^N \left[\sum_{m=1}^{c_{in}} l_i P_c 10^{\frac{G_i}{10}} d_{inm}^{-4} \right] = \frac{\alpha_i S_i M_i l_i}{3} 10^{\frac{G_i}{10}} \sum_{n=1}^N \left[\sum_{m=1}^{c_{in}} d_{inm}^{-4} \right] \quad (12)$$

1.2 Interferencia procedente de una estación de base HAPS

La potencia por célula en el n -ésimo nivel que transmite una estación de base HAPS, P_h se expresa mediante la ecuación (13).

Para poner a escala el mismo nivel de potencia recibida en el extremo de la célula de cada región de servicio, habría que suponer que la potencia de transmisión por usuario en la zona de servicio es la siguiente:

$$P_{hn} = \alpha_h S_{hn} M_h \quad (13)$$

$$S_{hn} = \begin{cases} \frac{l_i}{l_h} \frac{10^{(G_i/10)}}{10^{(G_{hn}/10)}} \frac{d_h^2}{r_i^4} S_i, & n=1 \\ \frac{10^{(G_{h(n-1)}/10)}}{10^{(G_{hn}/10)}} \frac{d_{hn}^2}{d_{h(n-1)}^2} S_{h(n-1)}, & n \geq 2 \end{cases}$$

donde:

S_{hn} : potencia del enlace hacia adelante para el usuario que se encuentra en el extremo de la célula HAPS situada en el nivel n -ésimo

d_{hn} : distancia de una estación de base HAPS a una estación móvil HAPS en el n -ésimo nivel situada en el punto más próximo de cobertura celular.

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

$$I_{HAPS} = \sum_{n=1}^N \left[\sum_{m=1}^{c_{hn}} l_h P_h 10^{\frac{G_{hn}(\Phi_{hnm})}{10}} d_h^{-2} \right] = \alpha_h M_h l_h d_h^{-2} \left[\sum_{n=1}^N S_{hn} \sum_{m=1}^{c_{hn}} 10^{\frac{G_{hn}(\Phi_{hnm})}{10}} \right] \quad (14)$$

donde:

$$d_h = \sqrt{r_h^2 + h_s^2}$$

r_h : 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

