

# UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

## Recomendación UIT-R M.1456 (05/2000)

**Características mínimas de calidad y condiciones de funcionamiento para las estaciones en plataformas a gran altitud que proporcionan 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 1 885-1 980 MHz y 2 110-2 160 MHz en la Región 2**

**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
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión sonora
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	Servicio fijo
<b>M</b>	<b>Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos</b>
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radio astronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	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, 2011

© UIT 2011

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.1456\*,\*\*

**Características mínimas de calidad y condiciones de funcionamiento para las estaciones en plataformas a gran altitud que proporcionan 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 1 885-1 980 MHz y 2 110-2 160 MHz en la Región 2\*\*\***

(2000)

**Cometido**

Esta Recomendación aborda las características mínimas de calidad y condiciones de funcionamiento para las estaciones en plataformas a gran altitud (HAPS, *high altitude platform stations*) que funcionan como estaciones de base para las IMT-2000 en bandas de frecuencias en torno a 2 GHz identificadas para su utilización, en todo el mundo, por administraciones que desean implementar las IMT-2000.

Se describe un método para evaluar el nivel de interferencia cocanal procedente de las HAPS que funcionan como estaciones de base de las IMT-2000 y se recomiendan criterios de calidad para los diagramas de antena de las HAPS a fin de proporcionar protección cocanal a otras estaciones. La Recomendación incluye los límites de dfp para las estaciones de base de las HAPS con referencia a la interferencia cocanal y a la interferencia fuera de banda.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

a) que las estaciones en plataformas a gran altitud (HAPS, *high altitude platform stations*)<sup>1</sup> tienen la posibilidad de suministrar acceso inalámbrico móvil y fijo a la IMT-2000 utilizando las tecnologías y protocolos de transmisión radioeléctrica del segmento terrenal de la IMT-2000;

---

\* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 4 y 9 de Radiocomunicaciones.

\*\* La Comisión de Estudio 5 de Radiocomunicaciones introdujo modificaciones redaccionales a esta Recomendación en noviembre de 2010.

\*\*\* La utilización de sistemas HAPS en estas bandas será facultativa de las administraciones. Cada administración deberá mantener su autoridad individual sobre los asuntos técnicos y reglamentarios que atañen a la compartición, coordinación y realización de sistemas HAPS en las bandas señaladas.

<sup>1</sup> La HAPS se define en el número S1.66A del RR como una «estación situada sobre un objeto a una altitud de 20 a 50 km y en un punto nominal, fijo y especificado con respecto a la Tierra». El sistema de HAPS comprende una HAPS, varias estaciones terrestres y numerosas estaciones de abonado móviles y fijas. En cada HAPS se asienta una antena multihaz capaz de proyectar numerosos haces puntuales dentro de su zona de cobertura. Las estaciones de abonado móviles y fijas del sistema HAPS son idénticas a las utilizadas con los sistemas terrenales de antenas de torre, tradicionales de la IMT-2000. Los enlaces entre dos HAPS y los enlaces entre una HAPS y las estaciones terrestres del sistema HAPS no se establecerán en bandas designadas para las IMT-2000 y utilizarán frecuencias que no son propias de las IMT-2000. La utilización por la HAPS de cualquier frecuencia propuesta para tales enlaces necesita ser estudiada y coordinada.

Los sistemas HAPS serán de naturaleza mundial pero nacionales en cuanto a la prestación de servicios. Cada HAPS estará situada por encima del espacio aéreo comercial, a una altitud suficiente para dar servicio a una zona extensa pero lo bastante baja como para proporcionar una cobertura densa. Las HAPS ofrecerán un nuevo medio de proporcionar IMT-2000 con una mínima estructura de red terrestre.

- b) que cada HAPS utiliza una antena de elementos en fase para proyectar cientos de haces puntuales que han de proporcionar servicios de telecomunicación a zonas de cobertura que van desde áreas metropolitanas a superficies más extensas;
- c) que para los sistemas terrenales ajenos a las HAPS, como son los de torres de antena, la iluminación de las zonas exteriores a la zona operacional deseada depende de las características de la antena montada en la torre y de la atenuación de la propagación. Para las HAPS, depende más bien de las características de la antena montada en HAPS, especialmente el comportamiento de los lóbulos laterales y la precisión de la puntería. A medida que crece la zona de cobertura de una HAPS, las características de la antena se hacen más exigentes;
- d) que las características de la compartición y la coordinación cocanal entre los sistemas HAPS y otros sistemas IMT-2000 vienen determinadas por la calidad de funcionamiento de las antenas HAPS, la interfaz radioeléctrica utilizada por la HAPS y la zona de cobertura de la HAPS;
- e) que los niveles de interferencia fuera de banda producida por la HAPS en estaciones terrenas móviles receptoras, estaciones fijas, estaciones de ciencia espacial y estaciones móviles que operan en canales adyacentes pueden ser reducidos mediante la utilización de filtros o bandas de guarda en las HAPS para limitar los niveles de emisión fuera de banda (OoB, *out-of-band*);
- f) que las bandas 1 885-1 980 MHz, 2 010-2 025 MHz y 2 110-2 170 MHz están atribuidas a título primario en todo el mundo al servicio fijo y al servicio móvil;
- g) que las bandas 1 980-2 010 MHz y 2 170-2 200 MHz están atribuidas a título primario en todo el mundo al SMS, que la banda 2 160-2 170 MHz está atribuida a título primario al SMS en la Región 2 y que la banda 2 010-2 025 MHz está también atribuida a título primario en la Región 2 al SMS (Tierra a espacio);
- h) que en el número S5.388 del RR se señala que «las bandas 1 885-2 025 MHz y 2 110-2 200 MHz están destinadas a su utilización, a nivel mundial, por las administraciones que desean introducir las telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (IMT-2000). Dicha utilización no excluye el uso de estas bandas por otros servicios a los que están atribuidas. Las bandas de frecuencias deberán ponerse a disposición de las IMT-2000 de acuerdo con lo dispuesto en la Resolución **212 (Rev.CMR-97)**»;
- j) que, no obstante, las administraciones pueden utilizar para el servicio móvil en esas bandas sistemas ajenos a la IMT-2000,

*recomienda*

**1** que las interfaces radioeléctricas de las HAPS que proporcionen las 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 las bandas 1 885-1 980 MHz y 2 110-2 160 MHz en la Región 2 deben cumplir la Recomendación UIT-R M.1457;

**2** que con miras a proteger de la interferencia cocanal las estaciones explotadas por las administraciones vecinas, las administraciones que utilicen las HAPS como estaciones de base para proporcionar las IMT-2000 deben emplear antenas que cumplan con el siguiente diagrama de radiación:

$$G(\psi) = G_m - 3 (\psi/\psi_b)^2 \quad \text{dBi para} \quad 0^\circ \leq \psi \leq \psi_1 \quad (1)$$

$$G(\psi) = G_m + L_N \quad \text{dBi para} \quad \psi_1 < \psi \leq \psi_2 \quad (2)$$

$$G(\psi) = X - 60 \log(\psi) \quad \text{dBi para} \quad \psi_2 < \psi \leq \psi_3 \quad (3)$$

$$G(\psi) = L_F \quad \text{dBi para} \quad \psi_3 < \psi \leq 90^\circ \quad (4)$$

donde:

- $G(\psi)$ : ganancia en el ángulo  $\psi$  a partir de la dirección del haz principal (dBi)  
 $G_m$ : máxima ganancia en el lóbulo principal (dBi)  
 $\psi_b$ : 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)

$$\psi_1 = \psi_b \sqrt{-L_N/3} \quad \text{grados} \quad (5)$$

$$\psi_2 = 3,745 \psi_b \quad \text{grados} \quad (6)$$

$$X = G_m + L_N + 60 \log(\psi_2) \quad \text{dB} \quad (7)$$

$$\psi_3 = 10^{\frac{X - L_F}{60}} \quad \text{grados} \quad (8)$$

La abertura angular a 3 dB ( $2\psi_b$ ) se estima de nuevo por medio de:

$$\psi_b = \sqrt{\frac{7.442}{10^{0,1G_m}}} \quad (9)$$

donde  $G_m$  es la ganancia de cresta de la abertura (dBi);

**3** que una HAPS que funcione como estación de base para proporcionar las IMT-2000 no debe exceder de un nivel de dfp cocanal de  $-121,5$  dB(W/(m<sup>2</sup> · 1 MHz)) medido en la superficie terrestre y fuera de los límites de una administración, a menos que se establezca otro acuerdo con la administración vecina afectada\*. Las administraciones potencialmente afectadas pueden aplicar la metodología expuesta en el Anexo 1 para evaluar si el uso de la HAPS como estación de base para proporcionar las IMT-2000 es o no aceptable para su propia utilización de la banda;

**4** que una HAPS que funcione como estación de base para proporcionar las IMT-2000, con miras a proteger de la interferencia las estaciones terrenas móviles (ETM) no debe sobrepasar un nivel de dfp OoB de  $-165$  dB(W/(m<sup>2</sup> · 4 kHz)) medido en la superficie terrestre en las bandas 2 160-2 200 MHz en la Región 2, y 2 170-2 200 MHz en las Regiones 1 y 3. El Anexo 2 aporta las bases para establecer ese nivel de dfp;

**5** que una HAPS que funcione como estación de base para proporcionar las IMT-2000, con miras a proteger de la interferencia las estaciones fijas no debe sobrepasar un nivel de dfp OoB medido en la superficie terrestre en la banda 2 025-2 110 MHz de:

5.1  $-165$  dB(W/(m<sup>2</sup> · 1 MHz)) para ángulos de incidencia,  $\theta$ , menores de  $5^\circ$  sobre el plano horizontal;

5.2  $-165 + 1,75(\theta - 5)$  dB(W/(m<sup>2</sup> · 1 MHz)) para ángulos de incidencia entre  $5^\circ$  y  $25^\circ$  sobre el plano horizontal, y

5.3  $-130$  dB(W/(m<sup>2</sup> · 1 MHz)) para ángulos de incidencia entre  $25^\circ$  y  $90^\circ$  sobre el plano horizontal.

---

\* Este valor puede no ser adecuado para la protección de algunas estaciones que funcionan en estas bandas en los servicios fijo y móvil.

El Anexo 2 aporta las bases para establecer ese nivel de dfp;

6 que una HAPS que funcione como estación de base para proporcionar las IMT-2000 de acuerdo con las características de funcionamiento señaladas en el Anexo 1 no debe interferir con las estaciones espaciales del servicio de ciencia espacial que funcionan en la banda 2 025-2 110 MHz (véase el Anexo 3);

7 que las HAPS deben utilizar técnicas de mejora de la calidad de funcionamiento, como son las de filtrado de transmisión de alto rendimiento, y las de reducción del número de haces puntuales, del número de usuarios y de la potencia de la HAPS, cuando ello sea preciso para evitar la interferencia a las estaciones que operan en el servicio fijo, incluidos los sistemas de punto a multipunto (P-MP), el servicio móvil, y el SMS en las bandas de frecuencias adyacentes a las utilizadas por las HAPS.

## Anexo 1

### Interferencia cocanal de una HAPS que funciona como estación de base IMT-2000

#### 1 Potencia recibida en función de la distancia del nadir

En el modo dúplex por división de frecuencia (DDF), sólo se considerarán los sistemas HAPS que utilicen interfaces radioeléctricas AMDC y AMDT terrenales en la IMT-2000. Entre las interfaces radioeléctricas DDF de la IMT-2000 solamente se considerarán dos, la AMDC IMT-2000 de ensanchamiento directo y la de multiportadora, puesto que las tecnologías restantes están estrechamente relacionadas a una o a la otra. Para formatos AMDT de IMT-2000, sólo se considerará la AMDT IMT-2000 monoportadora. No se considerará el modo dúplex por división de tiempo (DDT) porque el retardo en tiempo que existe entre la HAPS y la superficie de la Tierra lo hace inadecuado para utilización por la HAPS.

Dado que la AMDC IMT-2000 de ensanchamiento directo y la AMDC IMT-2000 multiportadora pueden requerir diferente separación de portadoras, sería apropiado utilizar la dfp para comparar las características de transmisión de realizaciones de HAPS basadas en cada uno de estos tipos de interfaz. La dfp máxima para un sistema a plena carga con AMDC IMT-2000 de ensanchamiento directo es de  $-98,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ , mientras que la dfp de un sistema HAPS a plena carga con AMDC IMT-2000 multiportadora es de  $-101,1 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ .

En HAPS que utilicen el formato AMDT IMT-2000 monoportadora, la dfp máxima para un sistema AMDT HAPS que funcione a plena carga será de  $-96,8 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ , valor ligeramente superior (en 1,4 dB) al señalado para el formato AMDC IMT-2000 de ensanchamiento directo.

Para el cálculo de la dfp máxima se toma como base un sistema HAPS en IMT-2000 que funcione a plena carga con 700 haces.

Los cálculos se basan en el supuesto de que la HAPS se sitúa a una altitud de 22 km.

### 1.1 HAPS que utilizan AMDT IMT-2000

La potencia espectral total recibida en el nadir puede calcularse a partir de la  $dfp$  de  $-96,8 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  y de la abertura de antena eficaz de  $-27,5 \text{ dB(m}^2)$  correspondiente a la antena de 0 dBi del microteléfono. Se obtiene así un valor de  $-124,3 \text{ dB(W/4 kHz)}$  para la densidad espectral de potencia recibida, que está a 38,7 dB por encima del nivel de ruido térmico:  $-135,5 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ , basado en la potencia térmica de una antena isótropa receptora,  $-204 \text{ dB(W/Hz)}$  a 299 K, con un factor de ruido de 5 dB, y en la abertura de una antena isótropa a 2 GHz de  $-27,5 \text{ dB(m}^2)$ . Dado que el nivel de interferencia admisible,  $I$ , está a 10 dB por debajo del nivel de ruido térmico, la densidad espectral de potencia recibida superará en 48,7 dB el nivel admisible. Al comparar este nivel con el nivel de la interferencia combinada de lóbulos laterales lejanos, que está a 43,1 dB por debajo de la potencia recibida, se advierte que la contribución de los lóbulos laterales lejanos todavía queda a 5,6 dB por encima del nivel admisible. De ahí que los lóbulos laterales lejanos hayan de tenerse en cuenta para determinar la distancia de coordinación. En realidad, la contribución de los lóbulos laterales lejanos afecta marcadamente a la magnitud de la distancia de coordinación puesto que, una vez alcanzado el nivel combinado antes señalado, el único modo de hacerla disminuir consiste en aumentar la pérdida de trayecto en el espacio libre. La lenta disminución del nivel de interferencia de lóbulos laterales lejanos en función de la distancia desde el nadir determina que la distancia de coordinación llegue a ser muy grande.

La disposición isoflujo de la cobertura produce una  $dfp$  esencialmente plana hasta el borde de la zona de cobertura principal, y a partir de ahí la  $dfp$  cae rápidamente, tanto por la disminución progresiva del perfil de radiación de la antena fuera del lóbulo principal como por el aumento de la pérdida de trayecto en el espacio libre. Esto puede apreciarse en la Fig. 1, en la que se representan los perfiles de  $dfp$  en función de la distancia desde el nadir para radios de cobertura de 8, 19, 27, 43, 62, 78, 108, 131 y 158 km, respectivamente. La  $dfp$  máxima es esencialmente independiente del radio de cobertura. Para proporcionar una cobertura de 700 haces con un radio principal de 8 km solamente, se necesita una antena de elementos en fase de 12,5 m con miras a conseguir una ganancia de antena máxima de 45,7 dBi.

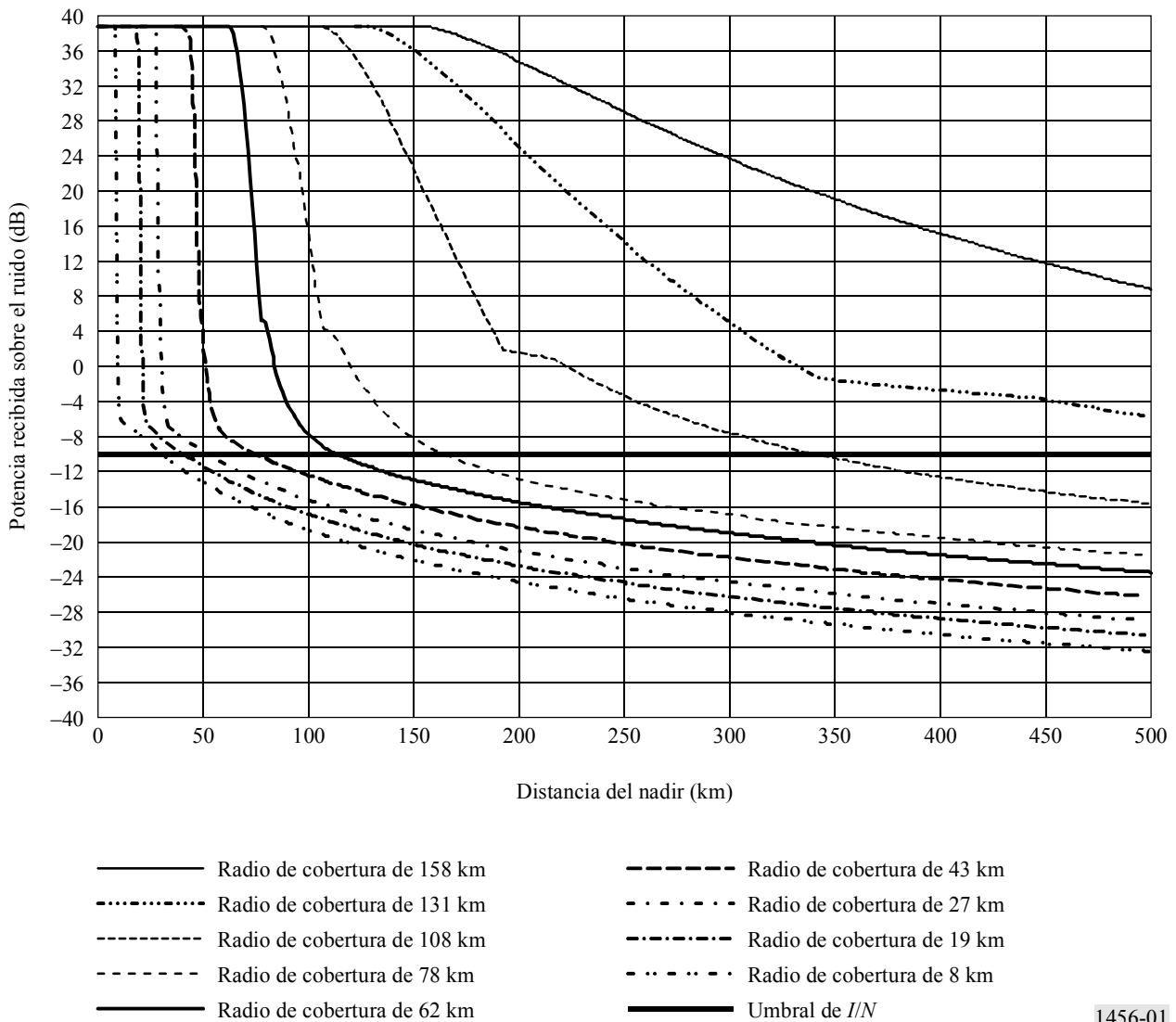
Una sola HAPS puede proporcionar la cobertura de una extensa zona utilizando AMDT IMT-2000 monoportadora. No obstante, habrá de considerarse la posibilidad de interferencia entre esa extensa cobertura y el funcionamiento cocanal de un sistema AMDT IMT-2000 con antenas de torre existente o previsto que esté emplazado en la misma zona geográfica.

La Fig. 4 ilustra las distancias entre el límite de la coordinación y el nadir de la HAPS en función del acimut para distintos radios de cobertura de esa HAPS.

### 1.2 HAPS que utilizan AMDC IMT-2000

La potencia espectral total recibida en el nadir puede calcularse a partir de la  $dfp$  de  $-98,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  y de la abertura de antena eficaz de  $-27,5 \text{ dB(m}^2)$  correspondiente a la antena de 0 dBi del microteléfono. Se obtiene así un valor de  $-125,7 \text{ dB(W/4 kHz)}$  para la densidad espectral de potencia recibida, que está a 37,3 dB por encima del nivel de ruido térmico. Si el nivel de interferencia admisible,  $I$ , está a 10 dB por debajo del nivel de ruido térmico, la densidad espectral de potencia recibida superará en 47,3 dB el nivel admisible. Al comparar este nivel con el nivel de la interferencia combinada de lóbulos laterales lejanos, que está a 44,5 dB por debajo de la potencia recibida, se advierte que la contribución de los lóbulos laterales lejanos todavía queda a 2,8 dB por encima del nivel admisible. De ahí que los lóbulos laterales lejanos hayan de tenerse en cuenta para determinar la distancia de coordinación. En realidad, la contribución de los lóbulos laterales lejanos afecta marcadamente a la magnitud de la distancia de coordinación puesto que, una vez alcanzado el nivel combinado antes señalado, el único modo de hacerla disminuir consiste en aumentar la pérdida de trayecto en el espacio libre.

FIGURA 1  
Potencia recibida sobre el nivel de ruido térmico en función de la distancia del nadir  
(HAPS que utilizan AMDT IMT-2000)



1456-01

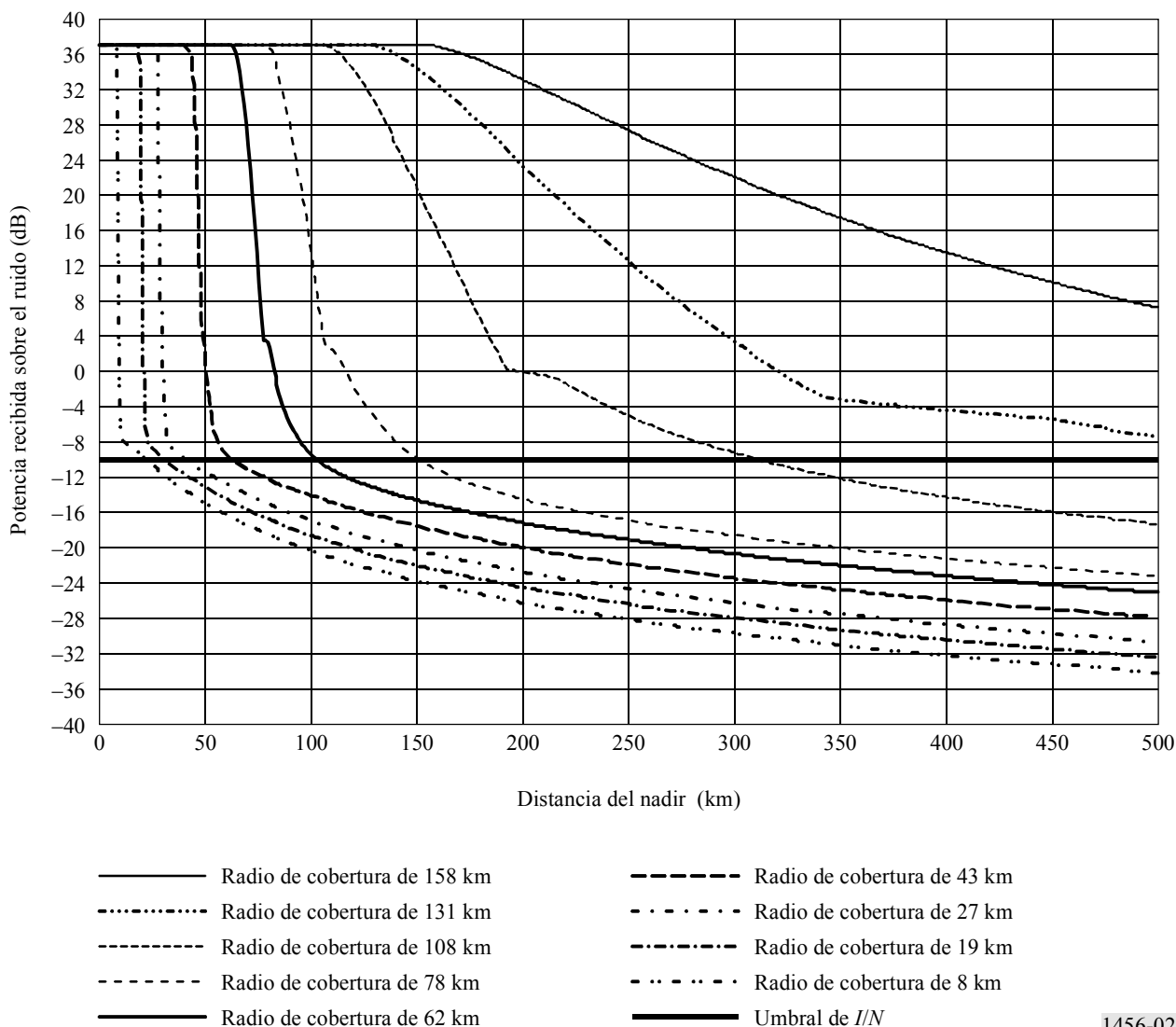
La disposición isoflujo de la cobertura produce una dfp esencialmente plana hasta el borde de la zona de cobertura principal, y a partir de ahí la dfp cae rápidamente, tanto por la disminución progresiva del perfil de radiación de la antena fuera del lóbulo principal como por el aumento de la pérdida de trayecto en el espacio libre. Esto puede apreciarse en la siguiente Fig. 2, en la que se representan los perfiles de dfp en función de la distancia desde el nadir para radios de cobertura de 8, 19, 27, 43, 62, 78, 108, 131 y 158 km, respectivamente. La dfp máxima es esencialmente independiente del radio de cobertura. Para proporcionar una cobertura de 700 haces con un radio principal de 8 km solamente, se necesita una antena de elementos en fase de 12,5 m con miras a conseguir una ganancia de antena máxima de 45,7 dBi. La Fig. 3 muestra la relación entre la distancia de coordinación y el radio de cobertura de la HAPS, y la Fig. 5 ilustra las distancias entre el límite de la coordinación y el nadir de la HAPS en función del acimut para distintos radios de cobertura de esa HAPS.



## 2 Criterios de interferencia

La máxima probabilidad de que exista interferencia cocanal entre un sistema IMT-2000 terrenal con HAPS y otro sistema IMT-2000 terrenal con antenas de torre o un sistema del servicio fijo que funcione en la misma banda se presenta en la frontera entre las dos zonas de cobertura.

FIGURA 2  
Potencia recibida sobre el nivel de ruido térmico en función de la distancia del nadir  
(HAPS que utilizan AMDC IMT-2000)



1456-02

Se utilizará el criterio de interferencia admisible de  $I/N_{\text{térmico}} = -10$  dB para los microteléfonos que padecen la interferencia, sea cual fuere el formato de acceso de la interfaz radioeléctrica afectada. Se aplicará el mismo criterio de interferencia admisible a las estaciones de base que la padezcan. Debe señalarse que un microteléfono que utilice el formato de acceso AMDC, estará menos expuesto a la interferencia cocanal puesto que en un sistema AMDC la autointerferencia suele ser bastante superior al nivel del ruido térmico. Sin embargo, en la periferia de la cobertura AMDC afectada, donde la autointerferencia desciende por debajo del nivel de ruido, la presencia de interferencia causada por HAPS puede reducir aún más la extensión de dicha cobertura AMDC. Por eso en la presente Recomendación se aplica uniformemente el criterio de interferencia admisible de  $I/N_{\text{térmico}} = -10$  dB, cualquiera que sea el formato de acceso implicado.

Adviértase que el criterio  $I/N_{\text{térmico}} = -10$  dB permite que la interferencia combinada al sistema receptor de haz único no degrade la calidad de funcionamiento en más de 0,4 dB.

Seguidamente se da una fórmula aproximada para el cálculo de la distancia de coordinación requerida entre una estación de base en HAPS y las estaciones móviles que sufren la interferencia.

Debido a las elevadas ganancias de antena, es posible calcular aproximadamente la distancia de coordinación mediante las fórmulas que luego se expresan, válidas para radios de la cobertura principal (en caso de HAPS) menores de 132 km. Se consideran dos casos, que se distinguen porque la combinación de lóbulos laterales lejanos sea o no la contribución dominante. Se da una fórmula unificada que salva esta diferencia.

Se considera en primer lugar el caso en que el microteléfono sea interferido de modo predominante por la emisión combinada de lóbulos laterales lejanos.

La potencia de interferencia recibida por el microteléfono afectado es entonces:

$$I = P_{\text{afectada}} = P_{\text{centro}} - 10 \log(r^2 + h^2) + 10 \log(r_{\text{centro}}^2 + h^2) + 10 \log(\text{Num}) - F \quad \text{dB} \quad (10)$$

siendo:

$h$ : altitud de la HAPS

$r$ : distancia relativa al nadir del microteléfono afectado

$P_{\text{afectada}} - P_{\text{centro}}$ : nivel de potencia de interferencia recibida por debajo de la potencia del lóbulo principal en el eje de puntería del haz de HAPS más próximo

$r_{\text{centro}}$ : distancia del centro del haz con respecto al nadir

$\text{Num}$ : número total de haces

$F = 73$  dB: nivel de lóbulo lateral lejano con relación a la ganancia de cresta.

A partir de ahí puede determinarse la distancia de coordinación de la manera siguiente:

$$R_{\text{coordinación}} = r = \left( (h^2 + r_{\text{centro}}^2) \text{Num} \times 10^{-7,3+B} - h^2 \right)^{1/2} \quad \text{km} \quad (11)$$

donde:

$$B = 0,1 (P_{\text{centro}}/N) + 1.$$

La ecuación (11) solamente es válida para  $B + \log(\text{Num}) > 7,3 = 0,1 F$ , condición para que predomine el nivel combinado de lóbulos laterales lejanos en la determinación de la distancia de coordinación. La ecuación (11) solamente es válida para coberturas de HAPS muy estrechas. En el extremo opuesto, debido a la rápida atenuación de los lóbulos laterales la interferencia está dominada por un haz único y la relación de potencia de interferencia a ruido térmico del receptor de microteléfono afectado es, aproximadamente:

$$(I_{\text{recibida}}/N) = (I_{\text{recibida}}/N)_{\text{centro}} + \delta G(\theta - \theta_0) - \delta FSL(\theta) \quad (12)$$

donde:

$(I_{\text{recibida}}/N)_{\text{centro}}$ : relación de la potencia de interferencia combinada recibida al ruido, medida en el eje de puntería del haz de HAPS más exterior

$\theta_0$ : ángulo de inclinación del último haz de HAPS

$\theta$ : ángulo de inclinación del microteléfono afectado con relación a la HAPS

$\delta G(\theta - \theta_0) = G(\theta - \theta_0) - G_m$ : ganancia de antena diferencial

$\delta FSL(\theta) = 20 \log(\cos(\theta_0)) - 20 \log(\cos(\theta))$ : pérdida de trayecto diferencial en el espacio libre (FSL) entre los transmisores de HAPS y el microteléfono que sufre interferencia, con respecto a la pérdida de trayecto en el espacio libre medida en el eje de puntería del último haz.

Puesto que la potencia de interferencia recibida por el microteléfono afectado en el interior del lóbulo principal de emisión de la HAPS es habitualmente demasiado grande para poder ser admitida, en este análisis solamente se tendrá en cuenta el régimen de ley exponencial inversa de sexto grado para el diagrama de radiación de antena.

En el régimen de ley exponencial inversa de sexto grado, haciendo  $\theta - \theta_0 = \psi_2 \eta + \psi_2$ ,  $\delta G(\theta - \theta_0)$  puede expresarse por:

$$\delta G(\theta - \theta_0) = -L_N - 60 \log(1 + \eta) = -L_N - 60 y \quad \text{dB} \quad (13)$$

donde:

$$y = \log(1 + \eta)$$

$L_N$ : nivel de lóbulo lateral próximo con relación a la ganancia de cresta (dB) que requiere el diseño del sistema.

Para los fines de este estudio se toma 32 dB como valor de  $L_N$ . Para radios de cobertura principal menores de 132 km, la pérdida de trayecto en el espacio libre es una función del ángulo de inclinación  $\theta$  mucho más lenta que la variación de la ganancia de antena. De ahí que sea una buena aproximación sustituir el término relativo a la pérdida de trayecto diferencial en el espacio libre por los dos primeros términos solamente de su desarrollo en serie de Taylor, utilizando  $\theta = \theta_0 + (1 + \eta)\psi_2 = \theta_0 + 10^y \psi_2$ .

$$\begin{aligned} \delta FSL(\theta) &= 20 \log(\cos(\theta_0)) - 20 \log(\cos(\theta_0 + 10^y \psi_2)) \\ &\cong 20 \log(\cos(\theta_0)) - 20 \log(\cos(\theta_0 + \psi_2)) + 20 \psi_2 \text{tg}(\theta_0 + \psi_2) y \\ &= 20 \log(\cos(\theta_0)) - 20 \log(\cos(\theta_0 + \psi_2)) + 20 \psi_2 \text{tg}(\theta_0 + \psi_2) y \end{aligned} \quad (14)$$

Si se hace  $D = (I_{recibida}/N)_{centro} - Umbral - L_N$ , la distancia de coordinación puede obtenerse a partir de la solución obtenida para  $y$ , siendo  $Umbral = -10$  dB el umbral de  $I/N$  admisible para las HAPS que interfieren a estaciones móviles.

$$y = [D - 20 \log(\cos(\theta_0)) + 20 \log(\cos(\theta_0 + \psi_2))]/[60 + 20 \psi_2 \text{tg}(\theta_0 + \psi_2)] \quad (15)$$

La distancia de coordinación requerida (con relación al nadir de la HAPS) se obtiene de la relación siguiente:

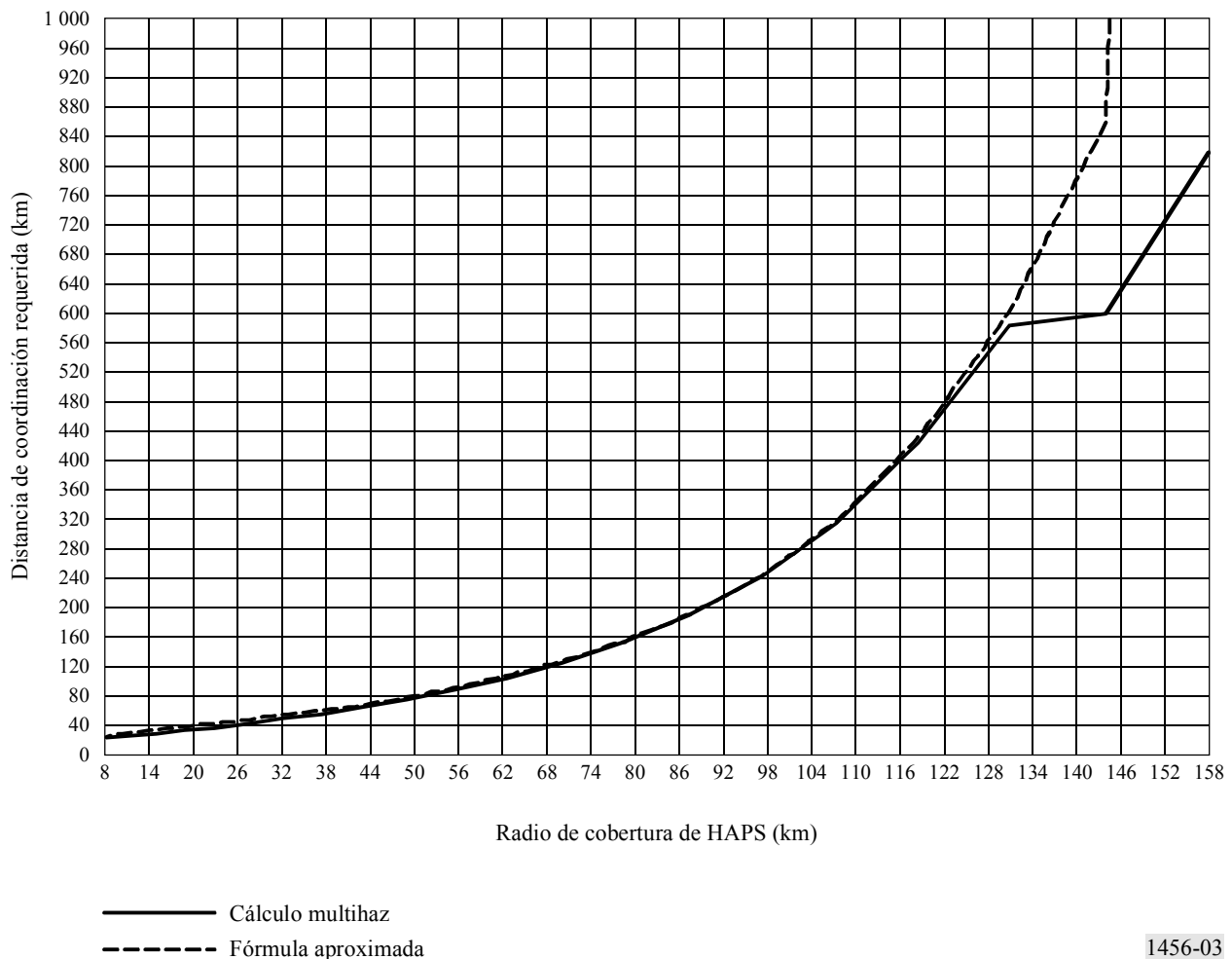
$$R_{coordinación} = \text{tg}(\theta_0 + 10^y \psi_2) h \quad \text{km} \quad (16)$$

A continuación se da una fórmula empírica deducida de (16) que tiene en cuenta el nivel de interferencia combinada incluido en (11):

$$R_{coordinación} = \text{tg}(\theta_0 + 10^y \psi_2) h + (1 - h/(158 \cos(\theta_0)))(Num \times 10^{-7,3+B} - 1)^{1/2} h \quad \text{km} \quad (17)$$

El método de aproximación proporciona resultados bastante exactos cuando se le compara con el cálculo real basado en haces múltiples. Esto queda expuesto en la Fig. 3.

FIGURA 3  
Comparación del cálculo aproximado con el cálculo multihaz  
(HAPS que utilizan formato AMDC)



1456-03

Como se aprecia en la Fig. 3, la fórmula aproximada da resultados que no se apartan en más del 1% de los obtenidos del cálculo multihaz explícito para radios de cobertura de hasta 132 km. Adviértase que si la estación móvil está situada más allá del horizonte, no deberá sufrir interferencia de la HAPS a causa de la restricción de visibilidad. Si la HAPS se coloca a 22 km de altitud, su horizonte será de unos 600 km medidos desde el nadir. Al existir una fuerte atenuación por ecos parásitos, el horizonte visible y el horizonte radioeléctrico serán aproximadamente coincidentes.

## 2.1 Interferencia de HAPS al servicio fijo

La interferencia causada en un servicio fijo punto a punto (P-P) por las HAPS que funcionan en las mismas bandas que el servicio fijo exigirá establecer una distancia de coordinación entre el nadir de la HAPS y la antena del servicio fijo que sea una función de la ganancia de la antena del servicio fijo, del ángulo de su eje de puntería con relación a HAPS, y del radio de cobertura de la HAPS. Dicho servicio P-P utiliza habitualmente antenas con directividad suficiente para optimizar comunicaciones de largo alcance. Suponiendo que la antena del servicio fijo apunte aproximadamente en dirección horizontal, la potencia de interferencia procedente de la HAPS que recibe la antena del servicio fijo puede expresarse como sigue:

$$(I_{recibida}/N) = [P_{recibida}(\theta)/N] + G_{afectada}(\varphi, r) \quad (18)$$

en la que:

- $P_{recibida}(\theta)$ : potencia recibida en la superficie terrestre en función del ángulo de inclinación  $\theta$
- $r$ : distancia desde el nadir del haz de HAPS más próximo
- $G_{afectada}(\varphi, r)$ : ganancia de la antena del servicio fijo en función tanto del ángulo del eje de puntería con respecto al nadir de la HAPS como de la distancia desde el nadir al servicio fijo.

Esta última puede expresarse en función del ángulo del eje de puntería,  $\alpha$ , definido por:

$$\alpha = \cos^{-1} \left[ r \cos(\varphi) / (r^2 + h^2)^{1/2} \right] \quad (19)$$

Debido a los elevados valores de dfp que alcanzan los sistemas HAPS en condiciones de plena carga dentro de sus zonas de cobertura primaria, es claramente imposible la compartición cocanal dentro de la zona de cobertura de una HAPS, y esto se confirma mediante un cálculo multihaz explícito aplicado a la situación descrita. En el exterior de la zona de cobertura principal de la HAPS es válida la ecuación (20):

$$(I_{recibida}/N) = (I_{recibida}/N)_{centro} + \delta G(\theta - \theta_0) - \delta FSL(\theta) + G_{FS}(\alpha(\varphi, r)) \quad (20)$$

en la que  $\delta G(\theta - \theta_0)$  y  $\delta FSL(\theta)$  ya se han definido, y  $G_{FS}(\alpha(\varphi, r)) = G_{afectada}(\varphi, r)$ . De ahí se deducen las ecuaciones (21) y (22):

$$y = [D(\theta_0, \varphi) - 20 \log(\cos(\theta_0)) + 20 \log(\cos(\theta_0 + \psi_2))] / [60 + 20 \psi_2 \operatorname{tg}(\theta_0 + \psi_2)] \quad (21)$$

$$R_{coordinación} = \operatorname{tg}(\theta_0 + 10^y \psi_2) h + (1 - h / (158 \cos(\theta_0) (Num \times 10^{-7,3+B(\theta_0, \varphi)} - 1)^{1/2} h) \quad \text{km} \quad (22)$$

siendo:

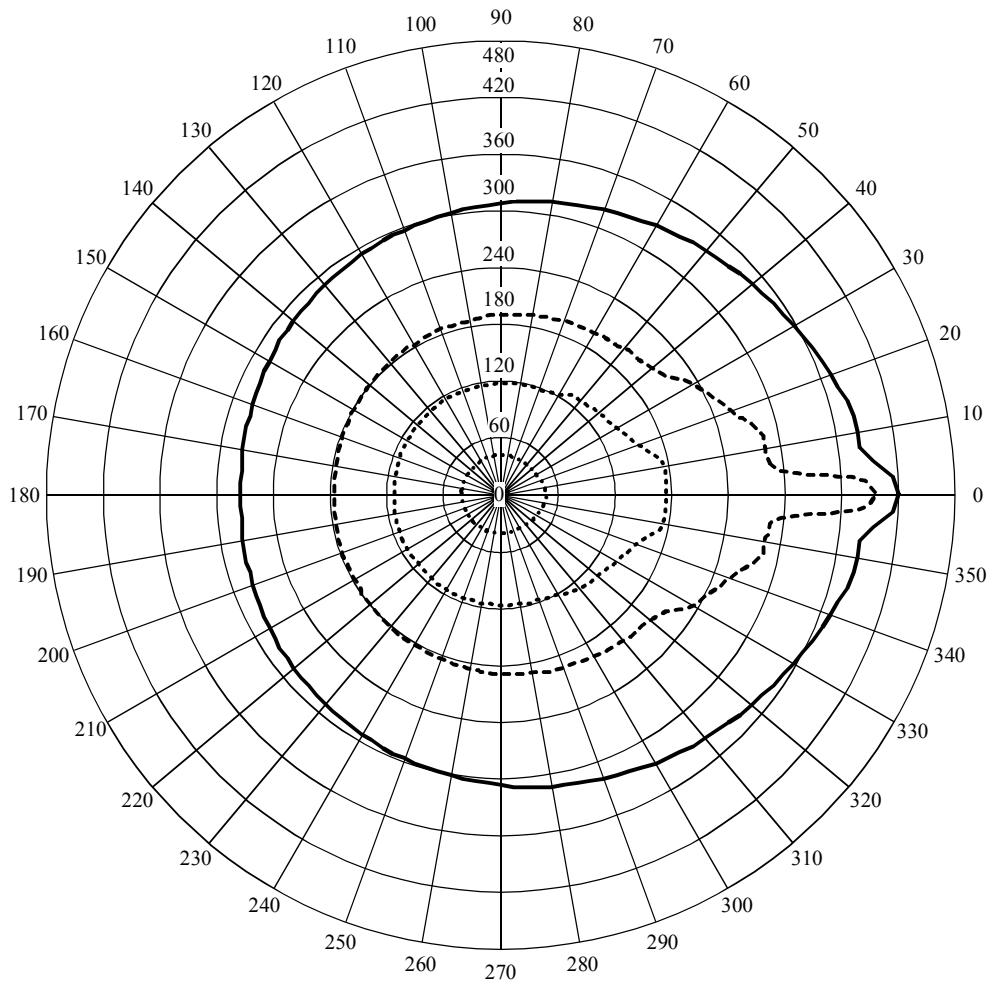
$$D(\theta_0, \varphi) = (I_{recibida}/N)_{centro} + G_{afectada}(\pi/2 - \theta_0, \varphi) - Umbral - L_N$$

$$B(\theta_0, \varphi) = 0,1 [(I_{recibida}/N)_{centro} + G_{afectada}(\pi/2 - \theta_0, \varphi) - Umbral].$$

La Fig. 4 proporciona las distancias de coordinación requeridas en función cosenoidal del ángulo que forma el eje de puntería de la antena del servicio fijo con el nadir de la HAPS para coberturas de la HAPS de 8, 37, 87, 110 y 158 km, respectivamente. Se supone que la antena del servicio fijo tiene una ganancia de 31 dBi y un diagrama de directividad con arreglo a la Recomendación UIT-R F.699. Los diagramas de radiación de referencia para las antenas de las plataformas HAPS se dan en el Apéndice 1, al Anexo 1.

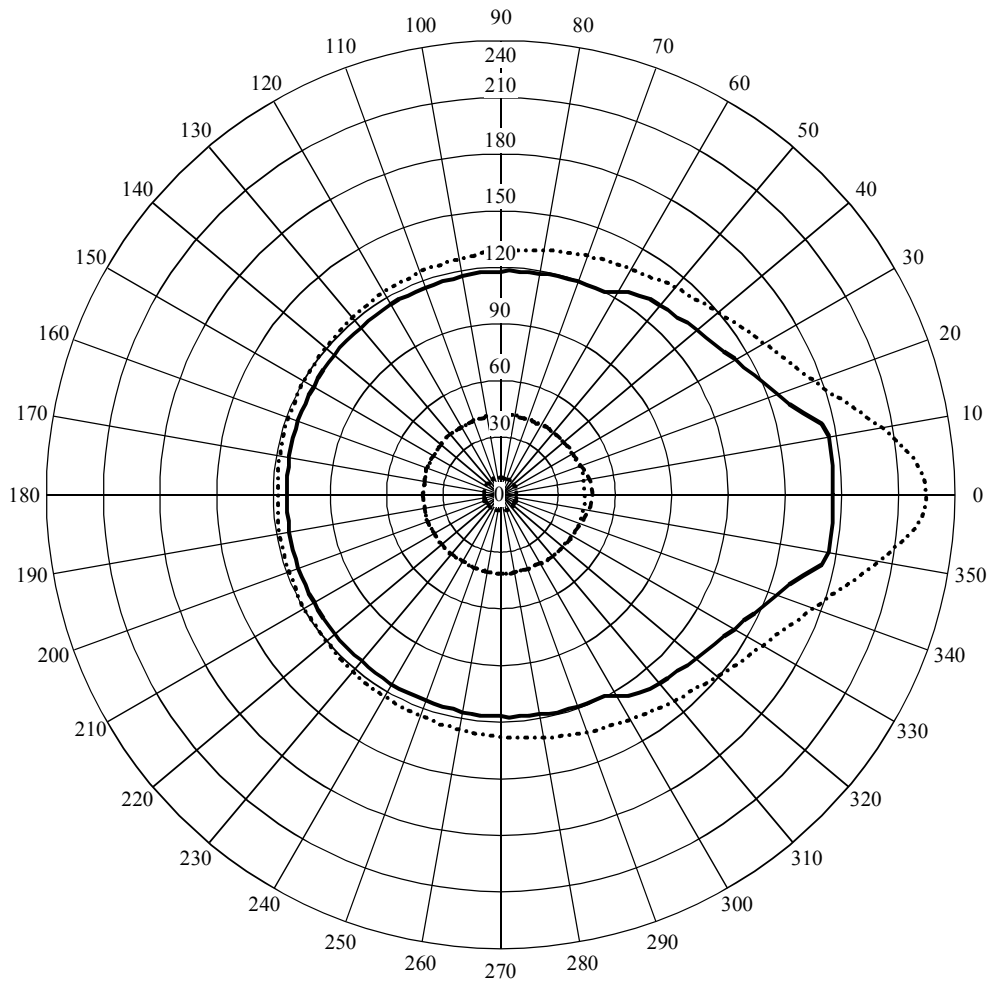
El método de aproximación solamente arroja resultados exactos cuando el radio de cobertura es pequeño ( $\leq 60$  km). Esto puede apreciarse en la Fig. 5.

FIGURA 4  
Distancia de coordinación en función del acimut y del radio de cobertura  
(HAPS que utilizan formato AMDT)



- Radio de cobertura 158 km
- Cobertura 110 km
- ..... Cobertura 87 km
- ..... Cobertura 37 km
- ..... Cobertura 8 km

FIGURA 5  
**Distancia de coordinación en función del acimut y del radio de cobertura**  
**Comparación de los resultados exactos y aproximados**  
**(HAPS que utilizan formato AMDC)**



- Radio de cobertura 87 km
- Cobertura 37 km
- ..... Cobertura 8 km
- ..... Cobertura (aproximadamente) 87 km
- ..... Cobertura (aproximadamente) 37 km
- . . . . Cobertura (aproximadamente) 8 km

**2.2 Interferencia de las HAPS que utilizan formato AMDC IMT-2000 en las estaciones móviles IMT-2000**

Se aplicará el criterio de interferencia de  $I/N = -10$  dB. El que la estación móvil interferida utilice o no un formato AMDC o AMDT de IMT-2000 es irrelevante; sólo importa el nivel de interferencia causada por la HAPS.

Se aprecia claramente en la Fig. 1 que esta compartición es enteramente factible para coberturas de HAPS de radios menores. Incluso con un radio de cobertura principal de 62 km, un sistema de antenas de torre interferido puede proporcionar el servicio IMT-2000 en la misma banda de frecuencias, suponiendo que su zona de cobertura se aparta por lo menos 33 km del haz principal de HAPS más próximo. La Fig. 6 muestra la relación que existe entre la distancia de coordinación y la cobertura HAPS, y la posterior Fig. 7 representa la distancia entre el límite de la coordinación y el nadir de HAPS en función del radio de cobertura de la HAPS. Los resultados expuestos en la Fig. 7 se resumen en el Cuadro 1.

FIGURA 6  
**Distancia de coordinación en función del radio de la zona de cobertura principal de HAPS (HAPS que utilizan formato AMDC)**

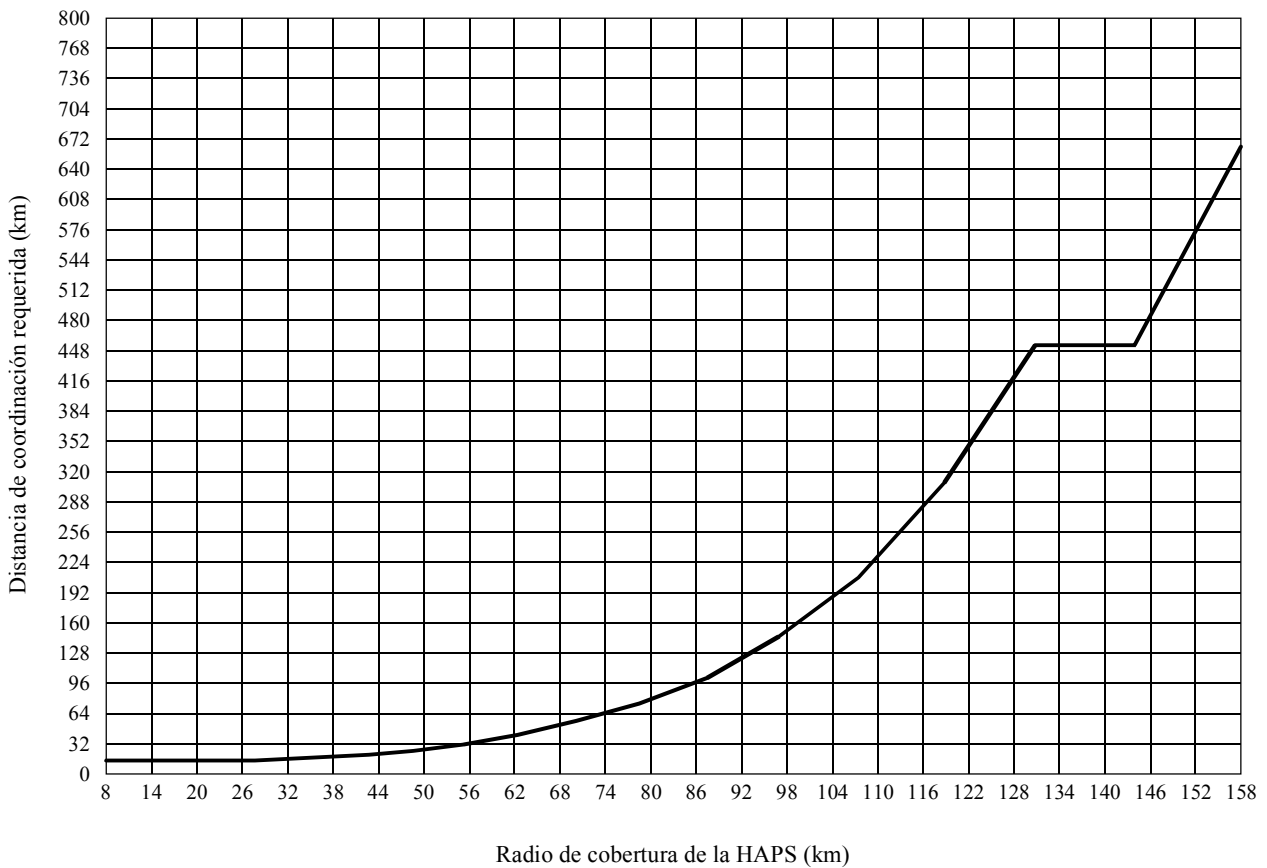
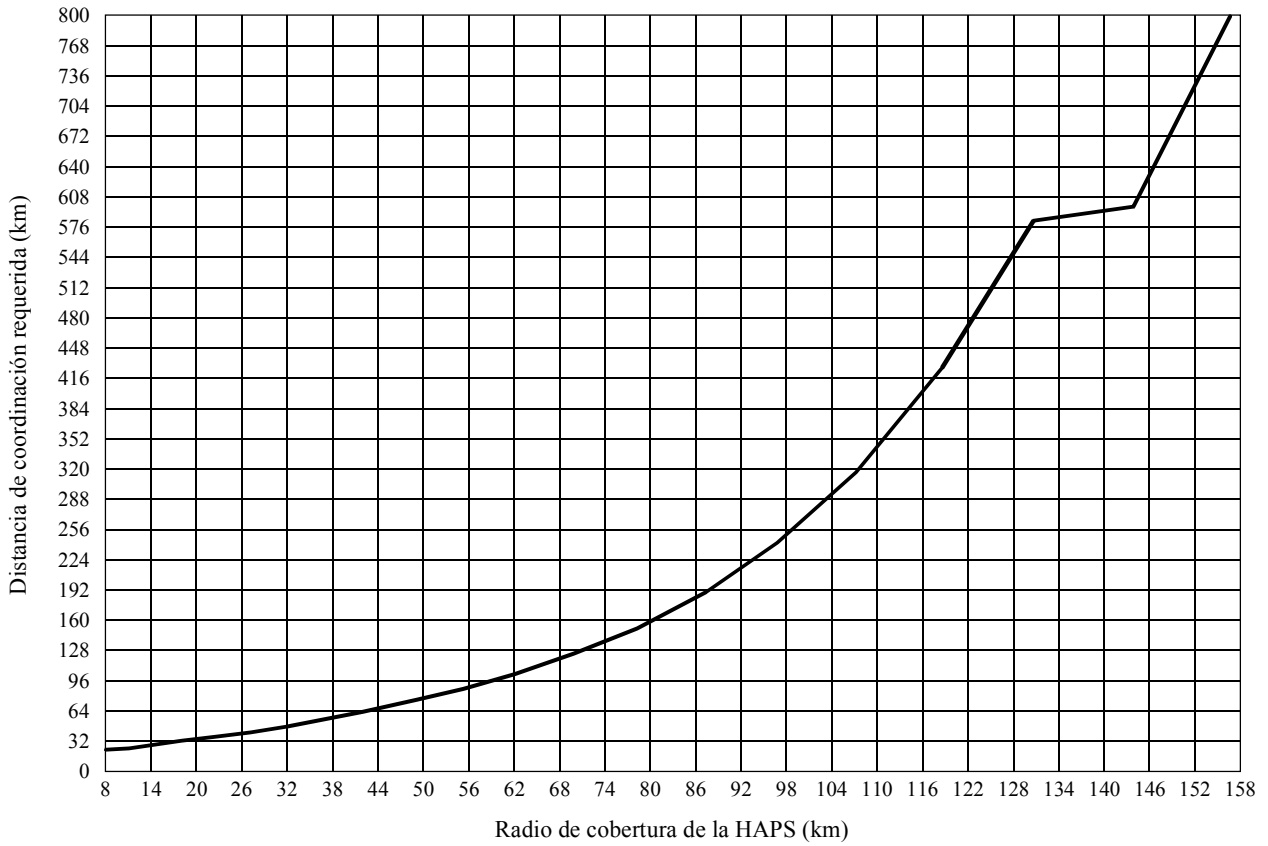




FIGURA 7  
**Límite de coordinación medido desde el nadir en función del radio de cobertura  
 (HAPS que utilizan formato AMDC)**



1456-07

CUADRO 1  
**Distancias de coordinación (km) para diferentes radios de cobertura (km) aplicando la ecuación (22)  
 (HAPS que utilizan formato AMDC)**

Radio de cobertura	8	11	15	19	23	27	32	37	43	49	55	62	70	78	87	97	107	119
Distancia de coordinación (medida desde el nadir)	27	30	34	38	43	48	54	61	69	79	91	106	126	153	190	242	319	433
Distancia de coordinación (medida desde el centro del haz más próximo)	19	19	19	19	20	21	22	26	26	30	36	44	56	75	103	145	212	314

Si el número de haces del sistema HAPS interferente es distinto de 700, o si el criterio de interferencia admisible difiere del  $I/N = -10$  dB utilizado anteriormente, deberá aplicarse entonces la ecuación (22) para la determinación de la distancia de coordinación mínima.

### 2.3 Interferencia de HAPS que utilizan formato AMDT IMT-2000 en estaciones móviles IMT-2000

Se aprecia claramente en la Fig. 2 que esta compartición es enteramente factible para coberturas HAPS de radios menores. Incluso con un radio de cobertura principal de 62 km, un sistema de antenas de torre interferido puede proporcionar el servicio IMT-2000 en la misma banda de frecuencias suponiendo que su zona de cobertura se aparta por lo menos 50 km del haz principal de HAPS más próximo. La Fig. 8 muestra seguidamente la relación que existe entre la distancia de coordinación y el radio de cobertura HAPS, y la Fig. 9 representa la distancia entre el límite de la coordinación y el nadir de HAPS en función del radio de cobertura de la HAPS. Los resultados expuestos en la Fig. 9 se resumen en el Cuadro 2.

FIGURA 8  
Distancia de coordinación en función del radio de la zona de cobertura principal HAPS  
(HAPS que utilizan formato AMDT)

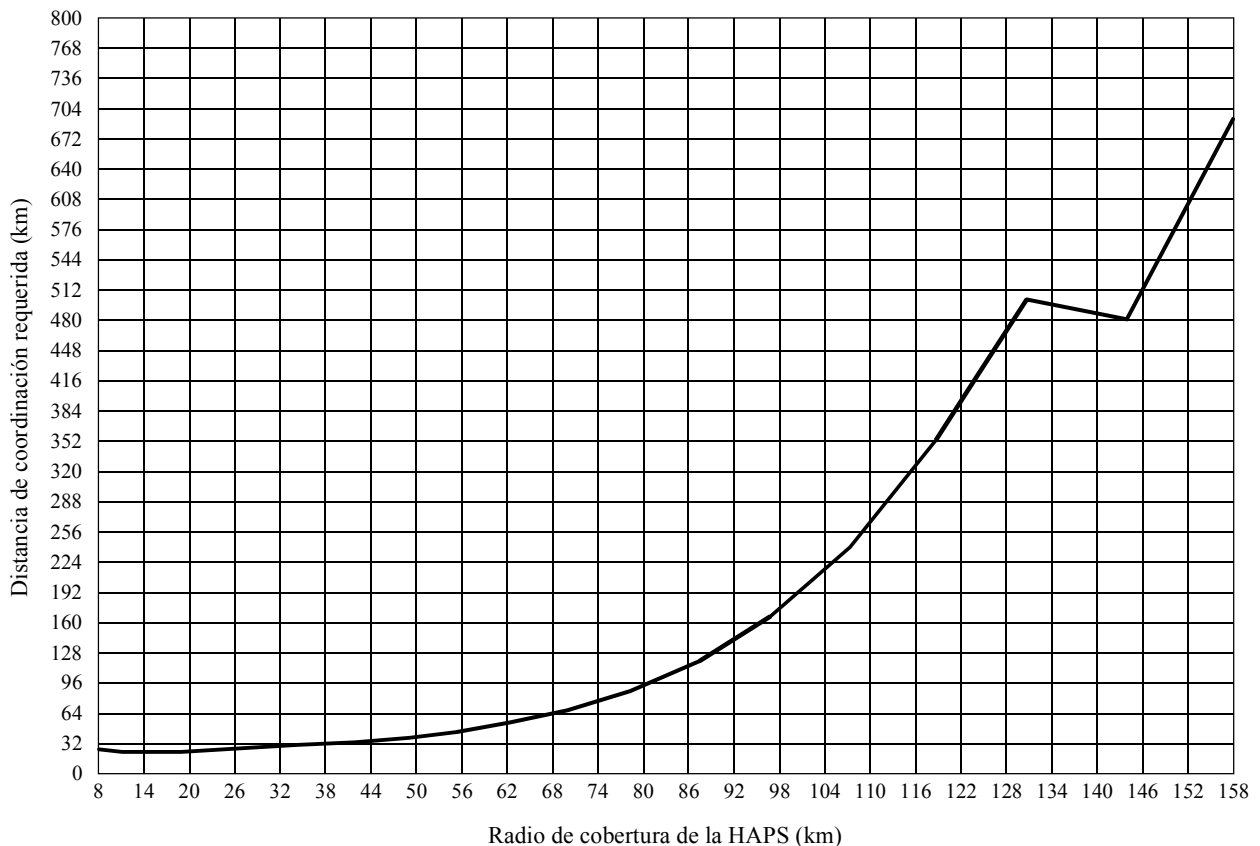
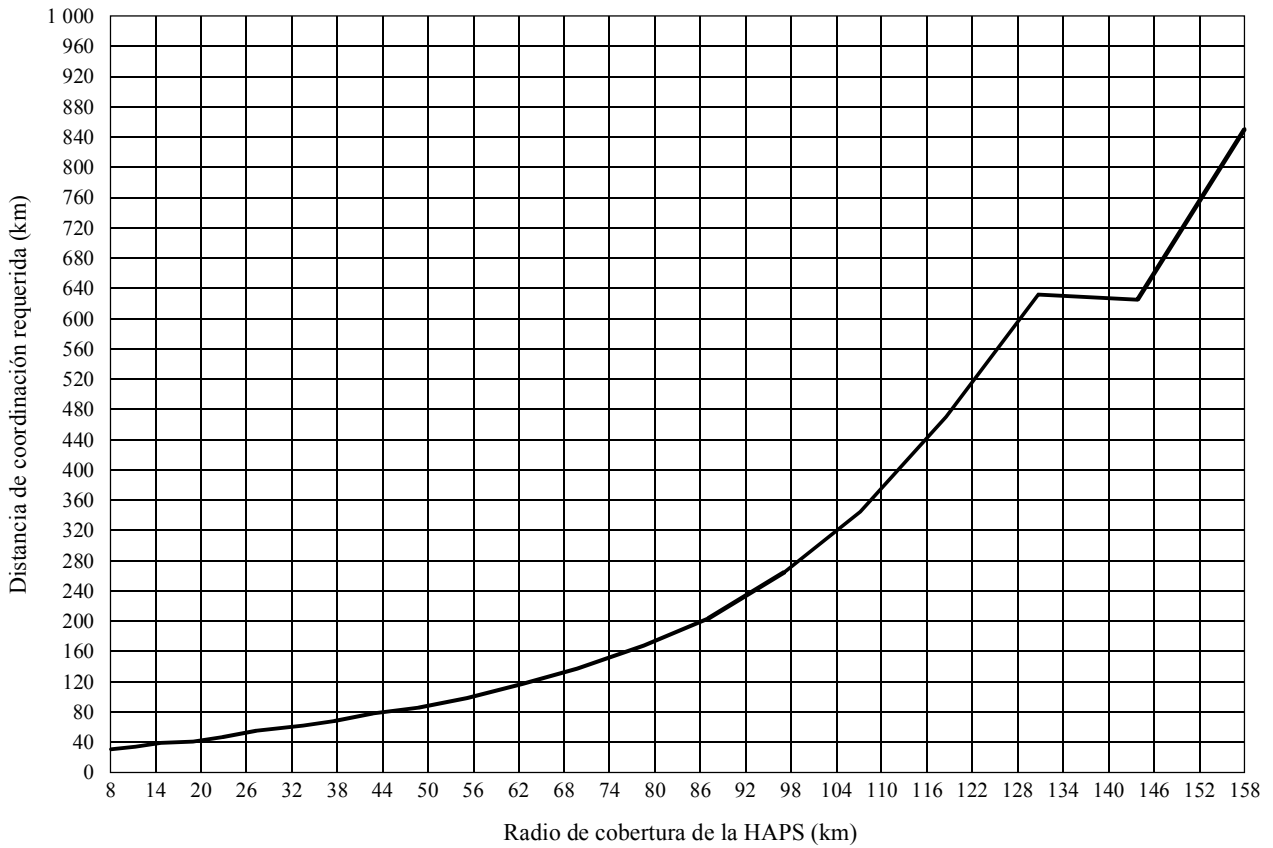


FIGURA 9  
**Límite de la coordinación medido desde el nadir en función de la cobertura  
 (HAPS que utilizan formato AMDT)**



1456-09

CUADRO 2

**Distancias de coordinación (km) para diferentes radios de cobertura (km) aplicando la ecuación (22)  
 (HAPS que utilizan formato AMDT)**

Radio de cobertura	8	11	15	19	23	27	32	37	43	49	55	62	70	78	87	97	107	119
Distancia de coordinación (medida desde el nadir)	34	38	41	45	50	55	61	68	76	86	98	114	136	164	205	264	353	490
Distancia de coordinación (medida desde el centro del haz más próximo)	26	26	26	27	27	28	29	30	33	37	43	52	65	86	118	167	246	371

Si el número de haces del sistema HAPS interferente es distinto de 700, o si el criterio de interferencia admisible difiere del  $I/N = -10$  dB utilizado anteriormente, deberá aplicarse entonces la ecuación (22) para la determinación de la distancia de coordinación mínima.

#### 2.4 Interferencia de HAPS en estaciones de base AMDC TDD de IMT-2000

Las antenas de estación de base pueden ser de dos clases: omnidireccionales y sectoriales. Las antenas omnidireccionales típicas presentan una ganancia horizontal de cresta de alrededor de 15 dBi y una abertura angular de haz vertical de  $\sim 5,1^\circ$  a 3 dB. En cuanto a las antenas sectoriales, puede tomarse como ejemplo típico una antena de sector de  $90^\circ$  con una abertura angular de  $90^\circ$  a 3 dB en el plano horizontal (acimutal) y una abertura angular de  $2,5^\circ$  en el plano de elevación para una ganancia de cresta de 21,5 dBi. Al ser sumamente pequeña la abertura angular de las antenas sectoriales, aunque la estación de base interferida estuviese a un ángulo de elevación de  $5^\circ$  con respecto a la HAPS, y su antena sectorial apuntara a la dirección de la HAPS, la ganancia de cresta eficaz de la antena sectorial todavía sería negativa. Para ángulos de elevación mayores, la ganancia eficaz de la antena se hace fuertemente negativa. En consecuencia, cabe esperar que la distancia de coordinación entre HAPS y estaciones de base con antenas sectoriales sea en general mucho más pequeña. Por tal motivo, solamente van a considerarse antenas omnidireccionales en el resto de la presente Recomendación.

Los diagramas de radiación de antenas utilizados para este estudio se ajustan a los diagramas de radiación de referencia de antenas omnidireccionales y sectoriales en sistemas P-MP, tomados como base para los estudios de compartición realizados en la gama de 1-50 GHz (véase la Recomendación UIT-R F.1336).

En el modo DDF, una estación de base de un sistema IMT-2000 con HAPS no produce ninguna interferencia cocanal a una estación de base que trabaja con antenas de torre en las bandas terrenales de la IMT-2000. Por la misma razón, una estación móvil en HAPS y que funcione en las bandas terrenales de la IMT-2000 no puede producir interferencia cocanal con una estación móvil basada en antenas de torre que opere en el mismo espectro de frecuencias. La potencia de interferencia procedente de la HAPS que recibe la antena de la estación de base afectada puede expresarse por:

$$I_{afectada} = dfp_{HAPS}(\theta) + G_{afectada}(\varphi) + \text{Área}_0 - \delta FSL(\theta_0, \theta) \quad (23)$$

donde  $\text{Área}_0$  es la abertura de antena eficaz de  $-27,5$  dB(m<sup>2</sup>) correspondiente a la antena de 0 dBi del microteléfono.

De donde se obtiene:

$$(I_{recibida}/N) = (I_{recibida}/N)_{centro} + \delta G(\theta - \theta_0) - \delta FSL(\theta) + G_{afectada}(\varphi) \quad (24)$$

en la que  $\varphi$  es el ángulo de elevación de la antena de la estación de base con respecto a la HAPS. Si la antena de la estación de base presenta una cierta inclinación hacia abajo, el plano de elevación de la antena ya no será el plano horizontal. Cuando la antena de la estación de base es sectorial, se supone que está apuntada a la dirección del nadir de la HAPS. Dado que la inclinación hacia abajo reduce la posibilidad de recibir interferencia de la HAPS, se supone aquí que tal inclinación es nula. Esto conduce a  $\varphi = \pi/2 - \theta$ .

Puesto que las antenas de estación de base típicas tienen una directividad relativamente pequeña en comparación con la directividad de las antenas de HAPS, es posible llegar a las siguientes expresiones:

$$y = [D(\theta_0) - 20 \log(\cos(\theta_0)) + 20 \log(\cos(\theta_0 + \psi_2))]/[60 + 20 \psi_2 \text{tg}(\theta_0 + \psi_2)] \quad (25)$$

$$R_{coordinación} = \text{tg}(\theta_0 + 10^y \psi_2)h + (1 - h/(158 \cos(\theta_0) (Num \times 10^{-7,3 + B(\theta_0)} - 1))^{1/2} h \quad \text{km} \quad (26)$$

en las que:

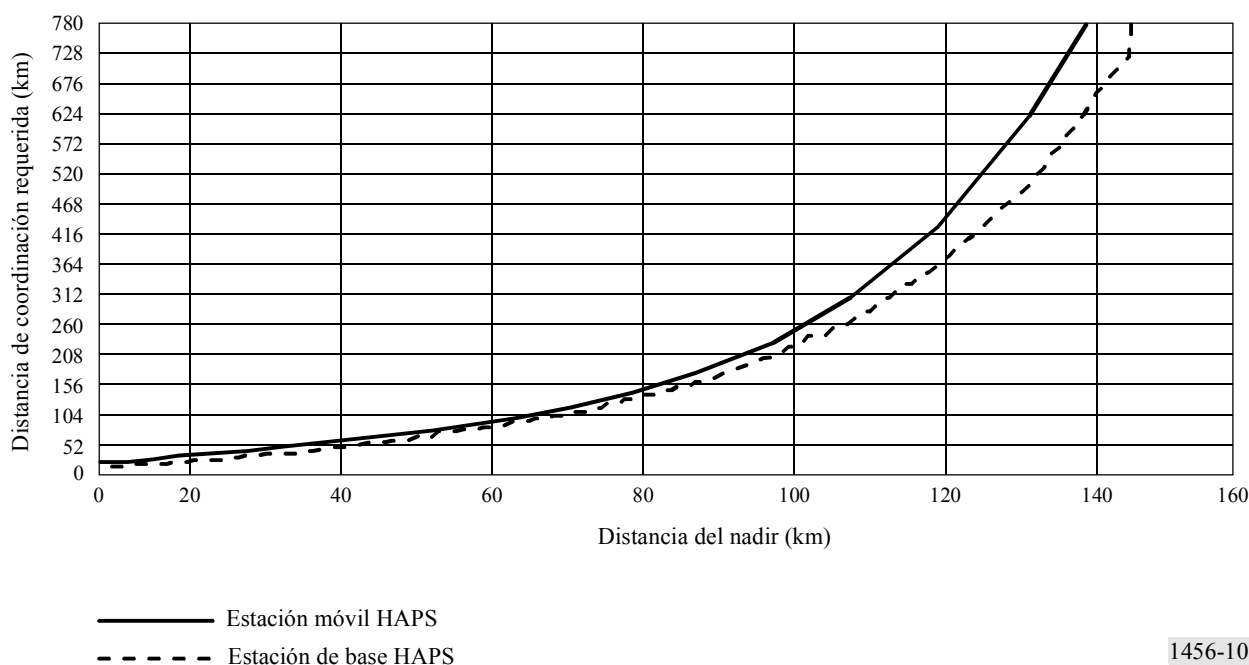
$$D(\theta_0) = (I_{recibida}/N)_{centro} + G_{afectada}(\pi/2 - \theta_0) - Umbral - L_N$$

$$B(\theta_0) = 0,1[(I_{recibida}/N)_{centro} + G_{afectada}(\pi/2 - \theta_0) - Umbral].$$

Incluso para el radio de cobertura máximo de 158 km que aquí se considera, el ángulo de elevación, y por tanto  $\phi$  si se supone que la estación de base está muy próxima al límite de la cobertura HAPS, es de unos  $8^\circ$ , que ya cae totalmente fuera del lóbulo principal en el plano de elevación de la estación de base. De ahí se desprende que, para radios de cobertura HAPS más pequeños ( $< 100$  km), la ganancia de antena de la estación de base es prácticamente 0 dBi. Para HAPS con radios de cobertura entre los 100 km y 160 km, la ganancia eficaz de la antena de la estación de base puede variar de 3 dBi a 4 dBi. Esto repercutirá en un considerable aumento del radio de coordinación.

La Fig. 10 muestra la distancia de coordinación requerida entre una estación de base de un sistema de antenas de torre y la HAPS interferente para el caso de una antena de 13 dBi en la estación de base. También se representa la distancia de coordinación requerida entre la HAPS y una estación móvil de dicho tipo de sistema. Se supone que los parámetros de la HAPS son los mismos, y que la HAPS utiliza el formato de acceso AMDC IMT-2000 con ensanchamiento directo. Como puede apreciarse, la mayor directividad de la antena de la estación de base determina que la distancia de coordinación requerida sea realmente menor que la correspondiente a la estación móvil.

FIGURA 10  
Distancias de coordinación en función de la distancia desde el nadir  
(HAPS que utilizan formato AMDC)



## Apéndice 1 al Anexo 1

### Diagramas de radiación de antena de referencia para las HAPS

#### 1 Diagrama de radiación de antena de referencia para sistemas AMDC y AMDT de HAPS

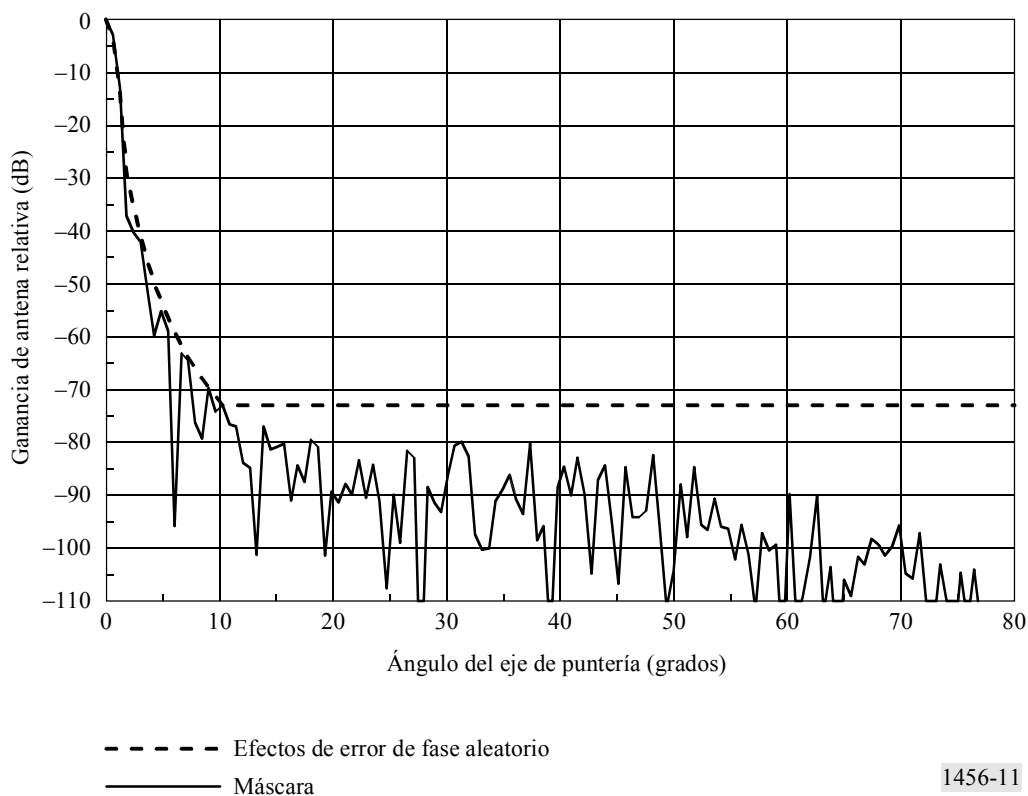
El diagrama de radiación de las antenas de plataforma es el de una antena de elementos en fase multihaz y de alto rendimiento, que utiliza tecnología digital para la formación del haz y un perfil de iluminación en coseno cuadrado. Se supone un régimen de caída de 60 dB/década, que aventaja notablemente en calidad de funcionamiento a la antena parabólica, sólo de 25 dB/década. Este régimen de caída permite mejorar sensiblemente la capacidad de los sistemas AMDC y AMDT que sufren limitaciones por interferencia. Así, el diagrama de radiación de referencia vendrá dado en el *recomienda 2*.

El nivel de lóbulo lateral lejano de  $G_m - 73$  dBi está en consonancia con una tolerancia de fabricación de 0,002 pulgadas. Si esa tolerancia fuese mejor que 0,002 pulgadas, el efecto de los errores de fase sería insignificante.

La Fig. 11 presenta el diagrama de radiación de una antena de elementos en fase con una iluminación de subabertura de  $10 \times 10$  m, y una máscara como definen las ecuaciones (1) a (9).

FIGURA 11

Diagrama de radiación de antena y máscara



## Anexo 2

### Fundamento de los niveles de dfp en los *recomienda* 4 y 5

#### 1 Niveles de dfp OoB establecidos para HAPS en las bandas 2 160-2 200 MHz en la Región 2 y 2 170-2 200 MHz en las Regiones 1 y 3

El nivel de  $-165 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$  señalado para la dfp en el *recomienda* 4 se apoya en las bases descritas a continuación.

El nivel admisible de interferencia de emisión OoB se determina a partir del requisito de que la interferencia causada por la HAPS en una ETM con una ganancia de antena de 15 dBi no debe superar un nivel inferior en 10 dB al nivel de ruido térmico, que es de  $-167,8 \text{ dB(W/4 kHz)}$ . Como esto corresponde a una dfp de valor  $-155 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ , suponiendo una pérdida en línea de alimentación de 0,5 dB, el nivel de interferencia admisible resultante será de  $165 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ . Adviértase que este nivel de interferencia admisible llega a estar hasta 24,5 dB por debajo del nivel de ruido térmico para antenas ETM omnidireccionales y hasta 4,5 dB por debajo del nivel de ruido térmico para una antena ETM con ganancia de 20 dBi.

La justificación de que se permita un nivel de interferencia más elevado para las antenas ETM con superior ganancia de antena es que, por su mayor directividad, solamente reciben esos niveles altos de interferencia las ETM que apuntan a las proximidades de la HAPS. Las ETM de alta ganancia orientadas a otras direcciones recibirán potencias de interferencia más bajas.

Para HAPS que funcionan en IMT-2000 AMCD-DS, la atenuación OoB mínima necesaria para satisfacer el criterio de interferencia viene determinada por la desigualdad siguiente:

$$-98,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))} - ATENUACIÓN_{OoB} \leq -165 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))} \quad (27)$$

o por  $ATENUACIÓN_{OoB} = 66,8 \text{ dB}$ . De modo análogo, para un sistema HAPS AMDT la atenuación OoB deberá satisfacer la desigualdad siguiente:

$$-96,8 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))} - ATENUACIÓN_{OoB} \leq -165 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))} \quad (28)$$

o bien  $ATENUACIÓN_{OoB} = 68,2 \text{ dB}$ .

#### 2 Niveles de dfp OoB establecidos para HAPS en la banda 2 025-2 110 MHz

El nivel dfp de  $-165 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 1 \text{ MHz))}$  señalado en el *recomienda* 5.1 para ángulos de elevación comprendidos entre  $0^\circ$  y  $5^\circ$  se apoya en bases descritas a continuación. El nivel admisible de interferencia de emisión OoB se determina a partir del requisito de que la interferencia causada por la HAPS en una estación del servicio fijo con una ganancia de antena de 33 dBi y un factor de ruido de 5 dB no debe superar un nivel inferior en 20 dB al nivel de ruido térmico, que es de  $-139 \text{ dB(W/MHz)}$ .

El nivel dfp de  $-130 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 1 \text{ MHz))}$  señalado en el *recomienda* 5.3 para ángulos de elevación comprendidos entre  $25^\circ$  y  $90^\circ$  se basa en las mismas características de protección del receptor pero con una ganancia de la antena del servicio fijo en dirección de la HAPS de 3,5 dBi.

### Anexo 3

#### **Compatibilidad entre los sistemas HAPS IMT-2000 y los servicios de investigación espacial (IE), operaciones espaciales (OE) y exploración de la Tierra por satélite (ETS) que funcionan en la banda adyacente 2 025-2 110 MHz**

La red espacial comprende enlaces espacio-espacio entre un satélite de retransmisión de datos SRD en órbita geoestacionaria y un satélite en órbita baja (LEO). El SRD transmite al LEO en la banda 2025-2110 MHz y recibe transmisiones de LEO en la banda 2200-2290 MHz. Por eso el satélite LEO es vulnerable a la interferencia causada por la emisión en la banda 2025-2110 MHz. Un satélite LEO puede también comunicarse con estaciones terrenas de la red terrestre utilizando enlaces Tierra-espacio. El enlace Tierra-espacio transmite en la banda 2025-2110 MHz hacia un satélite LEO, y recibe del satélite LEO en la banda 2200-2290 MHz.

El número S5.391 del RR se refiere a la Recomendación UIT-R SA.1154, la cual recomienda:

«1 que para proteger a los servicios IE, OE y ETS de la interferencia total causada por las emisiones de los sistemas móviles en la banda 2025-2110 MHz, se consideren apropiadas las siguientes disposiciones:

**1.1** que la interferencia total en los terminales de entrada del receptor de un satélite, no ha de rebasar, excepto en el caso de un enlace espacio-espacio,  $-180$  dB(W/kHz) durante más del 0,1% del tiempo;

**1.2** que en el caso de los enlaces espacio-espacio la interferencia total en los terminales de entrada del receptor del satélite no ha de rebasar  $-184$  dB(W/kHz) durante más del 0,1% del tiempo;».

Sin embargo, tanto la Recomendación 622 (CMR-97), que recomienda introducir mejoras tecnológicas para reducir al mínimo la anchura de banda total requerida por los servicios espaciales, como el número S5.391 del RR y la Recomendación UIT-R SA.1154 recomiendan que sólo se permita funcionar en estas bandas a los sistemas de baja densidad.

Puesto que el número S5.391 del RR solamente atañe a la interferencia dentro de banda, se ha estimado necesario disminuir en 5 dB el nivel de densidad espectral dentro de banda recomendado.

Se obtiene así un nivel de  $-159$  dB(W/MHz) para la interferencia total permitida en los terminales de entrada del receptor de la estación terrena durante el 99,9% del tiempo.

Considérese ahora la interferencia potencial causada por la HAPS al satélite LEO que funciona en la red espacial y recibe en la banda 2025-2110 MHz. En las Figs. 12a y 12b se esbozan las configuraciones geométricas correspondientes. La interferencia total en los terminales de entrada del receptor LEO no debe rebasar  $-219$  dB(W/Hz) durante más del 0,1% del tiempo.



FIGURA 12a  
**Interferencia de HAPS  
a satélite LEO de los servicios  
IE, OE y ETS**

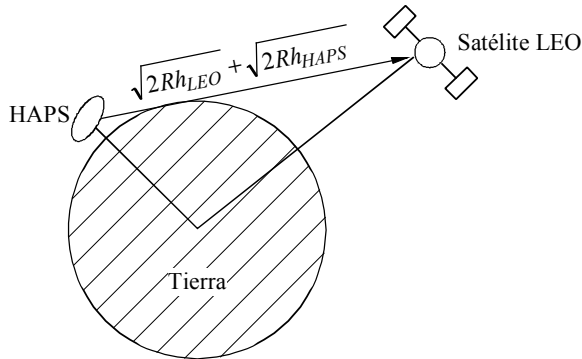
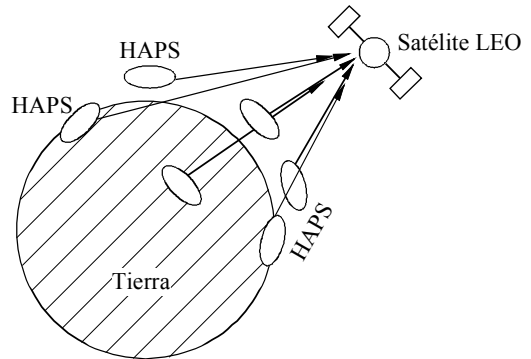


FIGURA 12b  
**Interferencia de varias HAPS  
a satélites LEO de los servicios  
IE, OE y ETS**



1456-12

Las antenas de la HAPS no apuntan hacia el satélite LEO, por lo que no es posible la interferencia de lóbulo principal a lóbulo lateral. En cuanto a la interferencia de lóbulo lateral próximo a lóbulo principal, solamente puede intervenir un haz de HAPS, puesto que los diferentes haces de transmisión de la HAPS apuntan a direcciones distintas. La situación no se aparta mucho de la que se presenta entre la HAPS y el satélite SRD, con la excepción de que la pérdida en el espacio libre es ligeramente menor a causa de la baja altitud del satélite (~ 250 km). En esta configuración de interferencia el satélite LEO es apenas visible desde la HAPS, y por tanto la distancia entre la HAPS y el LEO está dada aproximadamente por  $\sqrt{2Rh_{LEO}} + \sqrt{2Rh_{HAPS}}$ , o 2 295 km, lo que da como resultado una pérdida en el espacio libre de 166 dB. La interferencia al satélite de órbita baja se acopla al sistema receptor a través de los lóbulos laterales de la antena que presenta una ganancia de 0 dBi.

$$Umbral_{p.i.r.e.} = -159 \text{ dB(W/MHz)} + 166 \text{ dB} - 0 \text{ dBi} + 2 \text{ dB} = 9 \text{ dB(W/MHz)} \quad (29)$$

En consecuencia, aun sin ninguna atenuación OoB, la probabilidad de interferencia es nula.

Dentro de la zona visible del satélite LEO, suele haber más de una red HAPS, que proporcionan coberturas superpuestas. Si el satélite se sitúa en torno a los 250 km de altitud, su zona visible es unas 12 veces la zona de cobertura de la HAPS, y por ello puede tomarse 12 como límite superior del número de HAPS visibles desde un único satélite LEO de ciencia espacial. Por sencillez puede suponerse que las redes HAPS se distribuyen con cierta uniformidad a través de la zona visible del satélite. Como cada estación HAPS posee un gran número de antenas, existe la posibilidad de que las interferencias se combinen.

Dado que la ganancia de lóbulos laterales de la antena es función de la frecuencia central de la red de elementos de antena, se supone aquí para mayor seguridad que los lóbulos laterales lejanos de las antenas HAPS tienen esencialmente 0 dBi de ganancia. Para HAPS de 700 haces se obtiene así una densidad espectral de p.i.r.e. total de 11,5 dB(W/MHz) como máximo. Pueden colocarse alrededor de 12 plataformas HAPS dentro de la zona de cobertura de un satélite LEO. La densidad espectral interferente acumulativa que llega al satélite LEO desde las 12 HAPS está dada por:

$$P_{\Sigma_i} = P_s \frac{n_a(h) c^2}{(4 \pi f)^2 R h} [\ln(d_m) - \ln(h)] \quad (30)$$

$$d_m = \sqrt{(R + h)^2 - R^2}$$

donde:

- $P_s$ : contribución de la densidad espectral a la p.i.r.e., desde una sola HAPS (11,5 dB(W/MHz))
- $f$ : frecuencia de transmisión
- $n_a(h)$ : número total de HAPS en la zona de interferencia (~12)
- $c$ : velocidad de la luz
- $d_m$ : máxima distancia al interferente
- $R$ : radio de la Tierra
- $h$ : altura de la órbita LEO menos la altitud de la HAPS.

La pérdida de trayecto media puede calcularse a partir de la ecuación (30). Para una altitud del satélite de 250 km, su valor es de 158 dB. De ahí resulta que la interferencia total en los terminales de entrada del receptor LEO es de -138 dB(W/MHz) (permitiendo 2 dB para discriminación de polarización):

$$\text{Umbral p.i.r.e.} = -159 \text{ dB(W/MHz)} + 158 \text{ dB} - 0 \text{ dBi} + 2 \text{ dB} - 10 \log(12) = -9,8 \text{ dB(W/MHz)} \quad (31)$$

lo cual exige una atenuación OoB de al menos 21 dB para poder alcanzar el nivel umbral de -159 dB(W/MHz).

Pueden aplicarse idénticas consideraciones al satélite LEO que funciona en la red terrestre, con sus antenas apuntando a la estación terrena. En este caso, la interferencia OoB total admisible en el receptor de entrada, que es de -215 dB(W/Hz) durante el 99,9% del tiempo, es 4 dB mayor que la del enlace espacio-espacio. Por tanto la atenuación OoB mínima requerida es 17 dB.

Puesto que las estaciones móviles atendidas por HAPS IMT-2000 tienen exactamente la misma especificación que las estaciones móviles convencionales, el análisis de compartición solamente variaría de unas a otras si el sistema IMT-2000 con antenas de torre y el sistema IMT-2000 terrenal con HAPS tuvieran muy diferente número de usuarios activos por unidad de superficie. Como las densidades de números estimadas para la HAPS son bastante parecidas a las de los sistemas de antenas de torre, salvo en los distritos comerciales céntricos donde estos últimos sistemas han de poder admitir densidades de usuarios más elevadas, no deberá haber diferencias en el criterio de compartición entre los terminales móviles de HAPS y los servicios de ciencia espacial.