

RECOMENDACIÓN UIT-R F.1820

Valores de densidad de flujo de potencia en las fronteras internacionales para estaciones situadas en plataformas a gran altitud que proporcionan servicios de acceso inalámbrico fijo a fin de proteger el servicio fijo en países vecinos en las bandas 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz

(Cuestión UIT-R 212/9)

(2007)

Cometido

Esta Recomendación proporciona los valores de densidad de flujo de potencia (dfp) para proteger las estaciones del servicio fijo convencional situadas en administraciones vecinas contra la interferencia cocanal procedente de estaciones situadas en plataformas a gran altitud (HAPS) que funcionan en las bandas de frecuencias 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz.

Siglas

ZCU Zona de cobertura urbana (*urban area coverage*)

ZCS Zona de cobertura suburbana (*suburban area coverage*)

ZCR Zona de cobertura rural (*rural area coverage*)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que se están desarrollando nuevas tecnologías que utilizan estaciones en plataformas a gran altitud (HAPS) situadas en la estratosfera;
- b) que la CMR-97 designó las bandas de 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz para su utilización por el servicio fijo a título igualmente primario para la instalación de las HAPS;
- c) que la Recomendación UIT-R F.1500 contiene las características de los sistemas del servicio fijo previstas para la utilización de las HAPS en las bandas 47,2-47,5 GHz y 48,2-48,5 GHz;
- d) que, si bien la decisión de instalar HAPS debe tomarse a nivel nacional, dicha instalación puede afectar a las administraciones vecinas, particularmente si se trata de países pequeños,

recomienda

1 que a efectos de proteger las estaciones del servicio fijo convencional situadas en administraciones vecinas contra la interferencia cocanal, basándose en la metodología descrita en el Anexo 1, una HAPS que funcione en las bandas de frecuencias 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz no rebase los siguientes valores de densidad de flujo de potencia (dfp) en la superficie de la Tierra fuera de las fronteras de la administración, a menos que se haya llegado a un acuerdo explícito con la administración afectada en el instante de notificar la HAPS:

-141	dB(W/(m ² · MHz))	para 0° ≤ θ ≤ 3°
-141 + 2,0(θ - 3)	dB(W/(m ² · MHz))	para 3° < θ ≤ 13°
-121	dB(W/(m ² · MHz))	para 13° < θ ≤ 90°

siendo θ el ángulo de llegada por encima del plano horizontal de la Tierra.

Anexo 1

Metodología para determinar los valores de dfp en las fronteras internacionales para las HAPS que proporcionan servicios de acceso inalámbrico fijo a fin de proteger el servicio fijo en países vecinos en las bandas 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz

1 Introducción

Este Anexo describe una metodología para establecer los valores de dfp en las fronteras internacionales para las HAPS que proporcionan servicios FWA a fin de proteger las estaciones del servicio fijo convencional en países vecinos en las bandas 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz y los límites de dfp en las fronteras internacionales para las HAPS, basándose en las características de las HAPS que figuran en la Recomendación UIT-R F.1500.

2 Características del sistema

2.1 Sistema de plataformas a gran altitud

Los parámetros utilizados en este análisis figuran en la Recomendación UIT-R F.1500 y son los siguientes:

CUADRO 1

Zonas de cobertura HAPS

Zona de cobertura	Ángulos de elevación (grados)	Alcance en el suelo (plataforma a 21 km) (km)
ZCU	90-30	0-36
ZCS	30-15	36-76,5
ZCR	15-5	76,5-203

CUADRO 2

Parámetros del transmisor de la estación situada en la plataforma

Comunicación con	Potencia del transmisor (dBW)	Ganancia de la antena (dBi) ⁽¹⁾
ZCU	1,3	30
ZCS	1,3	30
ZCR	3,5	38
Cabecera (ZCU)	0	35
Cabecera (ZCS)	9,7	38

⁽¹⁾ Máximas ganancias de antena.

2.2 Diagramas de radiación de la antena

Los diagramas de radiación de las antenas situadas en las plataformas son conformes a los de la Recomendación UIT-R S.672.

2.3 Atenuación atmosférica

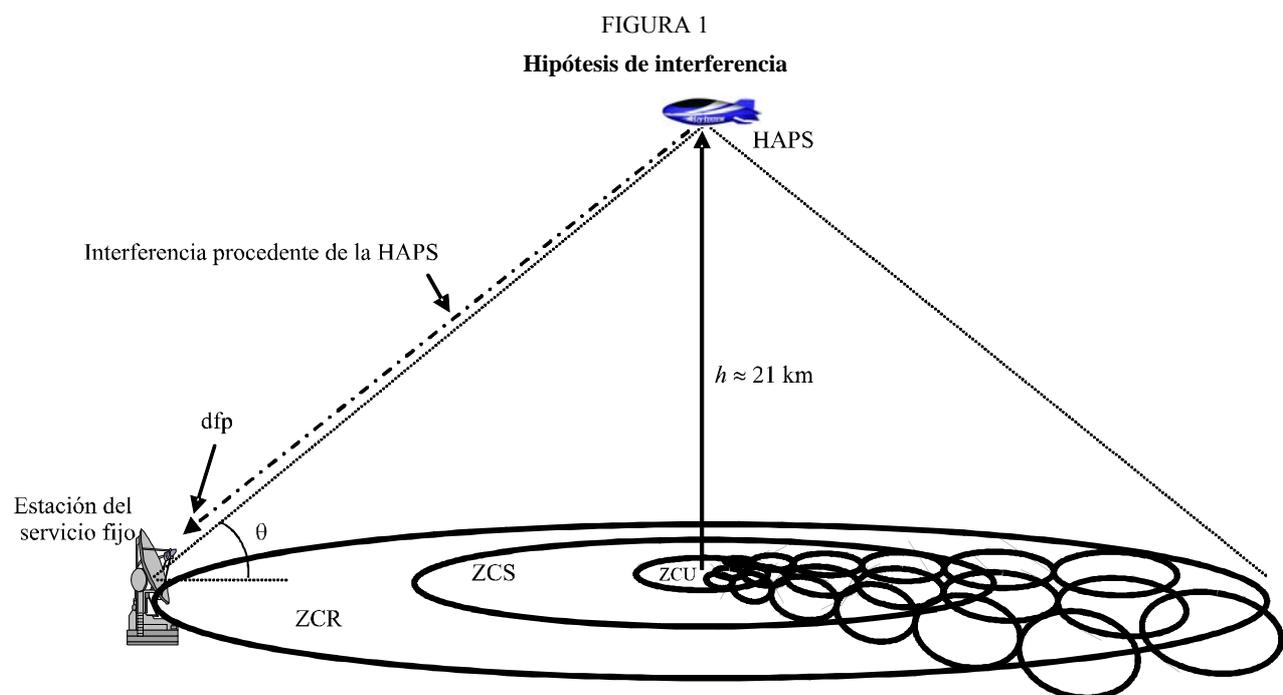
Las fórmulas de la atenuación atmosférica se obtienen de la Recomendación UIT-R F.1501. Para el análisis de interferencia sólo tiene interés la fórmula de la mínima atenuación, por consiguiente, para realizar el análisis de caso más desfavorable se selecciona la fórmula relativa a las regiones de latitudes elevadas a 47,2 GHz.

$$A_H(h, \theta) = 46,70/[1 + 0,6872\theta + 0,03637\theta^2 - 0,001105\theta^3 + 0,8087 \times 10^{-5}\theta^4] + h(0,2472 + 0,1819\theta) + h^2(0,04858 + 0,03221\theta) \quad (1)$$

La fórmula es válida para $0 \leq h \leq 3$ km y $0 \leq \theta \leq 90^\circ$, siendo θ (grados) el ángulo de elevación de la estación en tierra con respecto a la HAPS, y h (km) la altitud de la estación en tierra sobre el nivel del mar. Para ángulos de elevación reales por debajo de 0° , debe utilizarse la atenuación para 0° .

2.4 Hipótesis de interferencia

Se supone una hipótesis de interferencia como la representada en la Fig. 1. En esta hipótesis, la estación del servicio fijo de una administración adyacente que recibe la señal interferente transmitida por una HAPS está situada en el borde o más allá del borde de la cobertura de la HAPS. Para proporcionar el límite de dfp se determina la señal de interferencia combinada procedente de las HAPS de todos los transmisores a bordo de las HAPS.



ZCU, ZCS y ZCR se refieren, respectivamente, a las zonas de cobertura urbana, suburbana y rural de la HAPS.

El valor de f_{dr} esperado en el receptor de la estación en tierra puede determinarse mediante la ecuación (2) utilizada en la Recomendación UIT-R SF.1481-1:

$$f_{dr} = P + G_t - L_{tf} - L_a - L_p - 10 \log B - 10 \log (4\pi d^2) - 60 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad (2)$$

siendo:

- f_{dr} : f_{dr} de portadora recibida esperada (dB(W/(m² · MHz)))
- P : potencia de salida del transmisor (dBW)
- B : anchura de banda de salida del transmisor (dBMHz)
- G_t : ganancia de la antena transmisora (dBi)
- L_{tf} : pérdidas del alimentador de la antena (dB)
- G_r : ganancia de la antena receptora (dBi)
- L_a : absorción atmosférica para un ángulo de elevación particular (dB)
- L_p : atenuación debida a otros efectos de propagación (dB)
- λ : longitud de onda (m)
- d : distancia entre la HAPS y el receptor en tierra (km).

El nivel de f_{dr} admisible para la estación de servicio fijo puede deducirse a partir de las características típicas de una estación de servicio fijo, como se muestra en el Cuadro 3 (Cuadro 27 de la Recomendación UIT-R F.758-4):

CUADRO 3

Parámetros del receptor del SF

Máxima ganancia de la antena (dBi)	46
Diámetro de la antena (m)	0,9
Factor de ruido del receptor (dB)	5
Modulación	256 MAQ
Banda de frecuencias (GHz)	47,2-50,2
Anchura de banda en FI del receptor (MHz)	50
Interferencia nominal a largo plazo (dBW)	-132
Criterio de interferencia obtenido (dB(W/MHz))	-149

El criterio de interferencia del Cuadro 3 refleja principalmente el receptor del ruido térmico del receptor menos 10 dB, lo que garantiza que la penalización en la relación señal/ruido recibida no es superior a 0,4 dB. Para determinar el límite de f_{dr} , debe calcularse la abertura efectiva de una antena ideal con la misma ganancia de antena. Utilizando la fórmula para una antena ideal:

$$D_{efectiva} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot 10^{0,05 \cdot G_{SF}} \quad (3)$$

siendo D el diámetro de la abertura efectiva de la antena ideal, G_{SF} la máxima ganancia de antena real y λ la longitud de onda de la señal de RF transmitida. El límite de dfp para la interferencia en el eje de puntería procedente de una HAPS puede obtenerse como sigue:

$$\begin{aligned} DFP_{límite} &= (\text{Criterio_interferencia}) - 10 \log \left(\frac{\pi \cdot D_{efectiva}^2}{4} \right) \\ &= (\text{Criterio_interferencia}) - G_{SF} - 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \\ &= -140,02 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \end{aligned} \quad (4)$$

Para determinar el nivel de interferencia combinada causada por una HAPS, debe calcularse en primer lugar el factor del sistema de antenas para obtener la ganancia efectiva de la antena transmisora G_t en la ecuación (5).

El factor del sistema de antenas se obtiene suponiendo que las antenas HAPS están dispuestas en una rejilla hexagonal sobre una superficie hemisférica y teniendo en cuenta el hecho de que el sistema de antenas no cubriría todo el hemisferio incluso con un mínimo ángulo de elevación de cero; por consiguiente, este cálculo corresponde al extremo superior del límite de la dfp. Una hipótesis más simplificadora consiste en sustituir el resto de antenas de ZCR por antenas de ZCS de menor ganancia salvo la que está orientada directamente hacia el receptor en tierra interferido. Esta hipótesis aumenta el acoplamiento del haz cocanal adyacente puesto que la antena de ganancia menor tiene los lóbulos laterales más elevados. Se utiliza un plan de reutilización de frecuencias con un factor 7, de conformidad con la Recomendación UIT-R F.1500.

Las Figs. 2 y 3 muestran un ejemplo del cálculo del factor del sistema de antenas HAPS con los parámetros basados en el Cuadro 3 salvo que se permite que las ganancias de las antenas de ZCU y ZCS varíen desde 10 dB por debajo hasta los valores indicados en el citado Cuadro 3.

El número total de antenas depende evidentemente de la anchura de haz de cada una de las antenas; cuanto mayor sea la anchura de haz menor será el número de antenas. Esto queda demostrado en la Fig. 2. El número de antenas en el sistema de antenas viene determinado en el cálculo por la anchura de haz de cada antena ya que los haces están separados uno de otro por la anchura de haz a -3 dB para obtener una cobertura uniforme óptima. Por consiguiente, cuanto menor sea la ganancia de una sola antena, menor será también el número de antenas.

Si todas las antenas en el sistema tienen la misma ganancia, aproximadamente:

$$\text{Número_de_antenas} \approx \frac{1 - \text{sen}(\theta_{\text{elevación}})}{1 - \cos\left(\frac{\theta_{\text{anchura de haz}}}{2}\right)}$$

Donde $\theta_{\text{elevación}}$ es el mínimo ángulo de elevación del sistema de antenas y $\theta_{\text{anchura de haz}}$ es la anchura de haz a -3 dBi de cada antena. Puede observarse que cuanto más elevada sea la ganancia de cada antena menor es la semianchura del haz y, por consiguiente, mayor el número de antenas necesarias para proporcionar una cobertura a -3 dB. Si se utilizan menos antenas, los haces adyacentes se cruzarán por debajo del nivel de -3 dBi con el consiguiente empeoramiento en la cobertura del borde. Los números en la Fig. 2 se han extraído de una simulación real y por tanto son ligeramente distintos de los de la fórmula anterior.

El factor del sistema de antenas en la Fig. 3 se calcula sumando todas las contribuciones de las emisiones del lóbulo lateral de otras antenas además de la contribución del eje de puntería de la antena orientada hacia la estación en tierra del servicio fijo y dividiendo esa cantidad por la ganancia de la antena en el eje de puntería. Utilizando el factor del sistema de antenas, puede calcularse la d_{fp} a partir de la ecuación de una sola antena (5) sustituyendo la ganancia de una sola antena por la ganancia de la antena multiplicada por el factor del sistema de antenas.

Como el factor del sistema de antenas calculado es aproximadamente 1,1, ello significa que la ganancia efectiva de una sola antena será aproximadamente 11 000 ó 40,4 dBi.

Más concretamente:

$$\text{Factor_del sistema de antenas} = \frac{\sum G_n(\psi_n)}{G_0(0)} \quad (5)$$

siendo $G_0(0)$ la ganancia en el eje de puntería de la antena HAPS orientada directamente hacia la estación del servicio fijo y n se refiere al resto de orientaciones correspondientes a las otras antenas cocanal. Las ganancias de antena para las antenas cocanal son las ganancias del lóbulo lateral a los ángulos apropiados.

FIGURA 2

Número de antenas en función de la ganancia de una sola antena

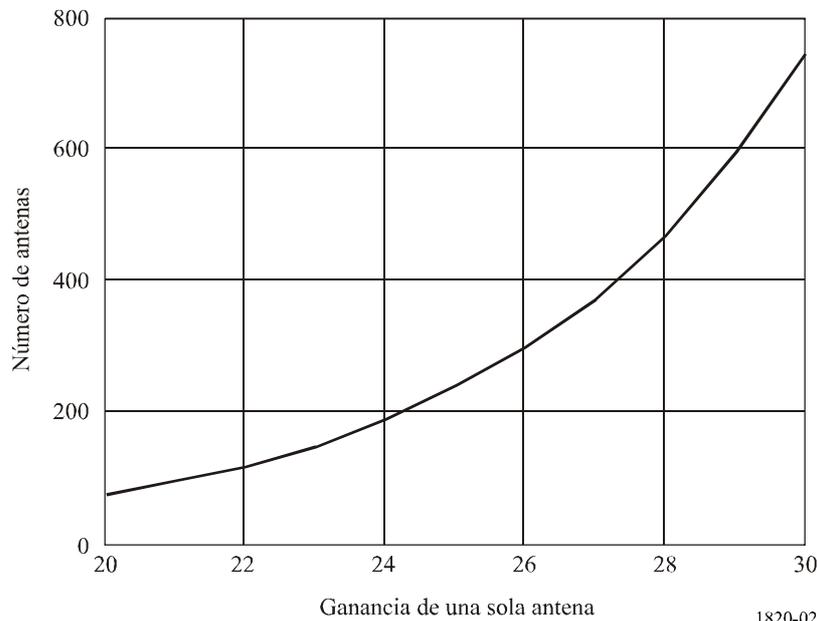
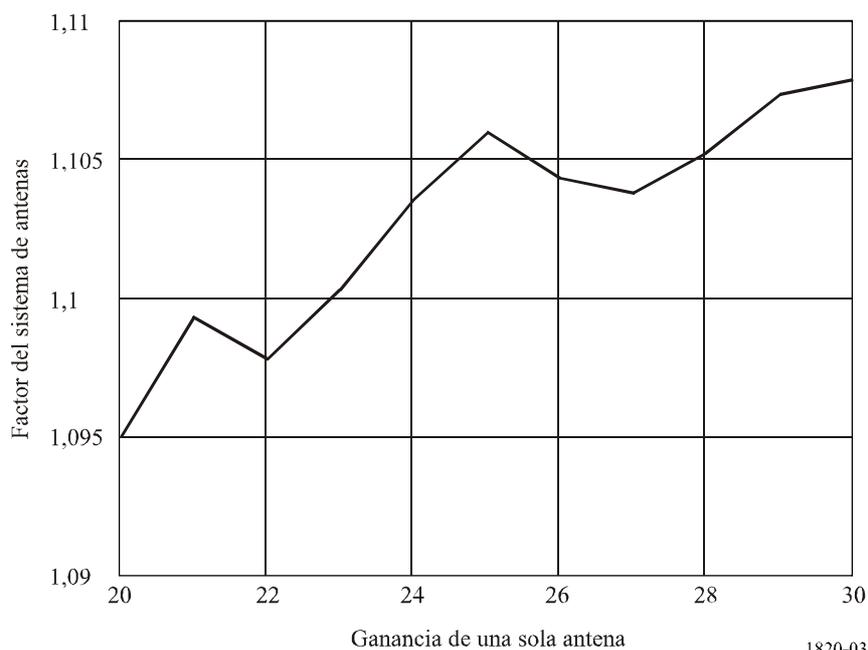


FIGURA 3

Factor del sistema de antena en función de la ganancia de una sola antena



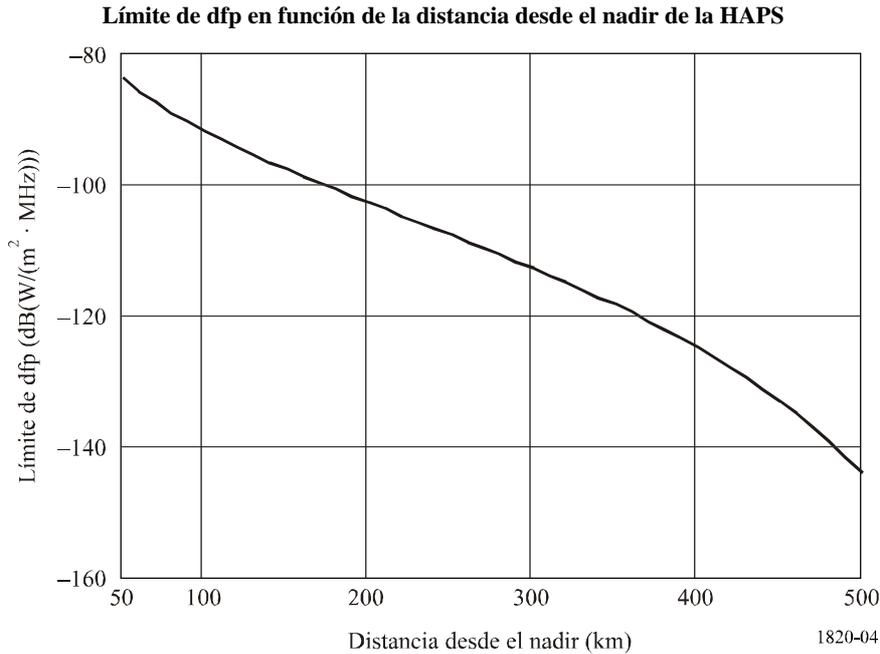
1820-03

La Fig. 2 refleja el hecho de que a medida que aumenta la ganancia de las antenas de ZCU/ZCS sus anchuras de haz disminuyen, en consecuencia el número total de haces también se incrementa de la forma correspondiente, con el consiguiente crecimiento en la capacidad de la red de plataformas.

En la Fig. 3, los factores del sistema de antenas calculado se agrupan todos ellos en torno a 1,1, independientemente de la ganancia de una sola antena. Este resultado es razonable ya que el patrón de reutilización de frecuencias 7:1 del sistema de antenas minimiza la interferencia cocanal procedente de las antenas cocanales adyacentes. El factor del sistema de antenas aumenta la ganancia de la antena transmisora en 0,4 dB en la ecuación (5).

El límite de dfp calculada se muestra en la Fig. 4. Este límite de dfp se obtiene principalmente de la ecuación (5) sustituyendo la ganancia de una sola antena G_t por una ganancia de una sola antena efectiva como se describe en 1. La distancia entre las antenas HAPS y la estación en tierra del servicio fijo se determina a partir de la distancia desde el nadir mediante los cálculos de geometría esférica adecuados.

FIGURA 4



En el cálculo anterior, se supone una anchura de banda de transmisión de 11 MHz y unas pérdidas combinadas en el cable/alimentador de 5 dB. La dfp obtenida se encuentra entre $-84 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ y $-144,2 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$ para distancias comprendidas entre 50 km y 500 km desde el nadir, correspondiendo la cifra mayor a la distancia de 50 km. El límite de dfp cae por debajo del límite de interferencia de dfp del servicio fijo cuando el extremo exterior de la ZCR HAPS es mayor de 470 km. La dfp disminuye abruptamente cuando la distancia supera los 200 km, lo que significa un rápido incremento de la atenuación atmosférica. El ángulo de elevación que corresponde a la distancia de 200 km desde el nadir es de unos 5° . El cálculo anterior se basa en la hipótesis de que la estación en tierra del servicio fijo interferido se encuentra a nivel del mar. Las estaciones en tierra del servicio fijo que se encuentran por encima del nivel del mar sufrirán unos niveles de interferencia más elevados debido a la reducción de la atenuación atmosférica.

El balance del enlace HAPS para la ZCR incluye un margen de desvanecimiento debido a la lluvia de 20 dB; por lo tanto, sería posible utilizar un control automático de potencia del enlace descendente reduciendo la potencia transmisora en 20 dB durante condiciones de cielo despejado para disminuir la interferencia en el eje de puntería causada a la estación del servicio fijo, suponiendo que dicha estación está orientada hacia la HAPS. Desconectando el haz ZCR que apunta directamente a la estación del servicio fijo, puede lograrse una reducción adicional de 10 dB en el nivel de interferencia en el eje de puntería. Ello exigiría igualmente que la distancia desde la estación del servicio fijo al nadir de la HAPS fuese superior a 260 km. La estación del servicio fijo también puede disminuir la interferencia provocada por la HAPS apuntando en otra dirección distinta a la de la HAPS. Teniendo en cuenta el valor extremadamente pequeño de la anchura de haz de la antena de la estación del servicio fijo ($> 1^\circ$) esto es posible, aunque el mantenimiento en posición de la HAPS es mucho menos preciso que el del satélite geostacionario si la antena del servicio fijo está apuntada en una dirección demasiado cercana a la posición nominal de la HAPS. Sin embargo, una antena de servicio fijo normalmente está dirigida horizontalmente hacia otra antena del servicio fijo distante, mientras que el mínimo ángulo de elevación de la antena de la HAPS es de unos 4° y, por consiguiente, la diferencia en los ángulos de elevación entre las antenas HAPS interferentes y la antena del servicio fijo puede proporcionar al menos una reducción de 25 dB de la señal interferente.

El apantallamiento por el terreno de la antena del servicio fijo también ayuda a reducir la interferencia fuera del eje de puntería.

La línea continua de la Fig. 5 representa el límite de d_{fp} calculado en función del ángulo de elevación de la HAPS vista desde la estación del servicio fijo. La línea de puntos muestra el mismo límite una vez sustraído el margen de atenuación debida a la lluvia de 20 dB. Obsérvese que el límite de d_{fp} calculado (20 dB) es bastante plano para ángulos de elevación por encima de 13° y disminuye abruptamente para ángulos de elevación inferiores a 3°.

FIGURA 5
Límite de d_{fp} en función del ángulo de elevación

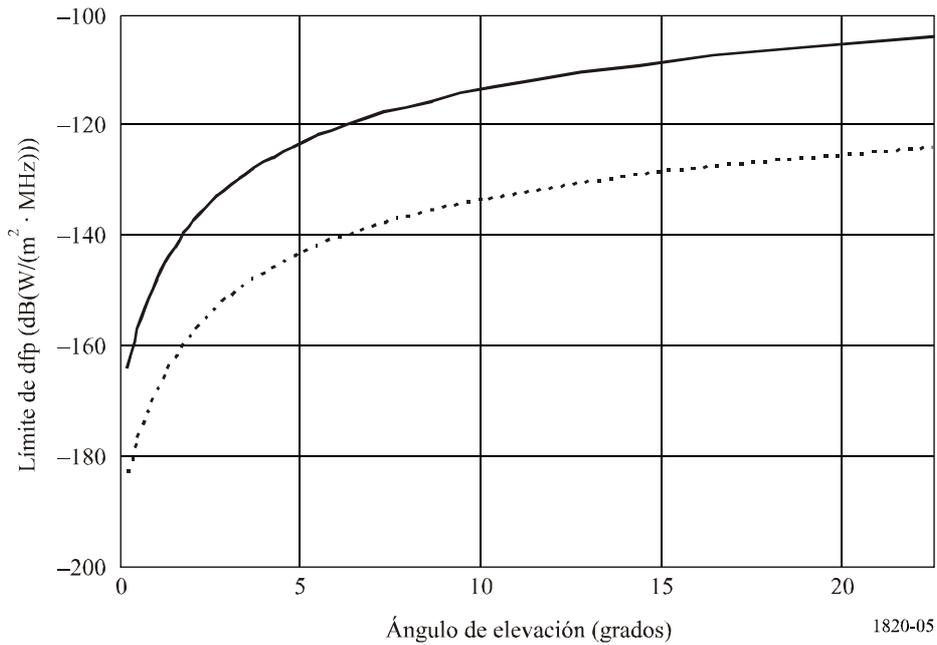
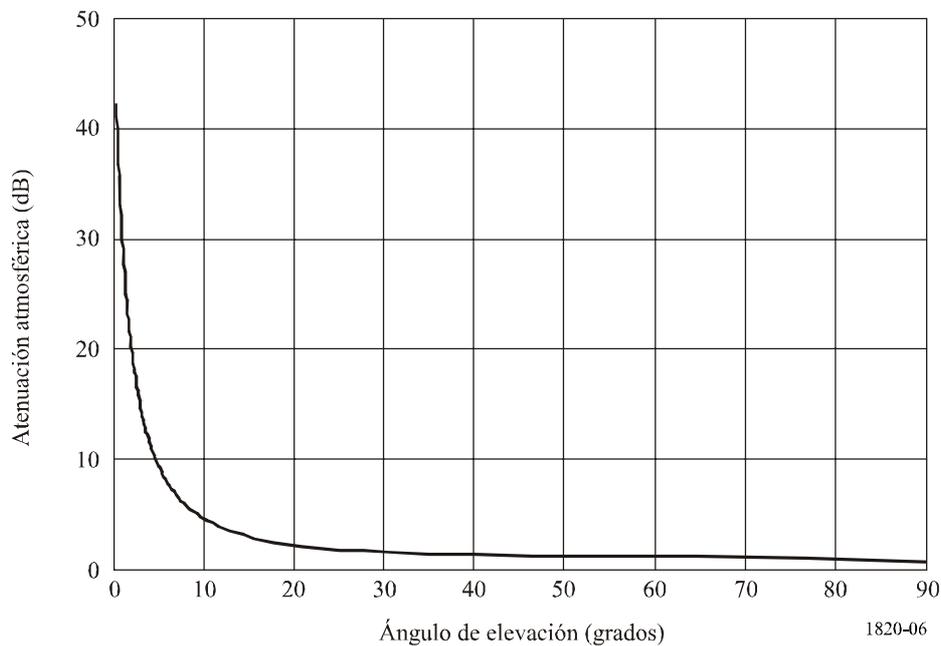


FIGURA 6
Atenuación atmosférica en función del ángulo de elevación



La Fig. 6 representa la variación de la mínima atenuación de propagación debida a los gases atmosféricos en la banda 47,2-48,2 GHz en función del ángulo de elevación de la HAPS observada desde la estación del servicio fijo, de conformidad con la Recomendación UIT-R F.1501. Indica que la atenuación atmosférica permanente en un valor pequeño (0,57 dB a 90° y 1,9 dB a 22,5° ó ~ 50 km del nadir) hasta que el ángulo de elevación cae por debajo de 13° (atenuación = 3,4 dB, distancia ~ 90 km desde el nadir), en cuyo punto la atenuación aumenta casi exponencialmente alcanzando un valor de 42,2 dB a 0,154° (aproximadamente a 500 km del nadir). A 3° (~ 280 km desde el nadir) la atenuación atmosférica es de 13,9 dB. Cabe señalar que la atenuación atmosférica disminuye rápidamente con la altitud de la estación en tierra. Por encima de los 10 km de altitud, la atenuación atmosférica varía entre 0,47 dB y 1,22 dB para distancias comprendidas entre 76 km y 200 km (desde el nadir).

3 Límite de dfp HAPS propuesto en las fronteras internacionales para proteger el servicio fijo

Basándose en los resultados de este estudio se propone que a fin de proteger contra la interferencia cocanal las estaciones en tierra del servicio fijo en las administraciones vecinas, una HAPS que funcione en las bandas de frecuencia 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz no rebase el siguiente valor de dfp cocanal en la superficie de la Tierra fuera de las fronteras de la administración, a menos que se haya concluido un acuerdo explícito con la administración afectada en el instante de notificación de la HAPS;

- -141 dB(W/(m² · MHz)) para 0° ≤ θ ≤ 3°
- -141 + 2,0(θ - 3) dB(W/(m² · MHz)) para 3° < θ ≤ 13°
- -121 dB(W/(m² · MHz)) para 13° < θ ≤ 90°

siendo θ el ángulo de llegada por encima del plano horizontal de la Tierra.

La razón de seleccionar una gama de ángulos de llegada por debajo de 3° es que es mucho más probable que la antena del servicio fijo pueda recibir interferencia en el eje de puntería o cerca del eje de puntería procedente de una HAPS y, por consiguiente, se requiere una plena protección. Para ángulos de llegada de 13° o superiores, la interferencia en el eje de puntería es muy improbable y por ello se supone una reducción de 20 dB de la ganancia de antena del servicio fijo para disminuir los requisitos de protección de dfp procedente de la HAPS.