

## RECOMENDACIÓN UIT-R F.1609-1

**Evaluación de la interferencia causada por los sistemas del servicio fijo que utilizan estaciones situadas en plataformas a gran altitud a los sistemas del servicio fijo convencionales en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz**

(Cuestión UIT-R 212/9)

(2003-2006)

**Cometido**

Esta Recomendación describe las metodologías de evaluación de la interferencia causada por el servicio fijo que utiliza estaciones situadas en plataformas a gran altitud (HAPS) a sistemas del servicio fijo convencionales en las bandas de 28 GHz (27,5-28,35 GHz) y 31 GHz (31-31,3 GHz). En los Anexos 1 a 3 aparecen ejemplos de cálculo de la interferencia utilizando estas metodologías para estaciones de acceso inalámbrico fijo (FWA) punto a punto (P-P) y punto a multipunto (P-MP).

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que se está desarrollando una nueva tecnología en la que se utilizan estaciones situadas en plataformas a gran altitud (HAPS) ubicadas en la estratosfera;
- b) que como las bandas de 47 GHz, indicadas en el *reconociendo* a), son más susceptibles a la atenuación debida a la lluvia en los países citados en los números 5.537A y 5.543A del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), el UIT-R ha estudiado la gama de frecuencias 18-32 GHz para la posible identificación de espectro adicional;
- c) que las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz están atribuidas al servicio fijo a título primario,

*reconociendo*

- a) que la CMR-97 adoptó disposiciones para la explotación de las HAPS por el servicio fijo en las bandas 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz;
- b) que el número 5.537A del RR establece que la atribución al servicio fijo en la banda 27,5-28,35 GHz puede ser utilizada también por las HAPS en los países citados y que su empleo por las estaciones HAPS se limita al funcionamiento en el sentido descendente HAPS-Tierra y no deberá causar interferencias perjudiciales a los tipos convencionales de sistemas del servicio fijo o a los otros servicios con atribuciones también a título primario, ni reclamar protección con relación a los mismos;
- c) que el número 5.543A del RR establece que la atribución al servicio fijo en la banda 31-31,3 GHz puede ser utilizada también por las HAPS en el sentido Tierra-HAPS en los países citados y que su empleo de las estaciones HAPS no deberá causar interferencias perjudiciales a los tipos convencionales de sistemas del servicio fijo o a los otros servicios con atribuciones también a título primario ni reclamar protección con relación a los mismos, conforme a lo dispuesto en el número 5.545 del RR;

d) que el número 5.543A del RR también establece que el empleo de las estaciones HAPS en la banda 31-31,3 GHz no causará interferencias perjudiciales a los servicios pasivos con atribuciones a título primario en la banda 31,3-31,8 GHz con arreglo a los criterios de interferencia estipulados en las Recomendaciones UIT-R SA.1029 y UIT-R RA.769;

e) que la Resolución 145 (Rev.CMR-03) solicita la realización [urgente] de estudios sobre los temas técnicos, de compartición y reglamentarios a fin de determinar criterios para la explotación de las HAPS en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz,

*recomienda*

1 que se utilicen las metodologías contenidas en los Anexos 1 y 2 para evaluar la interferencia causada por un sistema basado en HAPS a un sistema del servicio fijo convencional P-MP y P-P (véanse las Notas 1 y 2);

2 que se utilice la metodología contenida en el Anexo 3 para evaluar la interferencia causada por una HAPS a un sistema del servicio fijo convencional en la banda 27,5-28,35 GHz;

3 que se utilicen las metodologías contenidas en los Anexos 1, 2 y 3 para desarrollar convenios bilaterales entre las administraciones.

NOTA 1 – Debe consultarse la Recomendación UIT-R F.1569 con relación a los parámetros típicos referentes a un sistema basado en HAPS.

NOTA 2 – La evaluación de la interferencia provocada por un sistema basado en HAPS al sistema de acceso inalámbrico fijo (FWA) se trata en los Anexos 1 y 2 para la hipótesis de interferencia de caso más desfavorable. La adopción de las técnicas de reducción de la interferencia descritas en la Recomendación UIT-R F.1608 pueden acortar la distancia de separación necesaria.

NOTA 3 – En los Anexos 1 y 2 se ha fijado el valor numérico del parámetro potencia salida de transmisión. No será difícil calcular los valores de otros parámetros basándose en los resultados allí descritos. Además, la Recomendación UIT-R F.758 enumera ciertos parámetros del sistema, algunos de los cuales incluyen el caso más desfavorable desde el punto de vista de los temas de interferencia.

## **Anexo 1**

### **Metodología para evaluar la interferencia causada por los sistemas del servicio fijo que utilizan HAPS a los sistemas de FWA, P-MP en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz**

#### **1 Introducción**

Este Anexo presenta una metodología para evaluar la interferencia, los parámetros técnicos y las técnicas de explotación que se deben utilizar para los estudios de compartición entre sistemas del servicio fijo que emplean HAPS y sistemas FWA que funcionan en modo P-MP en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz. El sistema P-MP consta normalmente de una estación base y varias estaciones de abonado.

En el sistema FWA, no hay ninguna regla para usar estas dos bandas de frecuencias entre una estación base FWA y una estación de abonado FWA. Por consiguiente, tienen que considerarse todas las situaciones de interferencia.

## 2 Metodología para calcular la interferencia causada por un sistema basado en HAPS a un sistema FWA P-MP

### 2.1 Interferencia provocada por la aeronave HAPS a la estación FWA

La potencia de interferencia del haz puntual de la aeronave HAPS a la estación FWA,  $I$  (dB(W/MHz)), se obtiene por la ecuación (1).

$$I = P_{Tx\_H_m B_n} + G_{Tx\_H_m B_n}(\theta_{H_m B_n\_F}) - L_s - L_{AtmHm\_F} + G_{Rx\_FWA}(\theta_{F\_H_m}) - L_{fRx\_FWA} \quad (1)$$

siendo:

$P_{Tx\_H_m B_n}$ : densidad de potencia de transmisión del haz puntual ( $B_n$ ) de la HAPS ( $H_m$ ) (dB(W/MHz))

$G_{Tx\_H_m B_n}(\theta_{H_m B_n\_F})$ : ganancia de la antena del haz puntual de la aeronave HAPS hacia la dirección de la estación FWA (dBi)

$L_s$ : pérdidas en el espacio libre entre la aeronave HAPS y la estación FWA (dB), obtenidas mediante la siguiente ecuación:

$$L_s = 20 \log\left(\frac{4\pi d \times 1000}{\lambda}\right)$$

$d$ : distancia entre la aeronave HAPS y la estación FWA (km)

$\lambda$ : longitud de onda (m)

$L_{AtmHm\_F}$ : pérdida por absorción atmosférica entre la aeronave HAPS y la estación FWA (dB) (para más detalles, véase el Apéndice 1 a los Anexos 1 y 2 que se basa en la Recomendación UIT-R F.1404, donde la absorción se denomina  $A(h, \theta)$ )

$G_{Rx\_FWA}(\theta_{F\_H_m})$ : ganancia de la antena de recepción de la estación FWA en dirección de la aeronave HAPS (dBi)

$L_{fRx\_FWA}$ : pérdidas del alimentador de la estación FWA en el lado de recepción (dB).

La relación entre la potencia de interferencia y el ruido térmico del receptor,  $I/N$ , se obtiene por la ecuación (2).

$$I/N = I - 10 \log(293 \times k \times 10^{NF/10} \times 10^6) \quad \text{dB} \quad (2)$$

donde:

$k$ : constante de Boltzmann =  $1,38 \times 10^{-23}$  (J/K)

$NF$ : factor de ruido de la estación FWA (dB).

### 2.2 Interferencia provocada por la estación HAPS en tierra a la estación FWA

La potencia de interferencia causada por la estación HAPS en tierra a la estación FWA,  $I$  (dB(W/MHz)), se obtiene por la ecuación (3).

$$I = P_{Tx\_GS} - L_{fTx\_GS} + G_{Tx\_GS}(\theta_{H\_F}) - L_s - L_{Atm} - L_{Obs} + G_{Rx\_FWA}(\theta_{F\_H}) - L_{fRx\_FWA} \quad (3)$$

donde:

$P_{Tx\_GS}$ : densidad de potencia de transmisión de la estación HAPS en tierra (dB(W/MHz))

$L_{fTx\_GS}$ : pérdidas del alimentador de la estación HAPS en tierra (dB)

- $G_{Tx\_GS}(\theta_{H\_F})$ : ganancia de la antena de la estación HAPS en tierra en dirección de la estación FWA (dBi)
- $L_S$ : pérdidas en el espacio libre entre la estación HAPS en tierra y la estación FWA (dB)
- $L_{Atm}$ : pérdida por absorción atmosférica entre la estación HAPS en tierra y la estación FWA (dB), que se calcula mediante la Recomendación UIT-R P.676
- $L_{Obs}$ : pérdida por apantallamiento entre la estación HAPS en tierra y la estación FWA (no se incluye en el cálculo de la distancia de separación necesaria) (dB)
- $G_{Rx\_FWA}(\theta_{F\_H})$ : ganancia de la antena de recepción de la estación FWA en dirección de la estación HAPS en tierra (dBi)
- $L_{fRx\_FWA}$ : pérdidas del alimentador de la estación FWA (dB)

La relación  $I/N$  se obtiene por la ecuación (2).

### 3 Suposiciones para la evaluación de la interferencia

#### 3.1 Sistema HAPS

Los parámetros del sistema HAPS se describen en la Recomendación UIT-R F.1569.

#### 3.2 Sistema FWA con funcionamiento P-MP

El § 1 del Apéndice 2 a los Anexos 1 y 2 describe los parámetros supuestos en el sistema FWA con funcionamiento P-MP para llevar a cabo la evaluación de la interferencia, que incluye la estación base y la estación de abonado.

En cuanto a la estación base FWA, se consideran los tres casos siguientes desde la perspectiva del diagrama del haz de la antena y el esquema de reutilización de frecuencias. Se supone que las estaciones base están instaladas geográficamente cada 2 km.

*Caso a)*: el diagrama supuesto del haz de la antena se basa en la Recomendación UIT-R F.1336 y parece que la reutilización de frecuencias es comparativamente realista (se utilizan bandas de frecuencias segmentadas  $4 \times 4$  para las cuatro estaciones base y su haz de antena es un sector de  $90^\circ$ : se instala repetidamente un grupo de cuatro estaciones).

*Caso b)*: el diagrama supuesto del haz de la antena se basa en la Recomendación UIT-R F.1336 y todas las estaciones base usan la misma frecuencia asignada a la estación base (por consiguiente, se supone un diagrama omnidireccional en la dirección acimutal).

*Caso c)*: el diagrama supuesto del haz de la antena es razonablemente realista y muchos proveedores de servicio lo adoptarían (no enumerado en ninguna Recomendación); el esquema de reutilización de frecuencias es el mismo que en el Caso a).

### 4 Ejemplos del resultado de los cálculos en el caso del sistema FWA con funcionamiento P-MP

En este punto se muestran ejemplos de la característica de la relación  $I/N$  calculada y la distancia de separación necesaria. Por lo que concierne a los parámetros del sistema FWA con funcionamiento P-MP, se consideran los tres Casos, a), b) y c), para la estación base. También se supone que se utiliza el mismo tipo de estación de abonado FWA para las tres estaciones base.

#### 4.1 Interferencia provocada por la aeronave HAPS al sistema FWA

En el análisis de la interferencia causada por la aeronave HAPS a la estación base FWA, se supone que se han instalado  $11 \times 21$  aeronaves HAPS en una superficie de  $500 \text{ km} \times 1\,000 \text{ km}$ . Las características de la relación  $I/N$  se evalúan como una función de la distancia entre la estación FWA y el punto nadir de la aeronave HAPS ubicada en el punto medio del lado de  $1\,000 \text{ km}$ .

Mediante cálculos, se supone que el haz principal de la estación base FWA siempre se orienta hacia la dirección horizontal. Por otro lado, para realizar el análisis del caso más desfavorable se supone que la estación de abonado FWA apunta directamente a las aeronaves HAPS situadas a ángulos de elevación de hasta  $60^\circ$ .

##### 4.1.1 Interferencia provocada por la aeronave HAPS a la estación base FWA

En las Figs. 1 y 2 se muestran las características de la relación  $I/N$  de la estación base FWA para los Casos a) y b) respectivamente, cuando está sujeta a la interferencia causada por  $11 \times 21$  aeronaves HAPS (véase la Fig. 3). La notación «frente» en la Fig. 1 significa que las estaciones base apuntan hacia el centro de múltiples aeronaves HAPS cara a cara en la dirección acimutal. «Lateral» y «posterior» indican las condiciones en que la estación base ve a la aeronave en su parte lateral y en su parte posterior, respectivamente. La relación  $I/N$  indicada muestra el valor más desfavorable entre todos los haces puntuales de las aeronaves HAPS que utilizan el esquema de reutilización de frecuencias.

FIGURA 1

Características de la relación  $I/N$  en la estación base FWA  
para el Caso a) cuando es interferida  
por  $11 \times 21$  aeronaves HAPS

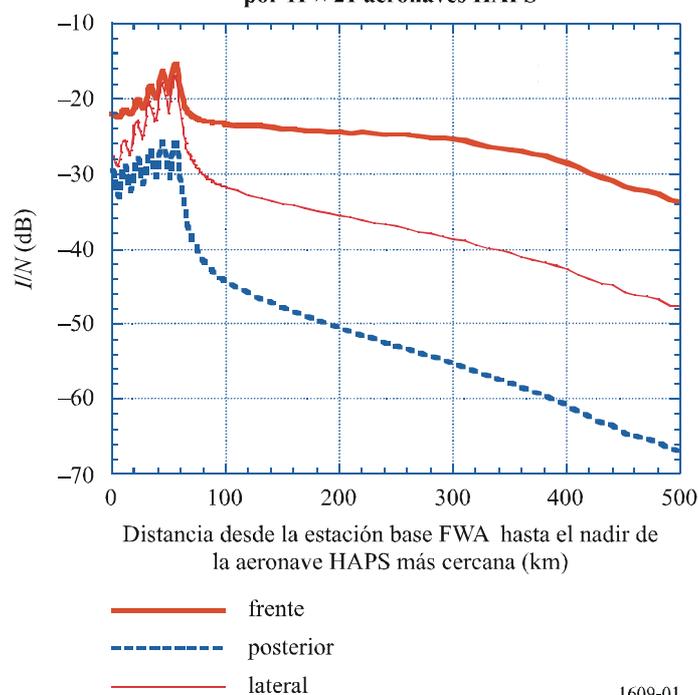


FIGURA 2  
Características de la relación  $I/N$  en la estación base FWA  
para el Caso b) cuando es interferida  
por  $11 \times 21$  aeronaves HAPS

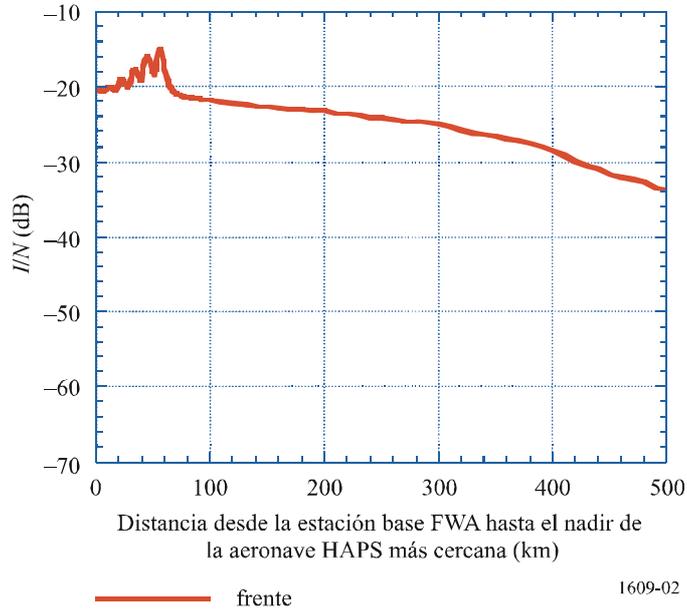
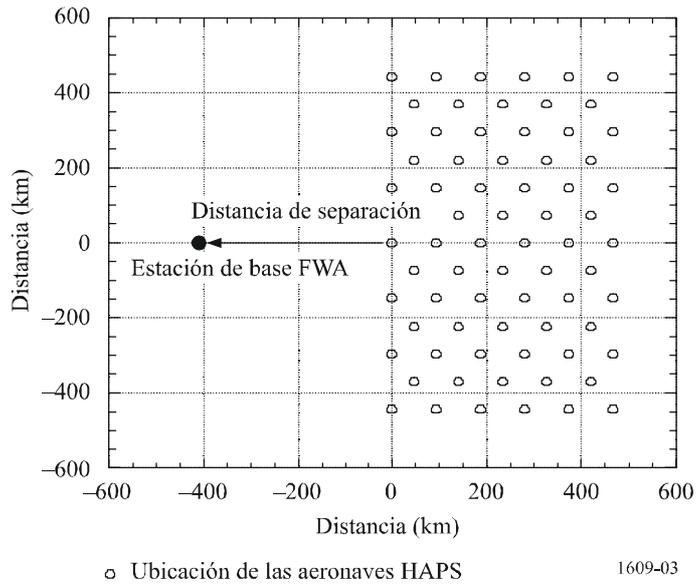


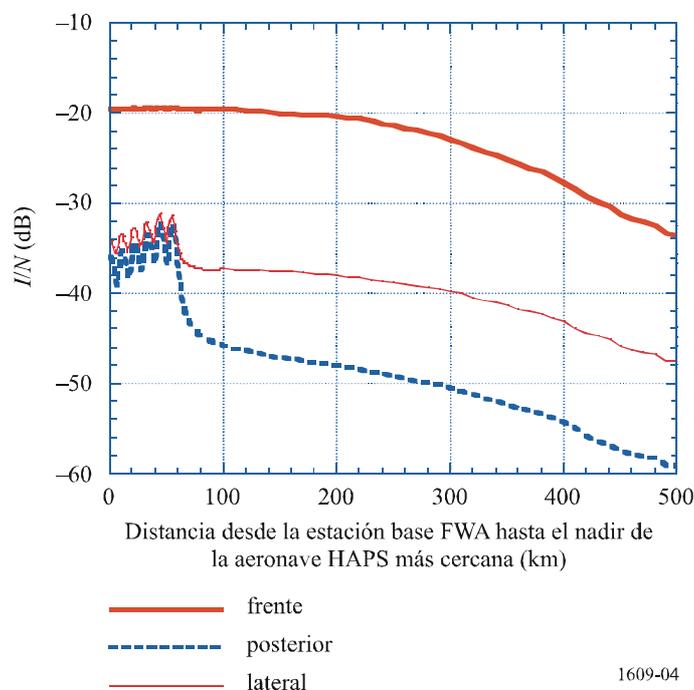
FIGURA 3  
Aeronaves HAPS ubicadas en una superficie de  $500 \times 1\ 000$  km



En ambas Figuras, se observa que el valor máximo de la relación  $I/N$  es aproximadamente de  $-15$  dB. Por consiguiente, bajo las condiciones aquí establecidas, se concluye que las múltiples aeronaves HAPS no pueden causar graves interferencias a la estación base FWA. Puede verse en la Fig. 2 que frente es igual a lateral y posterior, ya que se supone que el diagrama de antena tiene características omnidireccionales en la dirección acimutal.

Cuando se utiliza un diagrama del haz razonablemente realista para la estación base FWA como en el Caso c), se reduce ligeramente el valor de la relación  $I/N$  como se ilustra en la Fig. 4. En el Caso c), la relación  $I/N$  máxima es alrededor de  $-20$  dB.

FIGURA 4  
Características de la relación  $I/N$  en la estación base FWA  
para el Caso c) cuando es interferida  
por  $11 \times 21$  aeronaves HAPS



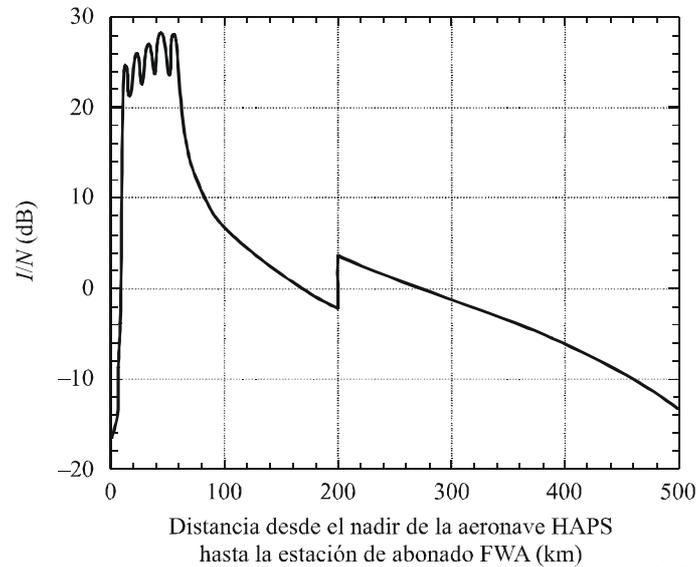
1609-04

#### 4.1.2 Interferencia provocada por la aeronave HAPS a la estación de abonado FWA

Con respecto a las características de la relación  $I/N$  en la estación de abonado FWA, cuando ésta resulta interferida por una sola aeronave HAPS, la relación  $I/N$  más desfavorable pasa a tomar un valor elevado de aproximadamente 30 dB, como se muestra en la Fig. 5. Esto es debido a una mayor ganancia de antena en la estación de abonado FWA que la correspondiente a la estación base y a la suposición de que la antena de abonado FWA apunta directamente a la aeronave HAPS con una limitación para el máximo ángulo de elevación de  $60^\circ$ . Por consiguiente, la aeronave HAPS causará una elevada interferencia a la estación de abonado cuando se emplee la misma frecuencia. Se observa en la Fig. 5 que la distancia de 200 km corresponde al punto de transición entre la utilización de una antena de 30 cm de diámetro y la utilización de una antena de 60 cm de diámetro (véase la Nota 1 del Cuadro 2).

FIGURA 5

Características de la relación  $I/N$  en la estación de abonado FWA cuando es interferida por una sola aeronave HAPS



1609-05

## 4.2 Interferencia provocada por la estación HAPS en tierra al sistema FWA

En lo referente a la interferencia causada por la estación HAPS en tierra a la estación FWA, el análisis se lleva a cabo sólo para la condición de visibilidad directa. Además, se supone que la altitud de la estación HAPS en tierra y la de la estación FWA (estación base y estación de abonado) es la misma y que la ganancia de antena de la estación base FWA en dirección a la estación HAPS en tierra es la misma en los tres Casos a), b) y c). El cálculo se efectúa sólo para el caso de interferencia procedente de una sola fuente, bajo la condición de que las dos estaciones, que son la estación HAPS en tierra con un ángulo de elevación de más de  $20^\circ$  y la estación FWA que apunta en la dirección horizontal, estén orientadas cara a cara en acimut. El valor de la relación  $I/N$  supuesto para este análisis es  $-15$  dB.

### 4.2.1 Interferencia provocada por la estación HAPS en tierra a la estación base FWA

En la Fig. 6 se muestra la distancia de separación necesaria cuando la estación HAPS en tierra causa interferencia a la estación base FWA. Utilizando los valores supuestos de la relación  $I/N$ ,  $-15$  dB, y del mínimo ángulo de elevación,  $20^\circ$ , la distancia de separación es de unos 5 km. Si se considera que la estación base FWA se instala repetidamente con reutilización de frecuencias en una distancia de 2-3 km, sería difícil la coexistencia de la estación base FWA y la estación HAPS en tierra a menos que se introduzca alguna técnica de reducción de interferencia.

### 4.2.2 Interferencia provocada por la estación HAPS en tierra a la estación de abonado FWA

En la Fig. 7 se muestra la distancia de separación necesaria cuando la estación HAPS en tierra produce interferencia a la estación de abonado FWA usando la característica de la relación  $I/N$  supuesta de  $-15$  dB. Utilizando este valor de la relación  $I/N$  de  $-15$  dB y para un ángulo de elevación de  $20^\circ$ , la distancia de separación es de unos 80 km. Resulta imposible la coexistencia de la estación de abonado FWA y la estación HAPS en tierra si no se utilizan técnicas de reducción de la interferencia.

FIGURA 6

**Distancia de separación necesaria cuando la estación HAPS en tierra causa interferencia a la estación base FWA, en función del ángulo de elevación de la estación HAPS en tierra**

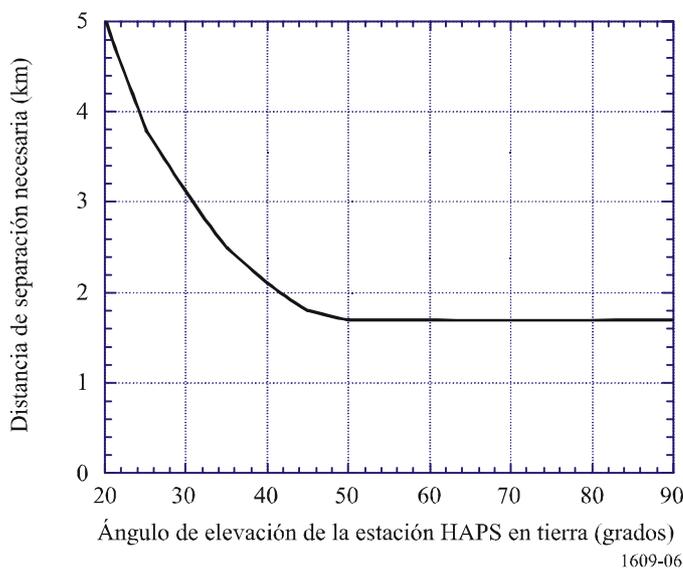
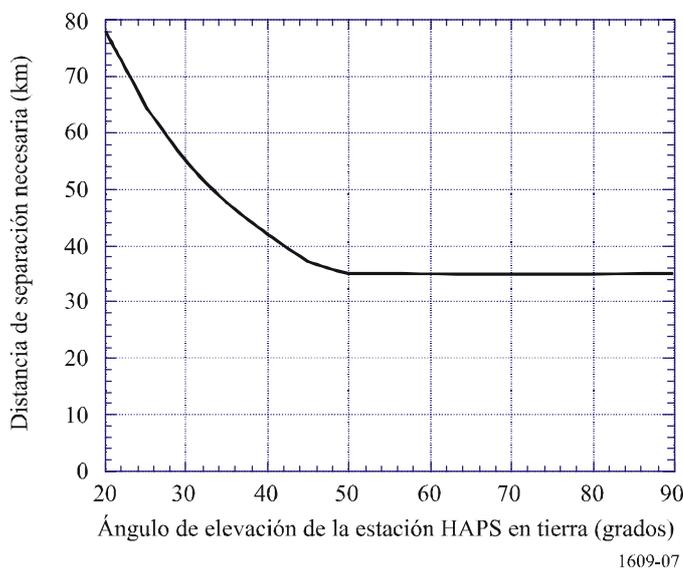


FIGURA 7

**Distancia de separación necesaria cuando la estación HAPS en tierra causa interferencia a la estación de abonado FWA, en función del ángulo de elevación de la estación HAPS en tierra**



## 5 Resumen

En este Anexo se muestra un método para evaluar la interferencia causada por los transmisores HAPS a los receptores FWA P-MP en términos de la característica de la relación  $I/N$  y se determina la distancia de separación necesaria para algunas hipótesis de instalaciones de estaciones FWA y estaciones HAPS.

## Anexo 2

### **Metodología para evaluar la interferencia causada por los sistemas del servicio fijo que utilizan HAPS a los sistemas FWA P-P en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz**

#### **1 Introducción**

Este Anexo presenta una metodología para evaluar la interferencia, los parámetros técnicos y las técnicas de explotación que se deben utilizar para los estudios de compartición entre sistemas del servicio fijo que emplean HAPS y sistemas FWA que funcionan en modo P-P en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz. El sistema P-P consiste en una pareja de dos estaciones de radiocomunicaciones orientadas cara a cara (para mayor sencillez, en el presente Anexo esta estación de radiocomunicaciones se denomina estación FWA).

#### **2 Metodología para calcular la interferencia causada por un sistema basado en HAPS a un sistema FWA P-P**

Como la metodología de cálculo de la interferencia entre el sistema HAPS y el sistema FWA con funcionamiento P-P es la misma que la descrita en el § 2 del Anexo 1, se omiten aquí las ecuaciones de cálculo.

#### **3 Suposiciones para la evaluación de la interferencia**

##### **3.1 Sistema HAPS**

Los parámetros del sistema HAPS se describen en la Recomendación UIT-R F.1569.

##### **3.2 Sistema FWA con funcionamiento P-P**

El § 2 del Apéndice 2 a los Anexos 1 y 2 describe los parámetros supuestos del sistema FWA con funcionamiento P-P para llevar a cabo la evaluación de la interferencia.

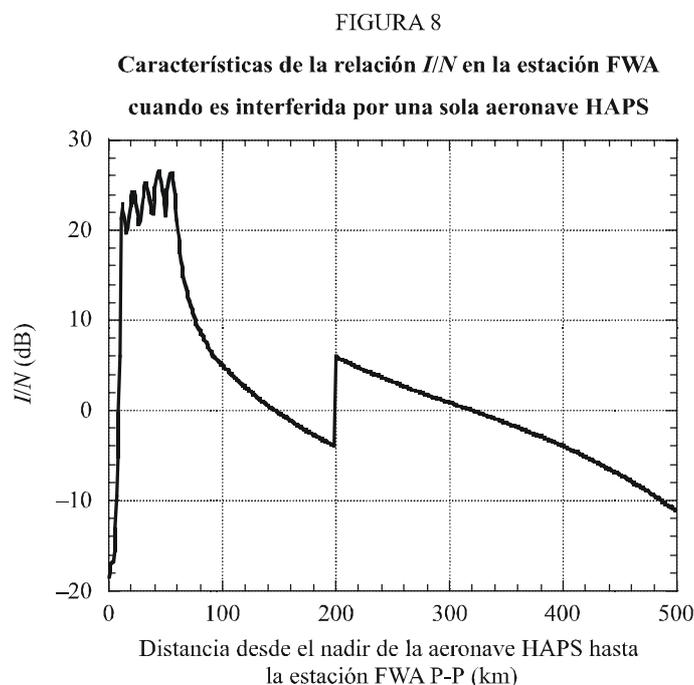
#### **4 Ejemplos del resultado de los cálculos en el caso del sistema FWA con funcionamiento P-P**

##### **4.1 Interferencia provocada por la aeronave HAPS al sistema FWA**

En el análisis de la interferencia causada por la aeronave HAPS a la estación FWA, se evalúan las características de la relación  $I/N$  en función de la distancia entre la estación FWA y el punto nadir de la aeronave HAPS. Mediante el cálculo, para realizar el análisis del caso más desfavorable se supone que la estación FWA apunta directamente a la aeronave HAPS situada a un ángulo de elevación de hasta 60°.

Con respecto a las características de la relación  $I/N$  en la estación FWA, cuando ésta resulta interferida por una sola aeronave HAPS, la relación  $I/N$  más desfavorable pasa a tomar un valor elevado de aproximadamente 30 dB, como se muestra en la Fig. 8. Esto es debido a una mayor ganancia de antena en la estación FWA y a la suposición de que la antena FWA apunta directamente a la aeronave HAPS con una limitación para el máximo ángulo de elevación de 60°.

Por consiguiente, la aeronave HAPS causará una elevada interferencia a la estación FWA cuando se emplee la misma frecuencia. Se observa en la Fig. 8 que la distancia de 200 km indica el punto de transición entre la utilización de una antena de 30 cm de diámetro y la utilización de una antena de 90 cm de diámetro (véase la Nota 1 del Cuadro 3).



1609-08

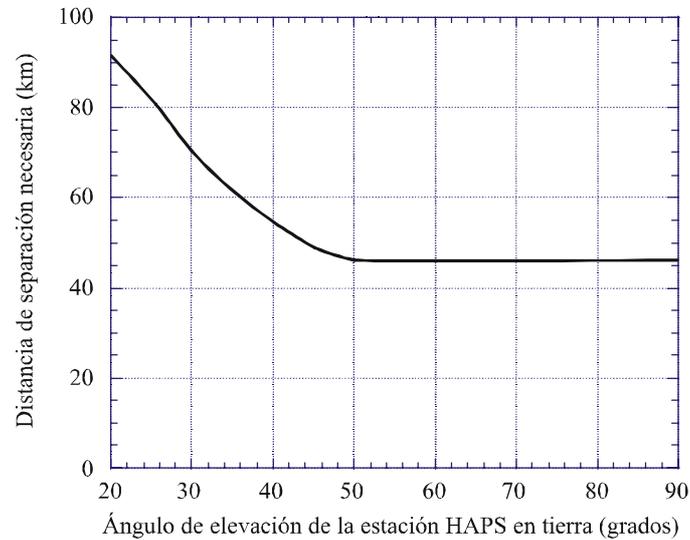
#### 4.2 Interferencia provocada por la estación HAPS en tierra al sistema FWA

En lo referente a la interferencia causada por la estación HAPS en tierra a la estación FWA aquí tratada, el análisis se lleva a cabo sólo para la condición de visibilidad directa. Además, se supone que la altitud de la estación HAPS en tierra y la de la estación FWA es la misma. El cálculo se efectúa sólo para el caso de interferencia procedente de una sola fuente, bajo la condición de que las dos estaciones, que son la estación HAPS en tierra con un ángulo de elevación de más de  $20^\circ$  y la estación FWA que apunta en la dirección horizontal, estén orientadas cara a cara en acimut. El valor de la relación  $I/N$  supuesto en este análisis para la compartición de frecuencias es  $-15$  dB.

En la Fig. 9 se muestra la distancia de separación necesaria cuando la estación HAPS en tierra causa interferencia a la estación FWA. Utilizando el valor de  $-15$  dB para la relación  $I/N$  y de  $20^\circ$  para el máximo ángulo de elevación, la distancia de separación es de unos 92 km. Resulta imposible la coexistencia de la estación FWA P-P y la estación HAPS en tierra sin utilizar técnicas de reducción de la interferencia.

FIGURA 9

**Distancia de separación necesaria cuando la estación HAPS en tierra causa interferencia a la estación FWA, en función del ángulo de elevación de la estación HAPS en tierra**



1609-09

## 5 Resumen

En este Anexo se muestra un método para evaluar la interferencia causada por los transmisores HAPS a los receptores FWA punto a punto en términos de la característica de la relación  $I/N$  y se evalúa la distancia de separación necesaria para algunas hipótesis de instalación de estaciones FWA y estaciones HAPS.

La compartición de frecuencias entre las estaciones HAPS en tierra y el sistema FWA en la superficie terrestre podría ser posible basándose en la coubicación, y utilizando algunos medios adecuados tales como la asignación dinámica de frecuencias y/o coordinación suficiente, que serán asuntos de carácter nacional. Una manera eficaz de reducir la interferencia entre las estaciones HAPS en tierra y el sistema FWA es ubicar las primeras de modo que no se vean directamente desde el sistema FWA. Se observa también que la señal interferente es interceptada por los cerros de la tierra y/o los edificios en la mayoría de los casos en que dos estaciones están situadas a más de 100 km de distancia entre sí.

## Apéndice 1 a los Anexos 1 y 2

### Atenuación de la propagación debida a los gases atmosféricos en el trayecto oblicuo entre las aeronaves HAPS y las estaciones en tierra en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz

Se ha calculado la atenuación de la propagación debida a los gases atmosféricos en el trayecto oblicuo entre las aeronaves HAPS y las estaciones en tierra utilizando el valor mínimo de dicha atenuación de la propagación debida a los gases atmosféricos. Esta mínima atenuación de la propagación se determinó de conformidad con el método descrito en la Recomendación UIT-R F.1404, el cual, a su vez, está basado en la metodología de la Recomendación UIT-R P.676. Los parámetros supuestos relativos al clima se presentan en el Cuadro 1 de la Recomendación UIT-R F.1404.

Las fórmulas numéricas para la atenuación atmosférica que aproximan los valores teóricos se dan en los siguientes puntos, donde:

$A_L(h, \theta)$ ,  $A_M(h, \theta)$ ,  $A_H(h, \theta)$ : pérdida atmosférica total (dB) para las zonas de latitud baja (a menos de 22,5° de la línea ecuatorial), de latitud media (a más de 22,5°, pero menos de 45° de la línea ecuatorial) y latitud alta (a 45° o más de la línea ecuatorial), respectivamente;

$h$ : altitud de la estación en tierra sobre el nivel del mar (km);

$\theta$ : ángulo de elevación (grados).

La aproximación se llevó a cabo para  $0 \leq h \leq 3$  km y  $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ . El ángulo de elevación real puede determinarse a partir del ángulo de elevación calculado en condiciones de propagación en el espacio libre aplicando el método de la Recomendación UIT-R F.1333. Para ángulos de elevación reales por debajo de  $0^\circ$ , debe utilizarse la atenuación para  $0^\circ$ .

#### 1 Banda de frecuencias 27,5-28,35 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación es ligeramente menor a las frecuencias más elevadas en las zonas de latitud baja y latitud media y ligeramente mayor a las frecuencias más elevadas en la zona de latitud alta. Por consiguiente, las siguientes fórmulas dan la atenuación a 28,35 GHz en el caso de las zonas de latitud baja y latitud media y la atenuación a 27,5 GHz en el caso de la zona de latitud alta.

$$A_L(h, \theta) = 21,28 / \left[ 1 + 0,9505\theta + 0,03065\theta^2 + h(0,3381 + 0,4466\theta) + h^2(0,2331 + 0,1169\theta) \right] \quad (1a)$$

$$A_M(h, \theta) = 11,63 / \left[ 1 + 0,8167\theta + 0,02649\theta^2 + h(0,2688 + 0,4486\theta) + 0,1394h^2 \right] \quad (1b)$$

$$A_H(h, \theta) = 8,77 / \left[ 1 + 0,8259\theta + h(0,2163 + 0,3037\theta) + 0,1067h^2 \right] \quad (1c)$$

## 2 Banda de frecuencias 31-31,3 GHz

En esta banda de frecuencias, la atenuación es mayor a las frecuencias más elevadas y, por consiguiente, las siguientes fórmulas dan la atenuación a 31 GHz.

$$A_L(h, \theta) = 19,54 / \left[ 1 + 0,9323\theta + 0,02553\theta^2 + h(0,3416 + 0,4413\theta) + h^2(0,1980 + 0,08016\theta) \right] \quad (2a)$$

$$A_M(h, \theta) = 11,76 / \left[ 1 + 0,8137\theta + 0,02033\theta^2 + h(0,2740 + 0,3935\theta) + 0,1203h^2 \right] \quad (2b)$$

$$A_H(h, \theta) = 9,52 / \left[ 1 + 0,8160\theta + h(0,2378 + 0,2722\theta) + 0,08949h^2 \right] \quad (2c)$$

## Apéndice 2 a los Anexos 1 y 2

### Parámetros del sistema FWA para los estudios de compartición

En este Apéndice se describen los parámetros del sistema FWA con funcionamiento P-MP, que incluyen tanto la estación base como la estación de abonado y los parámetros del sistema FWA con funcionamiento P-P.

#### 1 Sistema FWA con funcionamiento P-MP

Para la estación base FWA, se consideran los siguientes tres casos desde la perspectiva del diagrama de antena de la estación base y el esquema de reutilización de frecuencias. Se supone que las estaciones base están instaladas cada 2 km.

*Caso a):* el diagrama supuesto del haz de la antena se basa en la Recomendación UIT-R F.1336-1 y parece que la reutilización de frecuencias es comparativamente realista (se utilizan bandas de frecuencias segmentadas  $4 \times 4$  para las cuatro estaciones base y su haz de antena es un sector de  $90^\circ$ : se instala repetidamente un grupo de cuatro estaciones):

*Caso b):* el diagrama supuesto del haz de la antena se basa en la Recomendación UIT-R F.1336-1 y todas las estaciones base usan la misma frecuencia asignada a la estación base (por consiguiente, se supone un diagrama omnidireccional en la dirección acimutal):

*Caso c):* el diagrama supuesto del haz de la antena es razonablemente realista y muchos proveedores de servicio lo adoptarían (no enumerado en ninguna Recomendación); el esquema de reutilización de frecuencias es el mismo que en el Caso a).

En los Cuadros 1 y 2 se muestran los parámetros de la estación base FWA para los tres Casos anteriores y los de la estación de abonado FWA que se suponen iguales para los tres Casos, respectivamente. En cuanto al Caso c), se utilizan las características cosec, fabricados por un cierto proveedor de soporte físico de antena.

CUADRO 1

Parámetros de la estación de base en el sistema FWA P-MP

Parámetro	Caso a)		Caso b)		Caso c)	
	31 GHz	28 GHz	31 GHz	28 GHz	31 GHz	28 GHz
Potencia de salida de transmisión (dBW)	-5	-4	-5	-4	-5	-4
Densidad espectral de la potencia de salida (dB(W/MHz))	-17	-18,1	-17	-18,1	-17	-18,1
Factor de ruido (dB)	7	6	7	6	7	6
Ruido térmico calculado para el receptor (dB(W/MHz))	-137	-138	-137	-138	-137	-138
Ganancia de la antena (dBi)	15	15	15	15	15	15
Diagrama de antena (en acimut, véase la Fig. 10)	Rec. UIT-R F.1336 <sup>(1)</sup>	Rec. UIT-R F.1336 <sup>(1)</sup>	Omnidireccional	Omnidireccional	Característica cosec	Característica cosec
Diagrama de antena (en elevación, véase la Fig. 11)	Rec. UIT-R F.1336 <sup>(2)</sup>	Característica cosec	Característica cosec			
Pérdidas en el alimentador (dB)	0	0	0	0	0	0
Modulación	MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-4

<sup>(1)</sup> El diagrama del haz es el contorno de la característica medida mostrada en la Fig. 15 del Anexo 3 a la Recomendación UIT-R F.1336.

<sup>(2)</sup> El diagrama del haz se expresa con las ecuaciones (1a), (1b) y (1c) de la Recomendación UIT-R F.1336.

FIGURA 10

Diagrama supuesto del haz de antena en la dirección acimutal

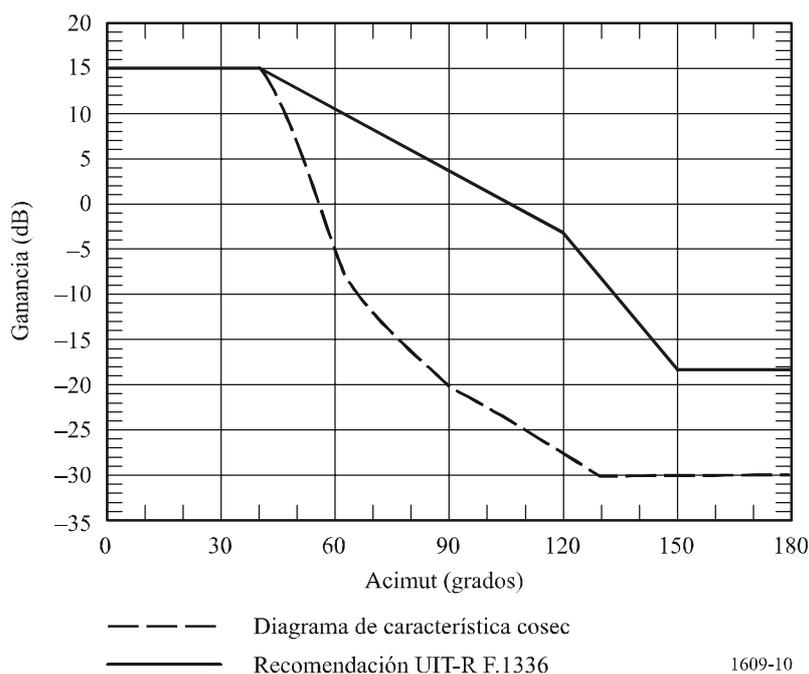
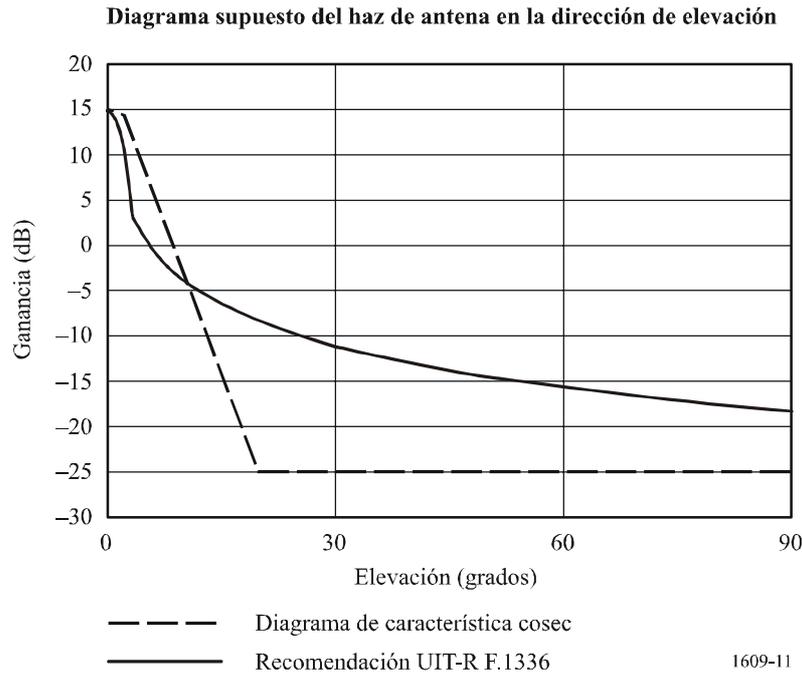


FIGURA 11



## 2 Sistema FWA con funcionamiento P-P

En el Cuadro 3 se muestran los parámetros del sistema de la estación FWA en el sistema P-P. En este sistema no se considera generalmente el control de potencia de transmisión. La estación FWA siempre transmite la señal con la potencia necesaria en condiciones de lluvia.

CUADRO 2

### Parámetros de la estación de abonado en el sistema FWA P-MP

Parámetro	Desvanecimiento por lluvia		Cielo despejado	
	31 GHz	28 GHz	31 GHz	28 GHz
Potencia de salida de transmisión (dBW)	-10	-10	-23	-20
Densidad espectral de la potencia de salida (dB(W/MHz))	-17	-18,1	-30	-28,1
Factor de ruido (dB)	7	6	7	6
Ruido térmico calculado para el receptor (dB(W/MHz))	-137	-138	-137	-138
Ganancia de la antena (dBi)	37/43	36/42	37/43	36/42
Diagrama de antena	Rec. UIT-R F.1245	Rec. UIT-R F.1245	Rec. UIT-R F.1245	Rec. UIT-R F.1245
Pérdidas en el alimentador (dB)	0	0	0	0
Modulación	MDP-4	MDP-4	MDP-4	MDP-4

NOTA 1 – Para la ganancia de la antena a 31 GHz, 43 dBi corresponden a la antena de 60 cm de diámetro para larga distancia, mientras que 37 dBi corresponden a la antena de 30 cm para corta distancia. Se supone que se usa la antena de 30 cm para una elevación de más de 5° y la antena de 60 cm en el resto de los casos. Tal suposición se efectúa igualmente para 28 GHz.

## CUADRO 3

**Parámetros de la estación FWA en el sistema punto a punto**

Parámetro	31 GHz	28 GHz
Potencia de salida de transmisión (dBW)	-3	-3
Densidad espectral de la potencia de salida (dB(W/MHz))	-6	-6
Factor de ruido (dB)	7	8
Ruido térmico calculado para el receptor (dB(W/MHz))	-137	-136
Ganancia de la antena (dBi)	37/46	36/46
Diagrama de antena	Rec. UIT-R F.1245	Rec. UIT-R F.1245
Pérdidas en el alimentador (dB)	0	0
Modulación	MDF-4	MDP-4

NOTA 1 – Para la ganancia de la antena a 31 GHz, 46 dBi corresponden a la antena de unos 90 cm de diámetro para larga distancia, mientras que 37 dBi corresponden a la antena de 30 cm para corta distancia. Se supone que se usa la antena de 30 cm para una elevación de más de 5° y la antena de 90 cm en el resto de los casos. Tal suposición se efectúa igualmente para 28 GHz.

**Anexo 3**

**Metodología para evaluar, utilizando un método estocástico,  
la interferencia causada por una estación situada en plataforma  
a gran altitud (HAPS) a estaciones de sistemas de acceso  
inalámbrico fijo en la banda 27,5-28,35 GHz**

**1 Introducción**

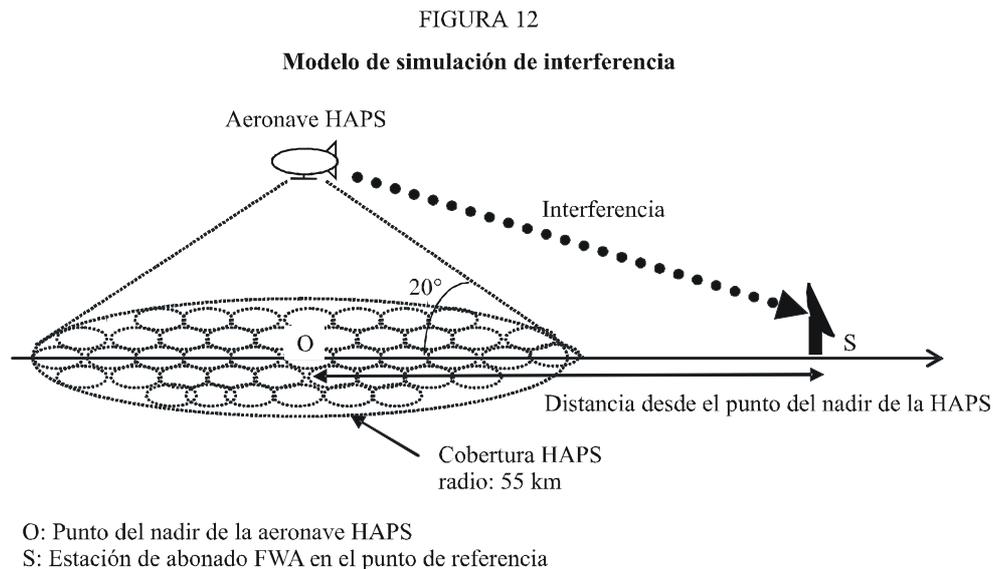
Este Anexo proporciona un método para evaluar la interferencia y ejemplos de evaluación de la interferencia causada por las estaciones situadas en plataformas a gran altitud (HAPS) a sistemas de acceso inalámbrico fijo (FWA) que funcionan en la banda 27,5-28,35 GHz, utilizando un método estocástico y basándose en hipótesis de funcionamiento realistas. Con respecto a la interferencia provocada a una estación de abonado FWA es evidente que la ganancia de antena de dicha estación dirigida hacia una HAPS es el parámetro dominante. La interferencia se evalúa suponiendo que las antenas de las estaciones de abonado FWA tienen ángulos de elevación de conformidad con la distribución estocástica de los sistemas FWA típicos y ángulos de acimut con distribución aleatoria.

También se evalúa la interferencia causada a las estaciones de base FWA con respecto a la distancia desde la HAPS, suponiendo que la antena sectorial está ubicada horizontalmente y enfoca directamente a la HAPS.

## 2 Modelo de simulación

### 2.1 Metodología de cálculo

La interferencia provocada por una aeronave HAPS a una estación de un sistema FWA se calcula utilizando la hipótesis ilustrada en la Fig. 12. La metodología se describe en el § 2.1 del Anexo 1 a esta Recomendación y se aplica bajo las siguientes condiciones.



1609-12

#### 2.1.1 Enlace descendente HAPS

Las características técnicas del sistema HAPS se basan en la Recomendación UIT-R F.1569. Se supone que la potencia interferente es la potencia isotrópica radiada equivalente combinada (p.i.r.e.) procedente de todos los haces puntuales de la HAPS dirigida a un punto de referencia en el mismo intervalo de frecuencia. Para realizar una evaluación conservadora se supone transmisión en el espacio libre.

#### 2.1.2 Estación de abonado FWA

Los parámetros de las estaciones de abonado se describen en el Apéndice 2 de los Anexos a la presente Recomendación. Las estaciones de abonado están situadas en un punto de referencia con unos ángulos de puntería de la antena de conformidad con las estadísticas de instalación supuestas que figuran en el § 2.3.

#### 2.1.3 Estación de base FWA

Los parámetros de las estaciones base se describen en el Apéndice 2 de los Anexos a la presente Recomendación.

## 2.2 Sistema HAPS

En la Recomendación UIT-R F.1569 se describen configuraciones típicas del sistema HAPS. Los parámetros empleados para la evaluación se resumen en el Cuadro 4.

CUADRO 4

**Parámetros del enlace descendente del sistema HAPS**

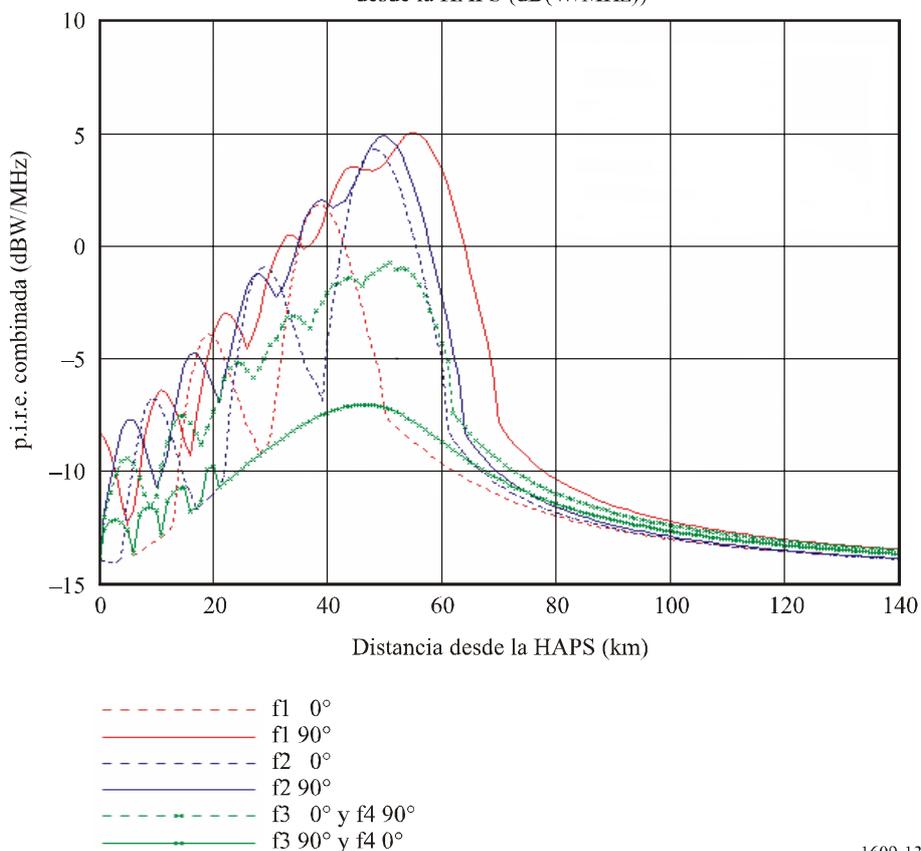
Parámetro	Descripción
Número de haces	397
Factor de reutilización de la frecuencia	4
p.i.r.e. combinada	Véase la Fig. 13 (f1 90°)
Ganancia de antena	16,5 a 29,5 dB
Diagrama de antena	Recomendación UIT-R F.1245
Radio de la zona de cobertura	55 km (mínimo ángulo de elevación de 20°)

Los 397 haces adoptan un factor de reutilización de frecuencia de cuatro (4) de manera que la potencia de transmisión de la HAPS dirigida hacia el suelo varía según los intervalos de frecuencia y las direcciones de radiación. La Fig. 13 muestra los valores de p.i.r.e. para cada intervalo de frecuencia expresados como los parámetros de la distancia a partir del punto del nadir de la HAPS en dos direcciones ortogonales en acimut (0° y 90° a partir del eje x). En la evaluación se ha utilizado la p.i.r.e. para «f1 90°» que provoca la interferencia de caso más desfavorable en el sistema FWA fuera de la zona de servicio HAPS.

FIGURA 13

**p.i.r.e. combinada de la HAPS producida por 397 haces**

p.i.r.e. combinada en función de la distancia desde la HAPS (dB(W/MHz))



## 2.3 Estación de abonado FWA

### 2.3.1 Parámetros de la estación de abonado

En esta evaluación se utilizan los parámetros de la estación de abonado FWA que figuran en el Cuadro 2 del Apéndice 2 de los Anexos a la presente Recomendación.

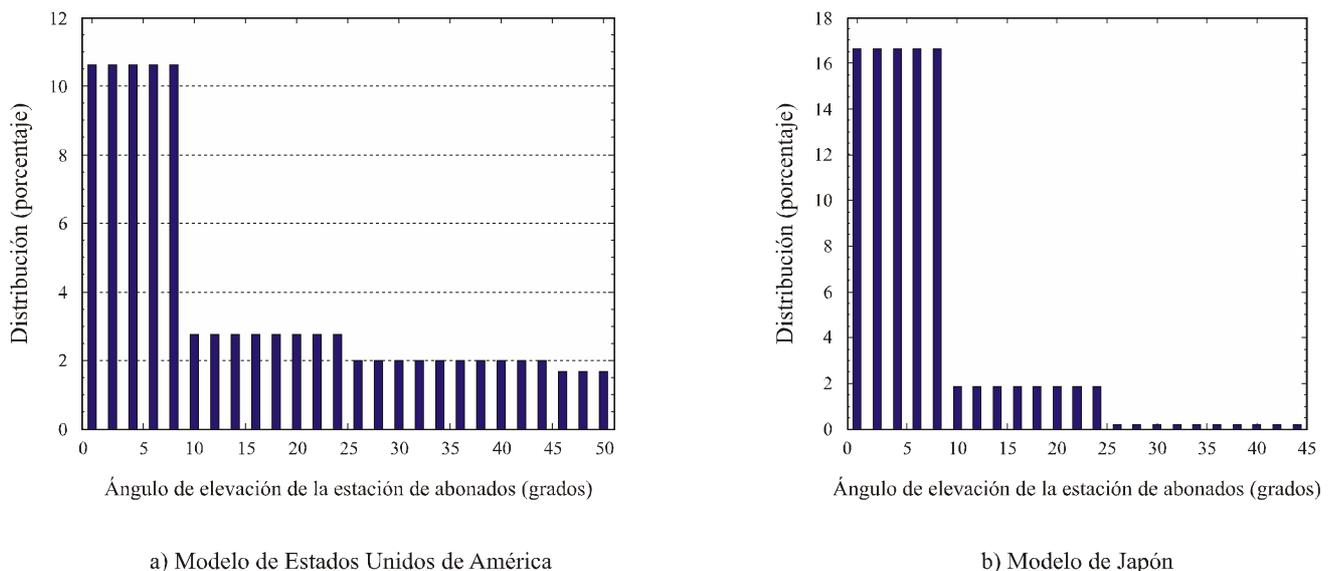
### 2.3.2 Estadísticas de instalación

#### *Ángulo de elevación:*

La Recomendación UIT-R F.1498 proporciona dos ejemplos de estadísticas de la distribución del ángulo de elevación del sistema FWA en la banda de 38 GHz; el modelo de Estados Unidos de América y el modelo de Japón en las Figs. 6 y 8 de su Anexo 1, respectivamente. Esos ejemplos no son lo suficientemente adecuados para evaluar la interferencia ya que la distribución es aproximada. Este documento supone que la distribución es uniforme en las gamas respectivas. Por ejemplo, el modelo de Estados Unidos de América indica una distribución del 53% para la gama de ángulos de elevación inferiores a 10°. Este valor se transfiere a 53/5% (=10,6%) para ángulos de elevación de 0°, 2°, 4°, 6° y 8°, respectivamente, en el cálculo. Las distribuciones de los ángulos de elevación utilizadas para realizar la evaluación se muestran en la Fig. 14.

FIGURA 14

Distribución de los ángulos de elevación de las estaciones de abonado FWA



1609-14

#### *Ángulo de acimut:*

Se supone que los ángulos acimutales de las estaciones de abonado presentan una distribución uniforme.

#### *Características de la propagación:*

Además de las pérdidas en espacio libre, se tienen en cuenta las pérdidas por absorción atmosférica en la zona de latitud media descrita en el Apéndice 1. No se considera ningún efecto del terreno y de los edificios para hacer que el estudio sea conservador, aunque cabe esperar que en la práctica aparezcan pérdidas considerables por esta causa.

Otros factores:

La altura de la antena de la estación de abonado no se considera en la simulación porque no es un factor crítico en condiciones de transmisión con visibilidad directa.

### 2.4 Estación de base FWA

En este estudio se utilizan los parámetros de la estación de base FWA que aparecen en el Cuadro 1 del Apéndice 2 de los Anexos a la presente Recomendación se utilizan en este estudio. La antena de la estación base es de tipo sectorial con una máxima ganancia de 15 dB y su diagrama de radiación en el plano de elevación está conforme con la Recomendación UIT-R F.1336. Se supone que la antena de la estación central enfoca al punto del nadir de la HAPS con un ángulo de elevación de 0°.

### 3 Resultados del cálculo

Para la estación de abonado FWA, los valores de la relación interferencia/ruido ( $I/N$ ) se determinan en función de la distancia existente entre la estación y el punto del nadir de la HAPS. Las Figs. 15 y 16 muestran la probabilidad de rebasar el criterio de  $I/N = -20$  dB y  $-10$  dB para las estaciones de abonado con las estadísticas de distribución de los ángulos de elevación supuestas. En estas Figuras se observa el valor de  $I/N$  puede disminuir notablemente cuando las estaciones de abonado están separadas 70 km de la HAPS.

Para la estación base FWA, las relaciones  $I/N$  calculadas pueden tomar valores muy pequeños fuera de la zona de servicio HAPS, como muestra la Fig. 17.

FIGURA 15

Probabilidad de rebasar  $I/N$  en la estación de abonado FWA: Modelo de Estados Unidos de América de la distribución del ángulo de elevación

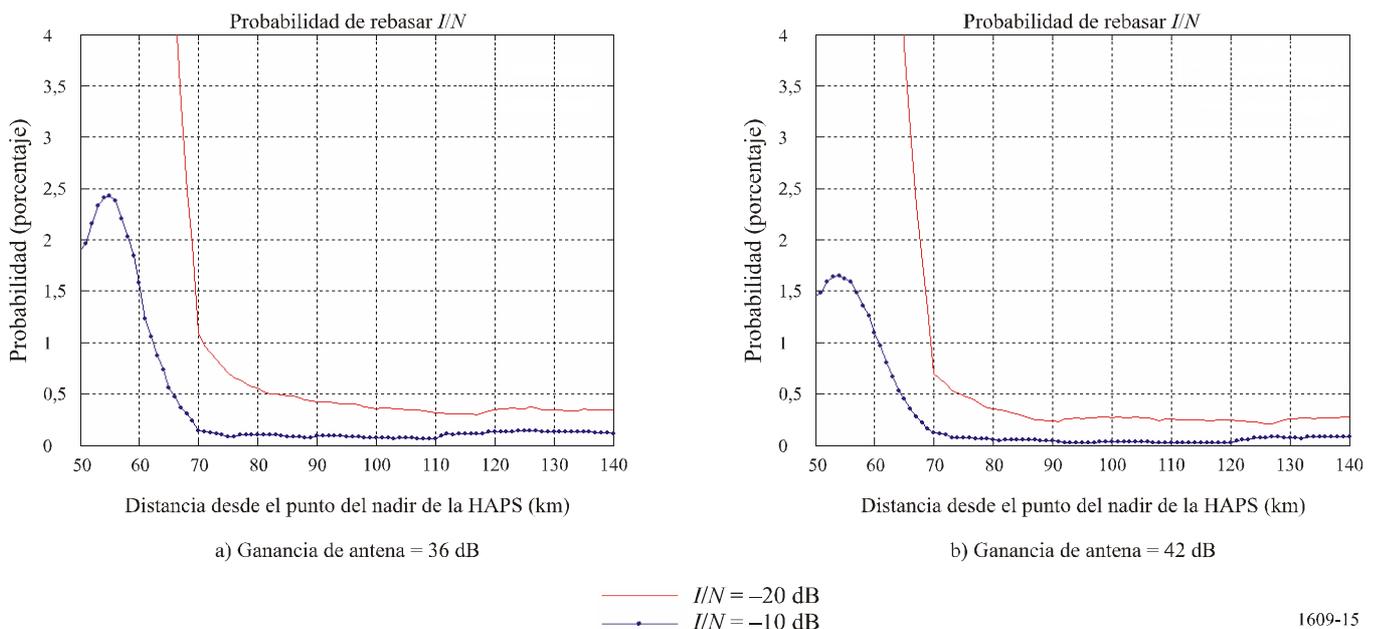
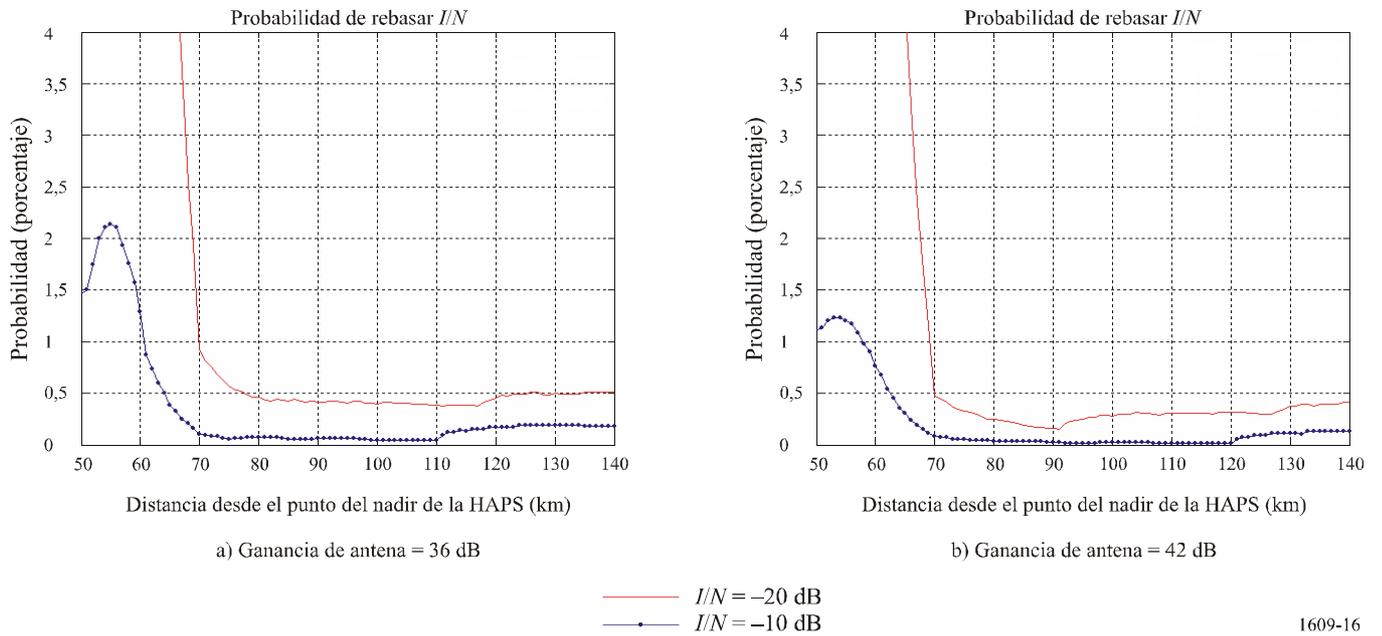


FIGURA 16

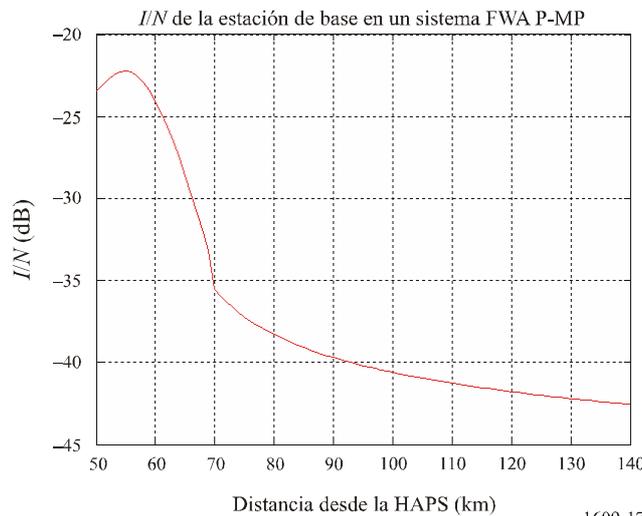
Probabilidad de rebasar  $I/N$  en la estación de abonado FWA: Modelo de  
Japón de la distribución del ángulo de elevación



1609-16

FIGURA 17

$I/N$  de la estación de base FWA



1609-17

4 Resumen

Se ha demostrado que la probabilidad de interferencia causada por una aeronave HAPS a una estación de abonado FWA puede disminuir notablemente cuando se tienen en cuenta factores estocásticos del sistema FWA. El ejemplo de evaluación indica que la probabilidad de interferencia apreciable se reduciría en gran medida cuando una estación de abonado FWA está separada del punto del nadir de la HAPS una distancia de 70 km.

Con respecto a la estación de base FWA, el máximo valor de  $I/N$  sería inferior a  $-20$  dB incluso bajando las hipótesis más adversas.

Cabe señalar que esta evaluación sigue siendo conservadora y la interferencia puede reducirse aún más en condiciones reales de funcionamiento, teniendo en cuenta otros factores de propagación tales como el bloqueo por edificios, la atenuación atmosférica y la atenuación debida a la lluvia.

---