

## RECOMMENDATION UIT-R F.1764

**Metodología para evaluar la interferencia causada por sistemas del servicio fijo que utilizan estaciones situadas en plataformas a gran altitud a sistemas inalámbricos fijos\* en las bandas por encima de 3 GHz**

(Cuestión UIT-R 212/9)

(2006)

**Cometido**

Esta Recomendación proporciona una metodología para evaluar la interferencia, que podría utilizarse para los estudios de compartición entre sistemas del servicio fijo que utilizan estaciones situadas en plataformas a gran altitud (HAPS) y sistemas inalámbricos fijos convencionales en las bandas de frecuencias por encima de 3 GHz, en respuesta a los estudios técnicos solicitados por la Resolución 734 (Rev.CMR-03). Se analizan las situaciones de interferencia causadas por las aeronaves HAPS y las estaciones en tierra a las estaciones de radioenlaces.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que se ha desarrollado una nueva tecnología que utiliza estaciones situadas en plataformas a gran altitud (HAPS) en la estratosfera para proporcionar servicios de alta capacidad;
- b) que algunas administraciones tienen la intención de explotar los sistemas que utilizan HAPS en las bandas atribuidas con exclusividad por el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias o mediante notas para las radiocomunicaciones terrenales tales como los servicios fijos,

*reconociendo*

- a) que la CMR-97 introdujo disposiciones para el funcionamiento de las HAPS en el servicio fijo en las bandas 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz (véase la Resolución 122 (Rev.CMR-03));
- b) que como las bandas de 47 GHz son más susceptibles a la atenuación debida a la lluvia, en la CMR-2000 varios países de la Región 3 y un país de la Región 1 manifestaron la necesidad de atribuir una banda de frecuencias inferior para las HAPS y se adoptaron los números 5.537A y 5.543A del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR);
- c) que la CMR-03 modificó los números 5.537A y 5.543A del RR para añadir varios países y también permitió, mediante la Resolución 145 (CMR-03), la utilización de las HAPS en el servicio fijo en 300 MHz de espectro en la banda 27,5-28,35 GHz y en la banda 31,0-31,3 GHz en países de la Región 2 siempre que no causen interferencia perjudicial a las estaciones de servicios que funcionen de conformidad con el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias del Artículo 5 del RR, ni reclamen protección contra las mismas;

---

\* El término «sistema inalámbrico fijo» utilizado en esta Recomendación se refiere a sistemas de radioenlaces punto a punto. Por consiguiente, también se utiliza el término «estación de radioenlace».

d) que la Resolución 734 (Rev.CMR-03) invita al UIT-R a que realice estudios de carácter reglamentario y técnico para determinar la viabilidad de la utilización de las HAPS e insta a las administraciones a que contribuyan activamente en los estudios de compartición de las bandas de frecuencias por encima de 3 GHz atribuidas exclusivamente a las radiocomunicaciones terrenales,

*recomienda*

1 que se utilice la metodología descrita en el Anexo 1 en respuesta a los estudios técnicos indicados en el *reconociendo* d) a fin de evaluar la interferencia causada por los sistemas HAPS a los sistemas inalámbricos fijos en las bandas por encima de 3 GHz.

## Anexo 1

### **Metodología para evaluar la interferencia causada por sistemas del servicio fijo que utilizan HAPS a sistemas inalámbricos fijos en bandas por encima de 3 GHz**

#### **1 Introducción**

Este Anexo proporciona una metodología para evaluar la interferencia que debe utilizarse en los estudios de compartición entre sistemas del servicio fijo que utilizan HAPS y sistemas inalámbricos fijos en bandas de frecuencia por encima de 3 GHz. Se consideran las situaciones de interferencia causadas por las aeronaves HAPS y las estaciones en suelo a las estaciones de radioenlaces.

También proporciona un ejemplo de evaluación de la interferencia a 6 GHz<sup>1</sup>. Esa frecuencia se ha supuesto únicamente para mostrar un ejemplo de la evaluación de la interferencia.

#### **2 Metodología de cálculo de la interferencia causada por los sistemas del servicio fijo que utilizan HAPS a sistemas inalámbricos fijos**

##### **2.1 Interferencia causada por aeronaves HAPS a estaciones de radioenlaces**

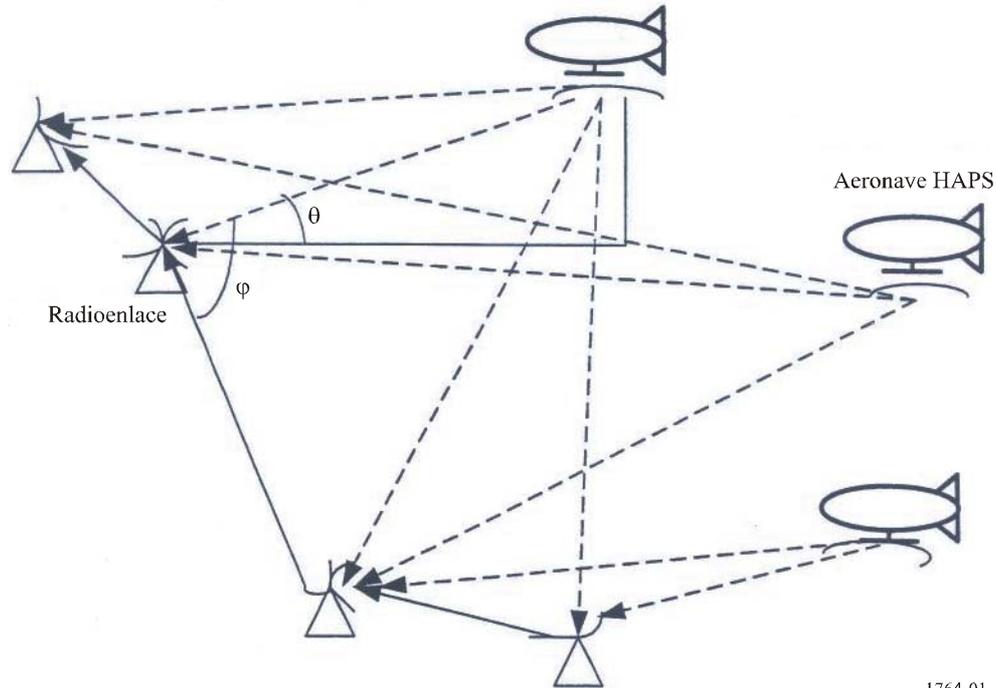
La Fig. 1 muestra la situación de interferencia provocada por aeronaves HAPS a estaciones de radioenlaces.

---

<sup>1</sup> La banda de frecuencias de 6 GHz no está atribuida exclusivamente a las radiocomunicaciones terrenales. Se eligió en este análisis para facilitar la elaboración de la metodología debido a la gran cantidad de datos técnicos disponibles en esta banda para los sistemas terrenales.

FIGURA 1

Entorno de interferencia causado por aeronaves HAPS a estaciones de radioenlaces



1764-01

### 2.1.1 Para estaciones de radioenlaces analógicos

La interferencia en banda base a una estación de radioenlace analógico provocada por una aeronave HAPS puede obtenerse mediante la ecuación (1):

$$I_A = F(\theta) + G(\varphi) + N_{br} + 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - L_{fr} \quad (1)$$

donde:

- $F(\theta)$ : densidad de flujo de potencia (dfp) de la aeronave HAPS según el ángulo de llegada por encima del plano horizontal,  $\theta$  (dB(W/(m<sup>2</sup> · 4 kHz)))
- $G(\varphi)$ : ganancia de antena de la estación de radioenlace en dirección de la aeronave HAPS,  $\varphi$  (dBi)
- $N_{br}$ : relación entre el ruido térmico en banda base y el ruido térmico del receptor (dB(pW0p · 4 kHz))
- $\lambda$ : longitud de onda de la portadora (m)
- $L_{fr}$ : pérdidas en el alimentador de la estación de radioenlace (dB).

Normalmente, el nivel de dfp sobre la superficie de la Tierra,  $F(\theta)$ , puede definirse como sigue:

$$F(\theta) = \begin{cases} dfp_{baja} & \text{para } 0^\circ \leq \theta \leq 5^\circ \\ dfp_{baja} + 0,05(dfp_{alta} - dfp_{baja})(\theta - 5) & \text{para } 5^\circ \leq \theta \leq 25^\circ \\ dfp_{alta} & \text{para } 25^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \end{cases} \quad (2)$$

siendo:

$d_{fp\text{baja}}$ : nivel admisible para un ángulo de llegada bajo dB(W/(m<sup>2</sup> · 4 kHz))

$d_{fp\text{alta}}$ : nivel admisible para un ángulo de llegada alto dB(W/(m<sup>2</sup> · 4 kHz)).

Por consiguiente, la interferencia en banda base de una estación de radioenlace analógico causada por múltiples señales procedentes de aeronaves visibles puede calcularse utilizando la ecuación (3):

$$I_{A-T} = 10 \log \left\{ \sum_i \left( 10^{\frac{F(\theta_i)}{10}} 10^{\frac{G(\varphi_i)}{10}} \right) \right\} + N_{br} + 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - L_{fr} \quad (3)$$

donde  $i$  representa el efecto de la  $i$ -ésima aeronave HAPS visible desde la estación de radioenlace.

### 2.1.2 Para estaciones de radioenlaces digitales

Actualmente, la mayoría de los sistemas del servicio fijo utilizan modulación digital. En el caso de sistemas digitales punto a punto (P-P) y punto multipunto (P-MP), es conveniente evaluar la interferencia en términos de la degradación fraccionaria de la calidad de funcionamiento,  $DFC_{ruta}$ , definida en la Recomendación UIT-R F.1107, teniendo en cuenta que el nivel de interferencia no varía en el tiempo.

Para los sistemas del servicio fijo P-P con  $n$  saltos que funcionan en frecuencias donde predomina generalmente el desvanecimiento multitrayecto, en general los objetivos de calidad de funcionamiento para los sistemas del servicio fijo P-P multisalto se especifican según la ruta como sigue:

$$DFC_{ruta} = 100 \frac{\sum_{k=1}^n (I_k)}{n \times N_T} \quad \% \quad (4)$$

siendo:

$N_T$ : ruido térmico del receptor

$I_k$ : interferencia combinada que sufre el  $k$ -ésimo receptor procedente de una aeronave HAPS visible.

La interferencia combinada recibida en una estación de radioenlace digital puede determinarse sumando las contribuciones de cada una de las aeronaves HAPS visibles. Cada contribución puede calcularse como sigue:

$$I_D = F(\theta) + G(\varphi) + 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - L_{fr} \quad (5)$$

siendo:

$F(\theta)$ : d<sub>fp</sub> de la aeronave HAPS según el ángulo de llegada por encima del plano horizontal,  $\theta$  (dB(W/(m<sup>2</sup> · MHz)))

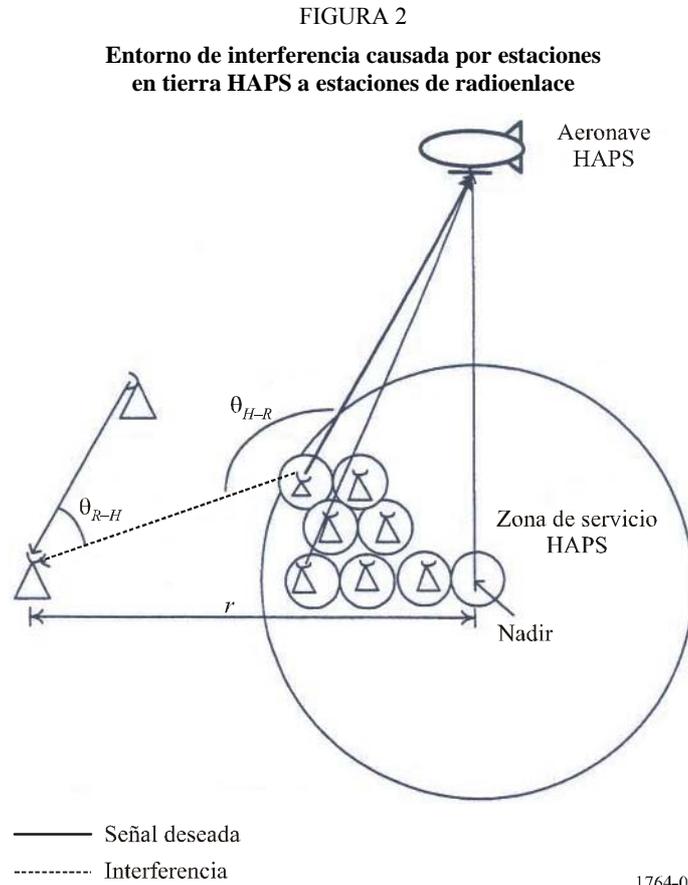
$G(\varphi)$ : ganancia de antena de la estación de radioenlace en dirección de la aeronave HAPS,  $\varphi$  (dBi)

$\lambda$ : longitud de onda de la portadora (m)

$L_{fr}$ : pérdidas en el alimentador de la estación de radioenlace (dB).

2.2 Interferencia causada por estaciones en tierra HAPS a estaciones de radioenlace

La Fig. 2 muestra la situación de interferencia provocada por estaciones en tierra HAPS a estaciones de radioenlace de radioenlace.



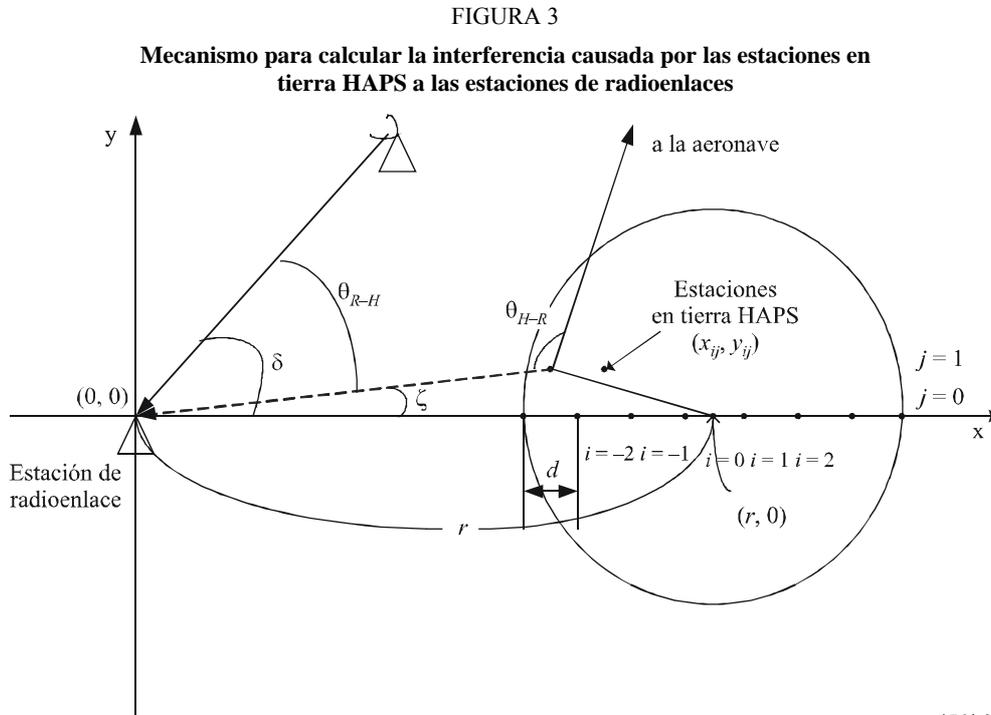
La potencia interferente HAPS procedente de una estación en tierra HAPS que llega a una estación de radioenlace se obtiene mediante la ecuación (6):

$$I_G = P_{HG} - L_{fh} + G(\theta_{H-R}) - L_b(p) + G(\theta_{R-H}) - L_{fr} \quad (6)$$

siendo:

- $P_{HG}$ : densidad de potencia de transmisión de la estación en tierra HAPS (dB(W/MHz))
- $L_{fh}$ : pérdidas en el alimentador de la estación en tierra HAPS (dB)
- $G(\theta_{H-R})$ : ganancia de la antena transmisora de la estación en tierra HAPS para un ángulo  $\theta_{H-R}$  formado por la dirección del haz principal de la estación en tierra HAPS y la dirección de la estación de radioenlace interferida (dBi)
- $L_b(p)$ : pérdidas de transmisión básicas no rebasadas durante un porcentaje de tiempo  $p(\%)$  indicado en la Recomendación UIT-R P.452
- $G(\theta_{R-H})$ : ganancia de la antena receptora de la estación de radioenlace para un ángulo  $\theta_{R-H}$  formado por la dirección del haz principal de la estación de radioenlace y la dirección de la estación en tierra HAPS interferente (dBi)
- $L_{fr}$ : pérdidas en el alimentador de la estación de radioenlace (dB).

La potencia de interferencia provocada en una estación de radioenlace por múltiples señales procedentes de estaciones en tierra HAPS puede obtenerse mediante la ecuación (7) teniendo en cuenta el mecanismo ilustrado en la Fig. 3.



1764-03

En la ecuación (7) se supone que puede ignorarse la absorción atmosférica en el trayecto de propagación con visibilidad directa por debajo de 10 GHz y el modelo de propagación utilizado se basa en la Recomendación UIT-R P.452 con un porcentaje de tiempo,  $p$ , del 50%:

$$I_{G-T} = P_{HG} - L_{fh} - 92,5 - 20 \log f + 10 \log \left\{ \sum_i \sum_j \left( \sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2} \right)^{-2} 10^{\frac{G(\theta_{R-H})}{10}} 10^{\frac{G(\theta_{H-R})}{10}} \right\} - L_{fr} \quad (7)$$

donde:

$f$ : frecuencia (GHz)

$$x_{ij} = \begin{cases} r + id & (j = \text{par}) \\ r + \frac{(2i-1)}{2}d & (j = \text{impar}) \end{cases} : x \text{ posición de la estación en tierra HAPS}$$

$y_{ij} = jd \text{ sen } 60^\circ$ :  $y$  posición de la estación en tierra HAPS

$r$ : distancia entre la estación de radioenlace y el nadir de la aeronave HAPS

$d$ : distancia entre las estaciones en tierra HAPS

$i, j$ : emplazamiento de la célula sobre el eje  $x$  y el eje  $y$ , respectivamente.

Una vez evaluado el nivel de interferencia causado a una estación de radioenlace, puede determinarse la relación  $I/N$  como sigue:

$$I/N = I_{G-T} - \{10 \log(k T B) + NF\} \text{ dB} \tag{8}$$

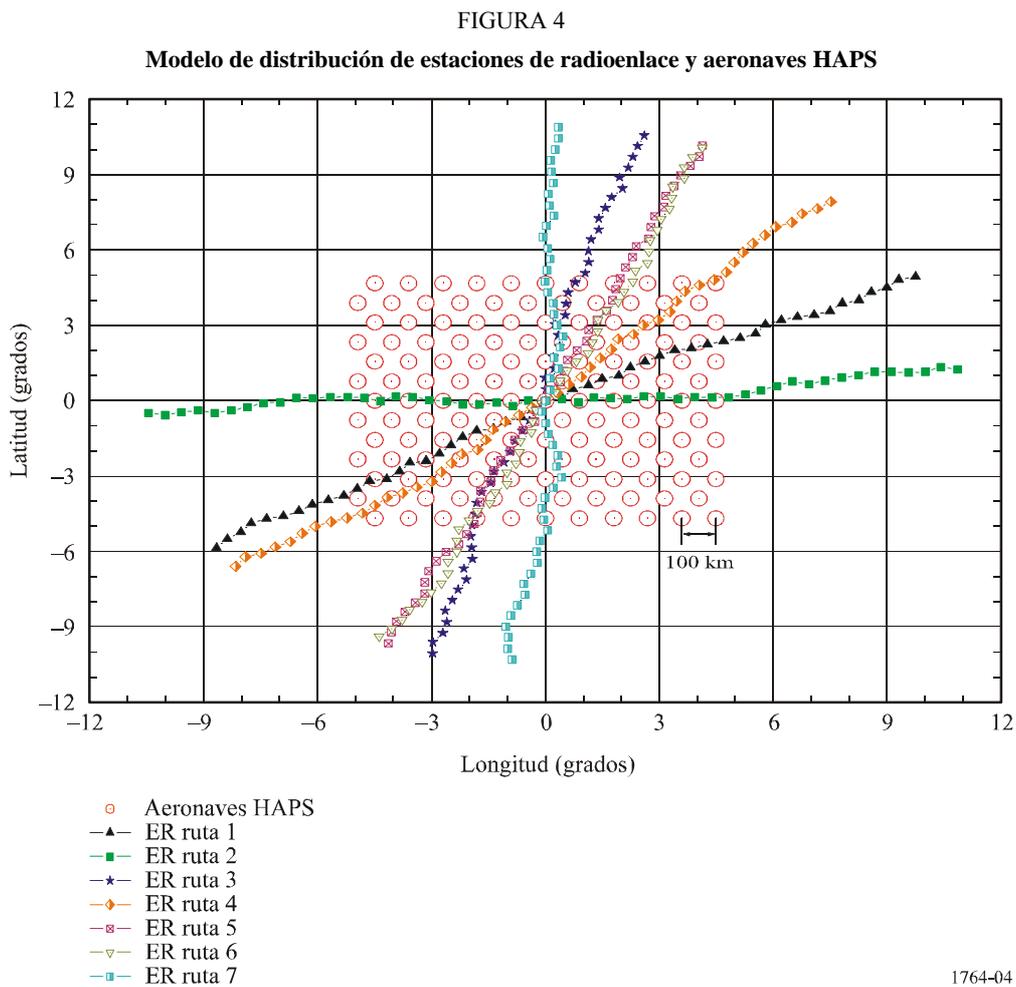
siendo:

- $k$ : constante de Boltzmann =  $1,38 \times 10^{-23}$  (J/K)
- $T$ : temperatura (K)
- $B$ : anchura de banda (Hz)
- $NF$ : factor de ruido de la estación de radioenlace (dB).

### 3 Ejemplo de evaluación de la interferencia causada por los sistemas HAPS a los sistemas inalámbricos fijos

#### 3.1 Interferencia causada por las aeronaves HAPS a las estaciones de radioenlaces

La Fig. 4 muestra el modelo de distribución supuesto de las aeronaves HAPS y las estaciones de radioenlaces para la evaluación de la interferencia.



Las aeronaves HAPS en un punto fijo a una altitud de 20 km pueden cubrir una zona de servicio de 110 km de diámetro en la superficie de la Tierra (con un ángulo de elevación de 20°, de manera que el emplazamiento del nadir de la aeronave HAPS puede distribuirse uniformemente con un intervalo de 100 km considerando la superposición entre las zonas de servicio, como se representa en la Fig. 4. Se supone que las aeronaves HAPS presentan una distribución uniforme en una zona de  $1\,000 \times 1\,000 \text{ km}^2$ .

Se supone que las rutas interferidas de un sistema inalámbrico fijo compuesto de 50 saltos se distribuyen alineando los centros de las rutas con el centro de la distribución de las aeronaves.

El Cuadro 1 muestra los parámetros de un sistema inalámbrico fijo y de una aeronave HAPS utilizados en el cálculo. Se elige la frecuencia de 6 GHz simplemente para mostrar un ejemplo de evaluación de la interferencia. En los cálculos de evaluación de la interferencia del presente Anexo todas las coordenadas tienen en cuenta la curvatura de la Tierra.

CUADRO 1

**Parámetros comunes de un sistema inalámbrico fijo y una aeronave HAPS**

Parámetros		Valores
Frecuencia		6 GHz
Sistema inalámbrico fijo	Número de saltos por ruta	50
	Distancia entre saltos	50 km
	Número de rutas	600
Aeronaves HAPS	Número de aeronaves	126
	Altitud	20 km

### 3.1.1 Para estaciones de radioenlaces analógicos

El Cuadro 2 muestra los parámetros de un sistema de radioenlaces analógicos y de una aeronave HAPS utilizados en el cálculo. Los parámetros de los sistemas inalámbricos fijos para la compartición de frecuencias se basan en la Recomendación UIT-R F.758.

CUADRO 2

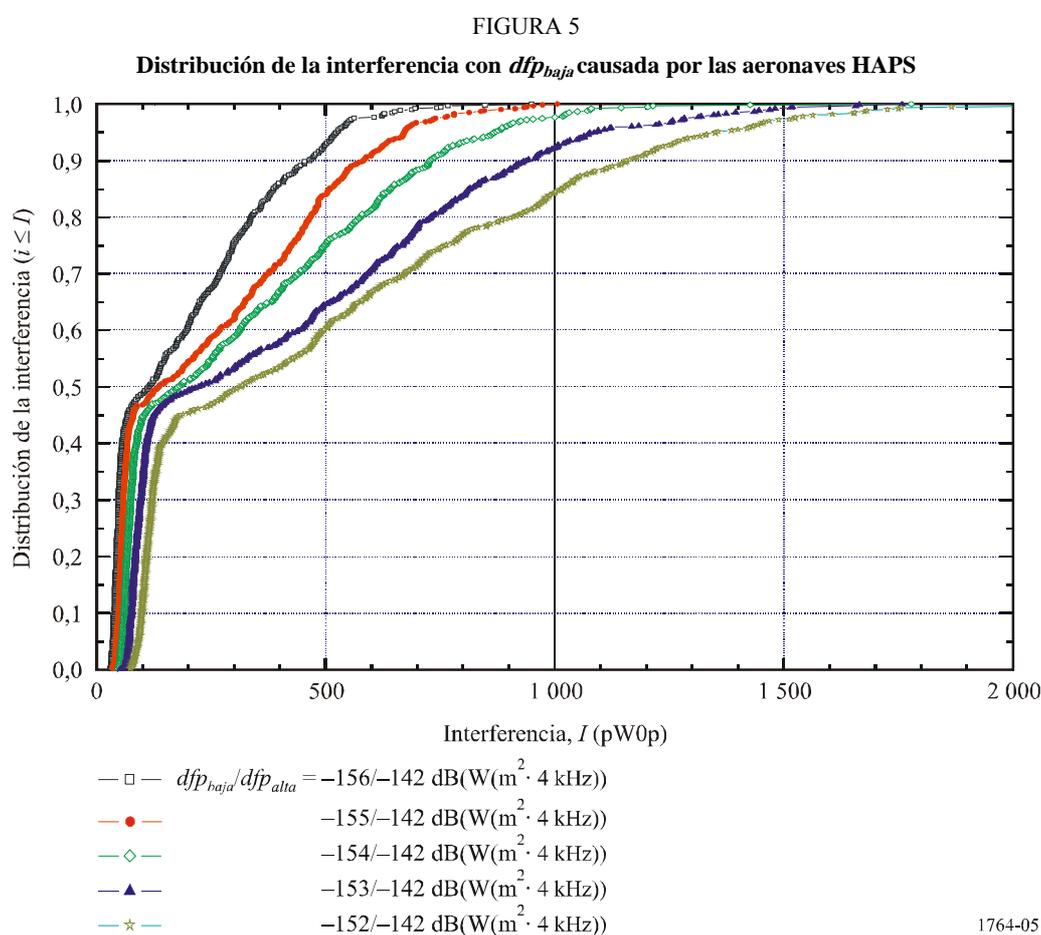
**Parámetros de un sistema inalámbrico fijo analógico y una aeronave HAPS**

Parámetros		Especificaciones
Sistema inalámbrico fijo	Diagrama de radiación de antena	Recomendación UIT-R F.699
	Máxima ganancia de antena	45 dB
	Pérdidas en el alimentador	4 dB
	Factor de ruido del receptor	8 dB
	Ángulo de elevación entre ER	Distribución Gaussiana
Aeronave HAPS	$dfp_{baja}$	-156 ~ -152 (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))
	$dfp_{alta}$	-148 ~ -142 (dB(W/(m <sup>2</sup> · 4 kHz)))

El máximo valor admisible de interferencia se supone que es de 1 000 pW0p, valor sofométrico medio de 1 min, durante más del 20% de cualquier mes para sistemas inalámbricos fijos analógicos, como se describe en la Recomendación UIT-R SF.357.

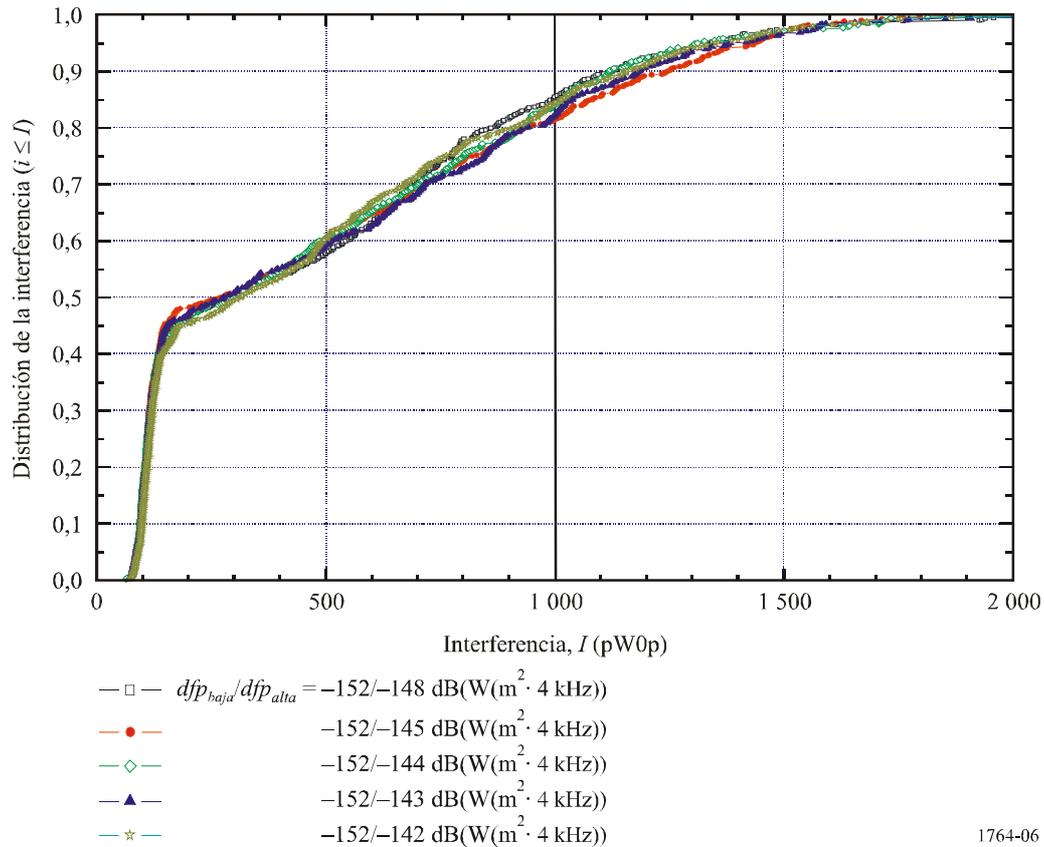
Las distribuciones de la interferencia estimada causada por las aeronaves HAPS a las estaciones de radioenlaces analógicos se muestran en las Figs. 5 y 6 con las variables  $dfp_{baja}$  y  $dfp_{alta}$ .

En la Fig. 5, cuando se supone que el nivel de  $dfp$  de la aeronave HAPS es  $-152/-142$  (dB(W/(m<sup>2</sup> · 4 kHz))), las estaciones de radioenlaces sufrirían una interferencia menor de 1 000 pW0p en aproximadamente el 84% de las rutas. A medida que disminuye la  $dfp_{baja}$  la interferencia experimentada también disminuye. Por ejemplo, cuando  $dfp_{baja}$  se reduce 4 dB, es decir,  $dfp_{baja}$  es  $-156$ (dB(W/(m<sup>2</sup> · 4 kHz))), las estaciones de radioenlaces en el 100% de las rutas experimentarían una interferencia inferior al criterio de interferencia supuesto de 1 000 pW0p.



La Fig. 6 muestra la distribución de la interferencia con los cambios de  $dfp_{alta}$ , cuando  $dfp_{baja}$  es  $-152$  (dB(W/(m<sup>2</sup> · 4 kHz))). Aun cuando  $dfp_{alta}$  disminuya 6 dB del valor de  $-142$  (dB(W/(m<sup>2</sup> · 4 kHz))), la máxima diferencia de la distribución de la interferencia menor de 1 000 pW es sólo aproximadamente el 5%.

FIGURA 6

Distribución de la interferencia con  $dfp_{alta}$  causada por las aeronaves HAPS

1764-06

## 3.1.2 Para estaciones de radioenlaces digitales

El Cuadro 3 muestra los parámetros de un sistema inalámbrico fijo digital y de una aeronave HAPS utilizados en el cálculo. Los parámetros del sistema inalámbrico fijo para compartición de frecuencias también se basan en la Recomendación UIT-R F.758.

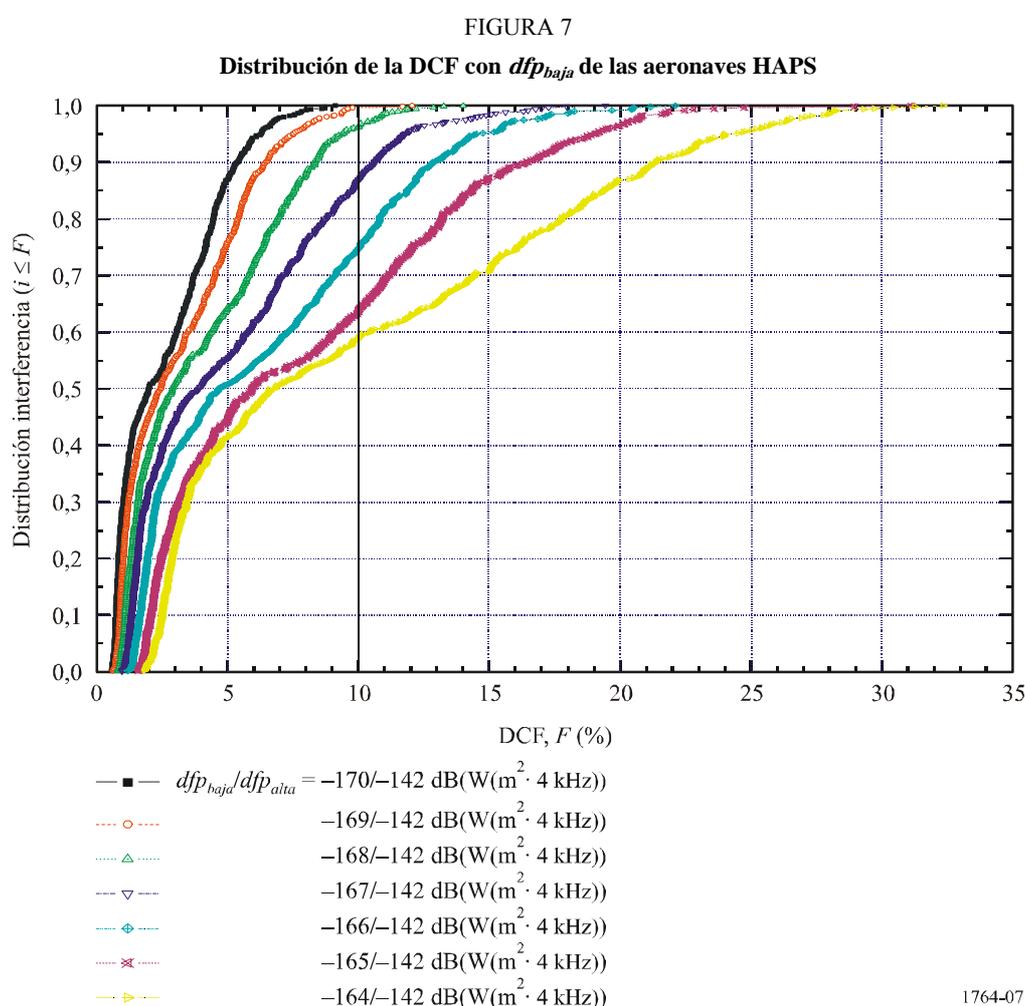
CUADRO 3

## Parámetros de un sistema inalámbrico fijo digital y una aeronave HAPS

Parámetros		Especificaciones
Sistema inalámbrico fijo	Diagrama de radiación de antena	Recomendación UIT-R F.1245
	Máxima ganancia de antena	45 dB
	Pérdidas en el alimentador	5,5 dB
	Factor de ruido del receptor	4 dB
	Ángulo de elevación entre estaciones de radioenlace	Distribución gaussiana
Aeronave HAPS	$dfp_{baja}$	-146 ~ -140 (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))
	$dfp_{alta}$	-127 ~ -118 (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))

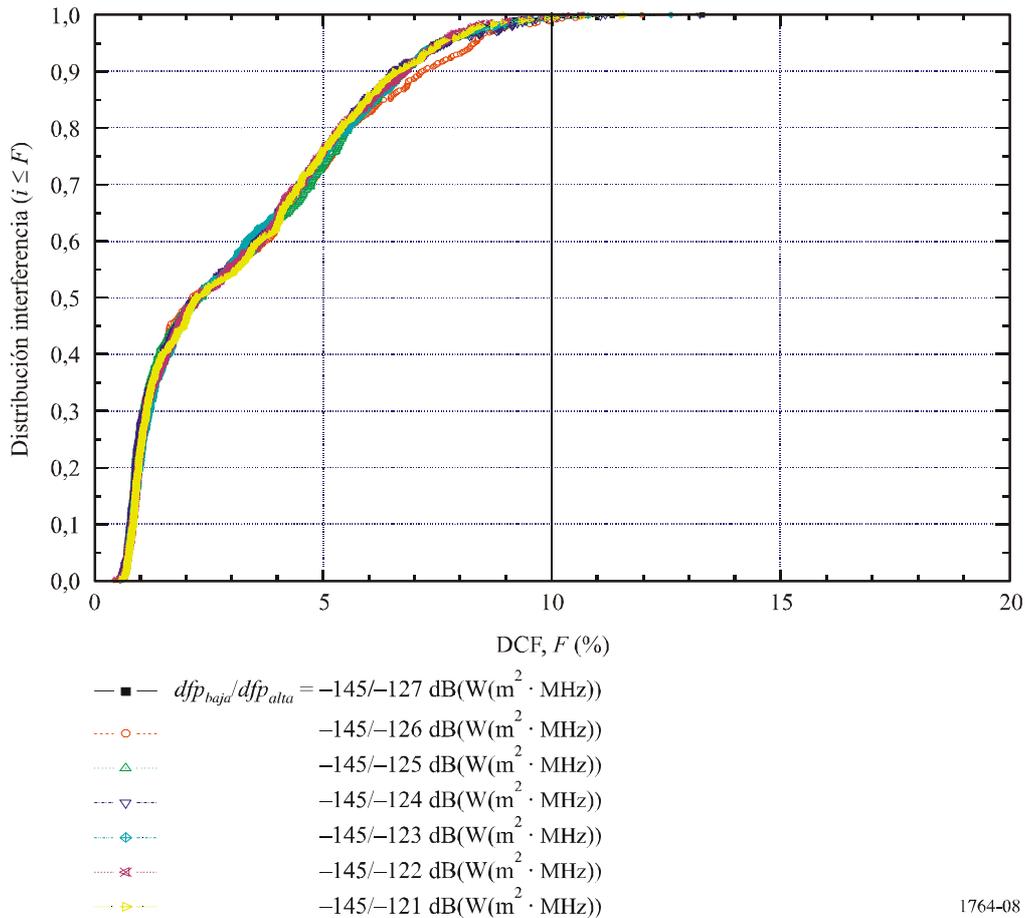
En las bandas donde el desvanecimiento viene determinado por los trayectos múltiples, la Recomendación UIT-R F.758 indica que, en principio, el nivel de interferencia con respecto al ruido térmico del receptor no debe rebasar el valor de  $-10$  dB (o  $-6$  dB). En el caso de sistemas del servicio fijo digitales, estos valores corresponden a una DCF del 10% (o el 25%), respectivamente. Suponiendo el nivel de protección requerido del 10%, las distribuciones de la interferencia estimada causada por las aeronaves HAPS a las estaciones de radioenlaces digitales se muestran en las Figs. 7 y 8, con las variables  $dfp_{baja}$  y  $dfp_{alta}$ .

En la Fig. 7, cuando se supone un nivel de  $dfp$  de la aeronave HAPS de  $-140/-118$  ( $\text{dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{MHz}))$ ), la DCF de las estaciones de radioenlaces sería inferior al 10% en aproximadamente el 58% de las rutas. A medida que  $dfp_{baja}$  disminuye, la interferencia experimentada también disminuye. Por ejemplo, cuando  $dfp_{baja}$  disminuye 6 dB, es decir,  $dfp_{baja}$  es  $-146$  ( $\text{dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{MHz}))$ ), la DCF de las estaciones de radioenlaces en el 100% de las rutas sería inferior al criterio de interferencia supuesto del 10%.



La Fig. 8 muestra la distribución de la interferencia con los cambios de  $dfp_{alta}$ , cuando  $dfp_{baja}$  es  $-145$  ( $\text{dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{MHz}))$ ). Aun cuando  $dfp_{alta}$  disminuya 6 dB del valor de  $-121$  ( $\text{dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{MHz}))$ ), la máxima diferencia de la distribución de la interferencia menor del 10% es sólo aproximadamente el 5%.

FIGURA 8

Distribución de la DCF con  $dfp_{alta}$  de las aeronaves HAPS

1764-08

### 3.2 Interferencia causada por las estaciones en tierra HAPS a las estaciones de radioenlaces

El Cuadro 4 muestra los parámetros de un sistema inalámbrico fijo y de un sistema HAPS utilizados en el cálculo.

Suponiendo que  $T$  es 293 K,  $B$  es 1 MHz, y  $NF$  es 6 dB, la potencia de ruido  $N$  es  $-137,93$  (dB(W/MHz)). Si se supone un criterio de  $I/N = 10\%$ , la potencia de interferencia admisible,  $I_{G-T}$ , debe ser inferior a  $-147,93$  (dB(W/MHz)).

Como  $I_{G-T}$  depende de la potencia de transmisión de la estación en tierra HAPS, del ángulo entre los trayectos de la señal y de la distancia entre la estación de radioenlace y el nadir de la HAPS, el valor de la relación  $I/N$  con estos parámetros puede calcularse a partir de la ecuación (8).

La Fig. 9 muestra los valores de  $I/N$  según la potencia de transmisión,  $P_{HG}$ , para cada ángulo acimutal,  $\delta$ , cuando la distancia  $r$  es 100 km. De esta figura se deduce que la potencia de interferencia resulta afectada por la potencia de transmisión de la estación en tierra HAPS y cuando  $P_{HG}$  es  $-50$  (dB(W/MHz)),  $I/N$  no debe rebasar  $-10$  dB para todos los ángulos de acimut.

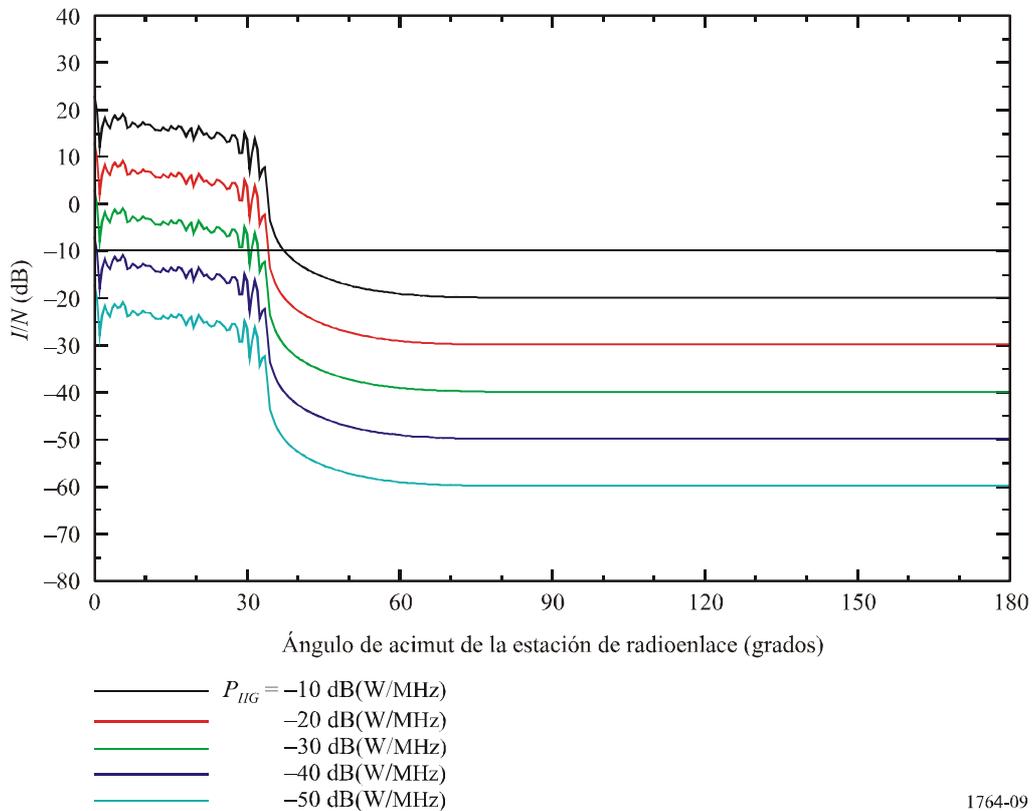
CUADRO 4

Parámetros de un sistema inalámbrico fijo y un sistema HAPS

Parámetros		Valores
Frecuencia		6 GHz
Sistema inalámbrico fijo	Diagrama de radiación de antena	Recomendación UIT-R F.1245
	Máxima ganancia de antena	45 dBi
	Factor de ruido	4 dB
	Pérdidas en el alimentador	5,5 dB
Sistema HAPS	Diámetro de la cobertura de servicio	110 km
	Altitud de la aeronave	20 km
	Diagrama de radiación de antena de la estación en tierra	Recomendación UIT-R F.1245
	Máxima ganancia de antena de la estación en tierra	45 dBi
	Número de estaciones en tierra	367 (distribución uniforme)
	Distancia entre estaciones en tierra	5,5 km

FIGURA 9

*I/N* según la potencia de transmisión,  $P_{HG}$



Las Figs. 10 y 11 muestran la distancia de separación entre la estación de radioenlace y el nadir de la aeronave HAPS. La máxima distancia de separación es necesaria para un ángulo de acimut  $\delta$  de  $0^\circ$ . Cuando el radio de la cobertura HAPS es 55 km la potencia de transmisión de la estación en tierra HAPS,  $P_{HG}$ , es  $-50$  (dB(W/MHz)), la distancia de separación necesaria para la compartición entre las estaciones de radioenlace y las estaciones terrenas HAPS va de 56 km a 73 km.

FIGURA 10

**Distancia de separación entre una estación de radioenlace y el nadir de una aeronave HAPS en función de la potencia de transmisión de las estaciones en tierra HAPS**

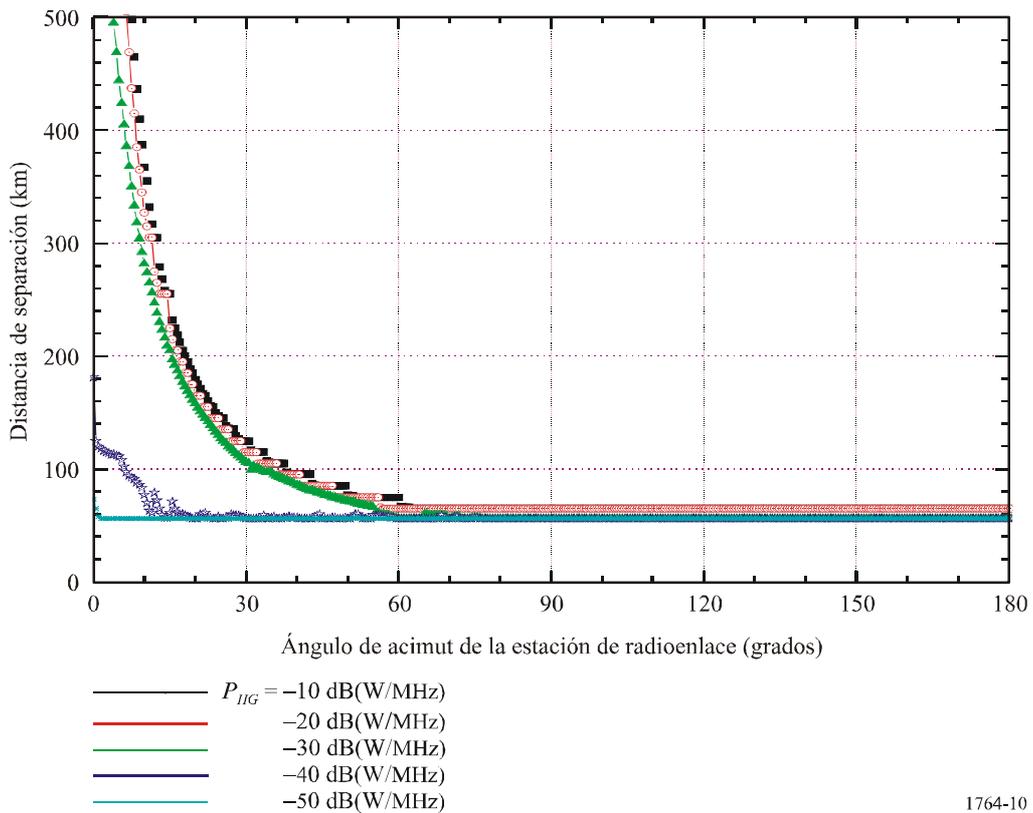
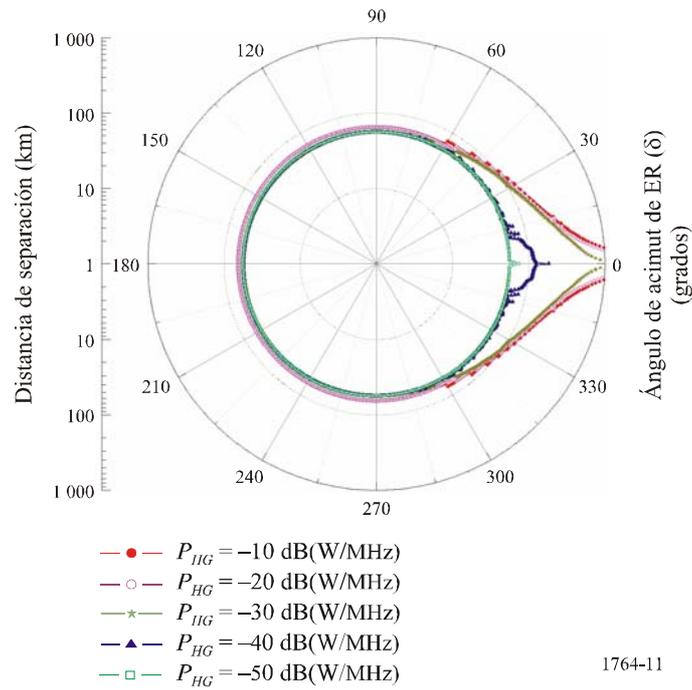


FIGURA 11

**Distancia de separación entre una estación de radioenlace y el nadir de una aeronave HAPS (Gráfico polar)**



#### 4 Resumen

Este Anexo muestra un método para evaluar la interferencia causada por un sistema HAPS a un sistema inalámbrico fijo y presenta un ejemplo de evaluación de la interferencia para 6 GHz. Se ha supuesto esta frecuencia solamente como ejemplo para evaluar la interferencia.

La interferencia causada por las aeronaves HAPS a las estaciones de radioenlace se evalúa tomando como variables los niveles de dfp de una aeronave HAPS sobre la superficie de la Tierra.

La interferencia provocada por las estaciones en tierra HAPS a una estación de radioenlace se evalúa en términos de  $I/N$  y se calcula la distancia de separación necesaria para la compartición en función del ángulo acimutal.