

RECOMENDACIÓN UIT-R SF.1601-2

Metodologías para evaluar la interferencia causada por los enlaces descendentes del servicio fijo que utiliza estaciones situadas en plataformas a gran altitud, a los enlaces ascendentes del servicio fijo por satélite con satélites geoestacionarios en la banda 27,5-28,35 GHz

(Cuestiones UIT-R 218/9 y UIT-R 251/4)

(2002-2005-2006)

Cometido

Esta Recomendación ofrece metodologías para evaluar la interferencia provocada por las transmisiones de los enlaces descendentes, HAPS-suelo, del servicio fijo (SF) que utiliza estaciones situadas en plataformas a gran altitud (HAPS), a los enlaces ascendentes del servicio fijo por satélite con satélites geoestacionarios en la banda 27,5-28,35 GHz. La Recomendación contiene 3 Anexos donde aparecen metodologías para calcular la interferencia, determinar la p.i.r.e. de transmisión desde la HAPS y evaluar la interferencia en términos de *C/I*; también figura en el Apéndice un ejemplo de aplicación de la metodología.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que se están desarrollando nuevas tecnologías que utilizan estaciones situadas en plataformas a gran altitud (HAPS) en la estratosfera;
- b) 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;
- c) que como las bandas en 47 GHz son más sensibles a la atenuación debida a la lluvia en los países indicados en los números 5.537A y 5.543A del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), se ha estudiado la gama de frecuencias 18-32 GHz para una posible identificación de espectro adicional en el UIT-R;
- d) que como las bandas de 47 GHz son más susceptibles a la atenuación debida a la lluvia en ciertos países, la CMR-2000 introdujo una disposición para la utilización de las HAPS en el servicio fijo en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31,0-31,3 GHz en algunos países, bajo la condición de no causar interferencia perjudicial a los otros tipos de sistemas del servicio fijo o a los otros servicios con atribuciones a título primario con igualdad de derechos, ni reclamar protección con respecto a los mismos (números 5.537A y 5.543A del RR);
- e) que la Resolución 145 (CMR-03) solicita la urgente realización de estudios sobre temas técnicos, de compartición y reglamentarios para determinar los criterios de funcionamiento de las HAPS en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31,0-31,3 GHz;
- f) que la banda 27,5-28,35 GHz está atribuida al servicio fijo por satélite (SFS) (en sentido Tierra-espacio) a título primario;
- g) que se necesitan métodos para evaluar la interferencia procedente de las transmisiones en el sentido de la HAPS al suelo, en la banda 27,5-28,35 GHz que pudiera causarse a los receptores de los satélites del SFS situados en la órbita de los satélites geoestacionarios,

recomienda

- 1 que se utilice la metodología contenida en el Anexo 1 para evaluar el nivel de interferencia causada por las transmisiones HAPS-suelo (enlace descendente) del servicio fijo a los enlaces ascendentes (Tierra-espacio) del SFS con satélites geoestacionarios (OSG) en la banda de frecuencias 27,5-28,35 GHz;
- 2 que las administraciones consideren el Anexo 2 como método para estimar la p.i.r.e. de las transmisiones en el sentido entre la HAPS y el suelo, en la banda 27,5-28,35 GHz, que pudieran dar lugar a un aumento de la relación interferencia/ruido (I/N) de los receptores de los satélites del SFS situados en la órbita de los satélites geoestacionarios;
- 3 que se utilice la metodología contenida en el Anexo 3 para evaluar la relación de potencias portadora/interferencia (C/I) a fin de determinar el nivel de interferencia causada por las transmisiones HAPS-suelo (enlace descendente) del SF en las transmisiones Tierra-espacio (enlace ascendente) del SFS con satélites geoestacionarios (OSG) en la banda de frecuencias 27,5-28,35 GHz.

Anexo 1

Metodología para evaluar la interferencia causada por los enlaces descendentes del servicio fijo que utiliza HAPS, a los enlaces ascendentes del SFS con satélites OSG en la banda 27,5-28,35 GHz

1 Introducción

Este Anexo proporciona una metodología para evaluar la interferencia causada por el servicio fijo que utiliza HAPS a un sistema de satélites OSG del SFS en la banda 27,5-28,35 GHz. Esta banda es utilizada en el sentido Tierra-espacio (enlace ascendente) por un sistema del SFS OSG.

2 Metodología para evaluar la interferencia**2.1 Interferencia causada por un sistema HAPS**

La Fig. 1 muestra el modelo de análisis supuesto para realizar una evaluación de la interferencia provocada por el sistema HAPS a un satélite OSG. El nivel de potencia de interferencia en 1 MHz, $I(g,h,b,r)$ debido a un haz puntual de una HAPS, recibida por un satélite OSG (g) se calcula mediante la ecuación (1):

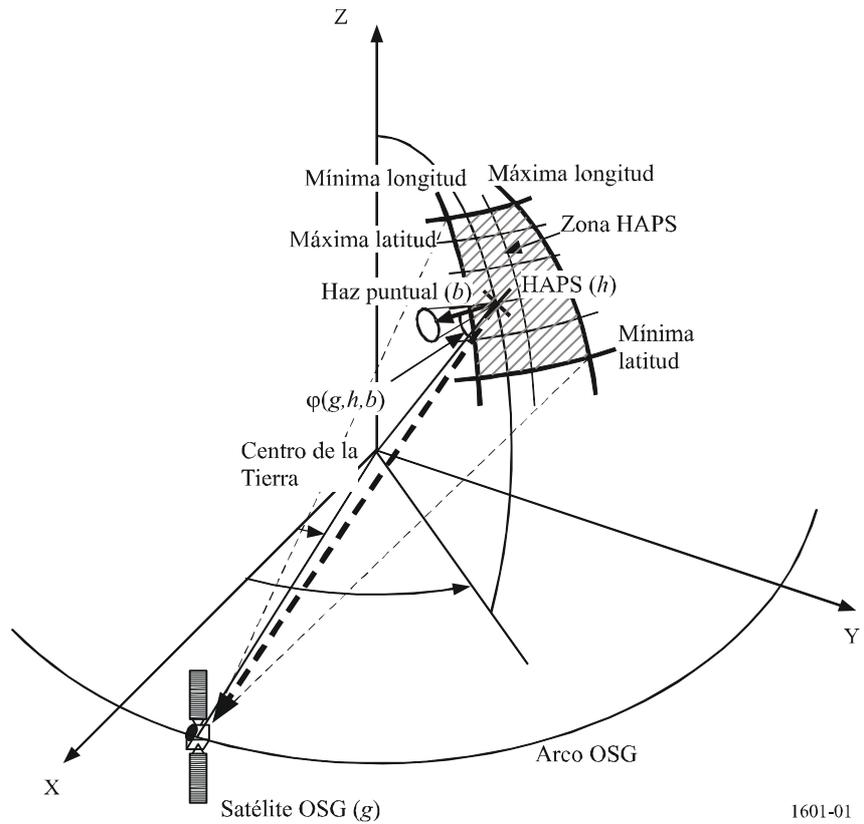
$$I(g, h, b, r) = P^H(b) - F_{P\acute{e}rdidas} + G^H_{tx}(\varphi(g, h, b)) - PEL(g, h) + G^S_{rx}(\theta(h, g, r)) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (1)$$

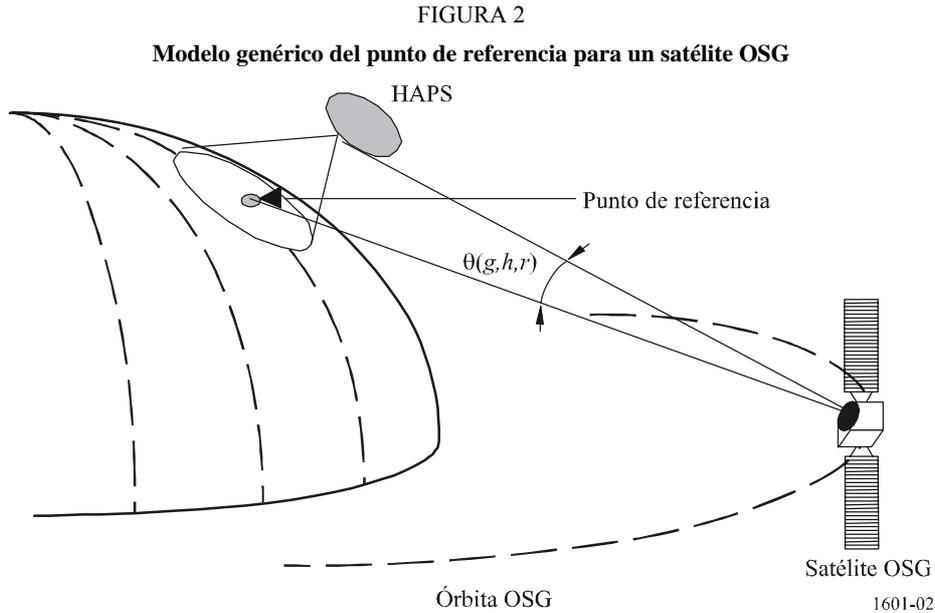
siendo:

- $P^H(b)$: potencia del transmisor en 1 MHz (dB(W/MHz)) a la entrada de la antena HAPS para el haz (b)
- $F_{P\acute{e}rdidas}$: pérdidas en el alimentador (dB)
- $\varphi(g, h, b)$: ángulo de discriminación (grados) en la HAPS (h) entre la dirección de puntería de un haz puntual HAPS (b) y el satélite OSG (g)

- $G_{tx}^H(\varphi(g, h, b))$: ganancia de la antena de transmisión (dBi) de la HAPS (h) para un ángulo con relación al eje $\varphi(g, h, b)$
- $PEL(g, h)$: pérdidas en el espacio libre (dB) entre el satélite OSG (g) y la HAPS (h)
- $\theta(h, g, r)$: ángulo de discriminación (grados) en el satélite OSG (g) entre la dirección de puntería de un punto de referencia del SFS OSG (r) y una HAPS (h) (véase la Fig. 2)
- $G_{rx}^S(\theta(h, g, r))$: ganancia de la antena de recepción (dBi) del satélite OSG (g) para un ángulo con relación al eje $\theta(h, g, r)$.

FIGURA 1
Modelo de evaluación de la interferencia causada por una HAPS a un satélite OSG





Para calcular el ángulo de discriminación en un satélite OSG debe establecerse un punto de referencia para los cálculos. Dicho punto de referencia se selecciona como un emplazamiento específico situado sobre la superficie de la Tierra. Se supone entonces que el eje de puntería del haz puntual de la antena del satélite OSG siempre está dirigido hacia el punto de referencia, independientemente del emplazamiento orbital del vehículo espacial. Cuando el punto de referencia no es visible desde el satélite OSG, se supone que ese punto de referencia se desplaza hacia otro punto con la condición de que el ángulo de elevación hacia el satélite OSG es el mínimo valor. La Fig. 2 representa el modelo geométrico del ejemplo incluyendo el punto de referencia.

Basándose en una hipótesis operativa del sistema HAPS en el cual una HAPS puede transmitir múltiples portadoras en cada haz puntual, se supone que podrían existir múltiples portadoras en el enlace descendente HAPS dentro de toda la anchura de banda del receptor del satélite OSG. La interferencia combinada procedente de un sistema HAPS se expresa como $I_{única}$ y se calcula utilizando un sumatorio de $I(g,h,b,r)$ de todos los posibles haces puntuales de la HAPS que podrían utilizar la misma banda de frecuencias, como se indica en la ecuación (2).

$$I_{única} = 10 \log \left(\sum_{h=1}^{h_n} \sum_{b=1}^{b_n} 10^{I(g,h,b,r)/10} \right) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (2)$$

donde b_n indica el número de haces puntuales que podrían utilizar la misma frecuencia y h_n es el número de HAPS del que consta un sistema HAPS.

Una vez evaluado el nivel de interferencia recibida por el SFS, puede determinarse la relación I/N de la forma siguiente:

$$I/N_{única} = I_{única} - N = I_{única} - 10 \log(k T_{sat}) - 60 \quad (3)$$

siendo:

- $I/N_{única}$: relación interferencia/ruido térmico (dB)
- N : potencia de ruido térmico del receptor del satélite en 1 MHz (dB(W/MHz))
- k : constante de Boltzmann (W/(K · Hz))
- T_{sat} : temperatura de ruido del sistema de un satélite OSG del SFS (K).

El nivel de interferencia combinada calculada se compara entonces con el umbral de interferencia adecuado a fin de determinar si el sistema HAPS está provocando interferencia perjudicial al SFS.

2.2 Interferencia causada por múltiples sistemas HAPS

Pueden aparecer situaciones en las que varios sistemas HAPS operativos causarían interferencia a un cierto satélite OSG. La interferencia combinada procedente de múltiples sistemas HAPS se expresa como $I_{múltiple}$ y se obtiene a partir del sumatorio total de cada nivel de interferencia causada por cada uno de los sistemas HAPS al satélite OSG, como muestra la ecuación (4):

$$I_{múltiple} = 10 \log \left(\sum_{s=1}^{s_n} \sum_{h=1}^{h_n} \sum_{b=1}^{b_n} 10^{I(g,h,b,r)/10} \right) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (4)$$

donde s_n indica el número de sistemas HAPS. Los otros términos son los descritos anteriormente para el caso de interferencia causada por un solo sistema HAPS.

Para realizar una evaluación exacta de una situación de HAPS múltiple deben utilizarse en los cálculos las características de cada uno de los sistemas HAPS. Si no se dispone de esa información para uno o más de los sistemas, puede obtenerse una indicación aproximada de la interferencia resultante utilizando en los cálculos las características de un sistema HAPS de referencia.

Una vez determinada $I_{múltiple}$ puede utilizarse en vez de $I_{única}$ en la ecuación (3) a fin de evaluar la repercusión de la interferencia sobre el SFS.

2.3 Control de potencia del enlace descendente

La interferencia causada por un enlace descendente de HAPS a un enlace ascendente del SFS/OSG es máxima en condiciones de máxima potencia de transmisión del enlace descendente HAPS o en condiciones de lluvia. Cuando se utiliza el control de potencia del enlace descendente en el sistema HAPS, la potencia de transmisión combinada del enlace descendente HAPS puede reducirse en condiciones de cielo despejado. Por ello, la interferencia recibida en el vehículo espacial del SFS disminuye si se dan las citadas condiciones de cielo despejado.

2.4 Parámetros de entrada

Los estudios de interferencia que aplican la metodología de este Anexo deben utilizar las características reales de los sistemas del SFS y de los sistemas HAPS considerados, si se dispone de ellas. De no ser así pueden emplearse los siguientes valores:

2.4.1 Características HAPS

Véase la Recomendación UIT-R F.1569.

2.4.2 Características de entrada del SFS

- T_{sat} : 500 K
- Anchura de haz de la antena (pequeñas estaciones): $0,3^\circ$
- Anchura de haz de la antena (estaciones centrales): 2°
- Ganancia de antena: véase el Anexo 1 de la Recomendación UIT-R S.672, ($L_s = -20$ dB)¹.

¹ En la Recomendación UIT-R S.672 aparecen objetivos de diseño para los diseñadores de antenas de vehículos espaciales. No es posible establecer objetivos para haces conformados en casos típicos pues no se conoce la zona de servicio del SFS. Puede utilizarse una característica de caída específica de $L_s = -10$ dB para caracterizar el caso del haz conformado hasta que se elaboren contornos de diagrama de antena más específicos para el cálculo de la interferencia.

Apéndice 1 al Anexo 1

Ejemplo de aplicación de la metodología del Anexo 1

1 Modelo de interferencia

Se supone que un sistema HAPS que conste de una serie de HAPS funciona en una zona rectangular como la que se representa en la Fig. 3. Una plataforma situada en el centro de la zona es el punto de referencia en este ejemplo de cálculo y todas las demás plataformas se instalan en el plano perpendicular a la línea que conecta el punto de referencia y su nadir sobre la Tierra. Cuando se toma el punto de referencia como origen de las coordenadas x-y en dicho plano, se supone que las HAPS están situadas en cada uno de los puntos de la retícula de la zona con coordenadas (L_x, L_y) , $(L_x - L_y)$, $(-L_x, L_y)$ y $(-L_x, -L_y)$. Suponiendo también que el número de plataformas HAPS es n_x y n_y , contadas en los ejes x e y, respectivamente, el número total de plataformas, n_t , en consideración es de $n_x \times n_y$ (n_x y n_y son números impares). En este modelo de despliegue, las distancias de separación entre HAPS vecinas se expresan como d_x y d_y medidas en los ejes x e y, respectivamente. Las distancias d_x y d_y vienen dadas por $2L_x/(N_x - 1)$ y $2L_y/(N_y - 1)$, respectivamente.

También se supone que el satélite OSG interferido está situado en la dirección del eje x y que la antena del satélite apunta siempre al punto de referencia. El ángulo α de la Fig. 4 se define como el ángulo de elevación del satélite en el punto de referencia, medido a partir del plano x-y.

La interferencia combinada procedente de las n_T HAPS se evalúa en términos de la interferencia en la relación en las potencias de interferencia y de ruido, I/N , del satélite OSG en función del ángulo de elevación, α , para diversas combinaciones de despliegues HAPS típicos y características del satélite.

FIGURA 3

Modelo de evaluación de la interferencia

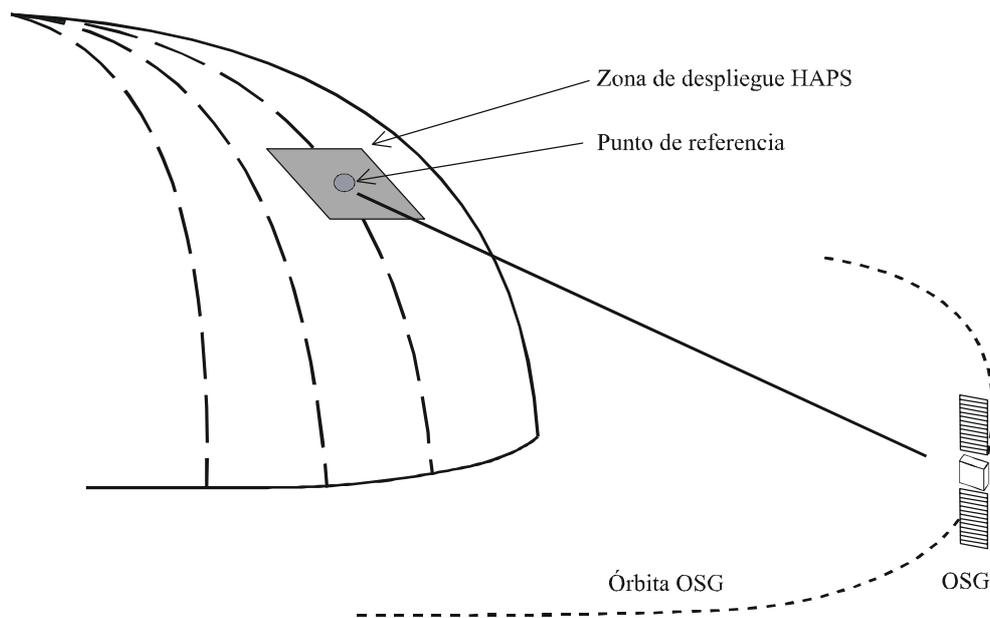
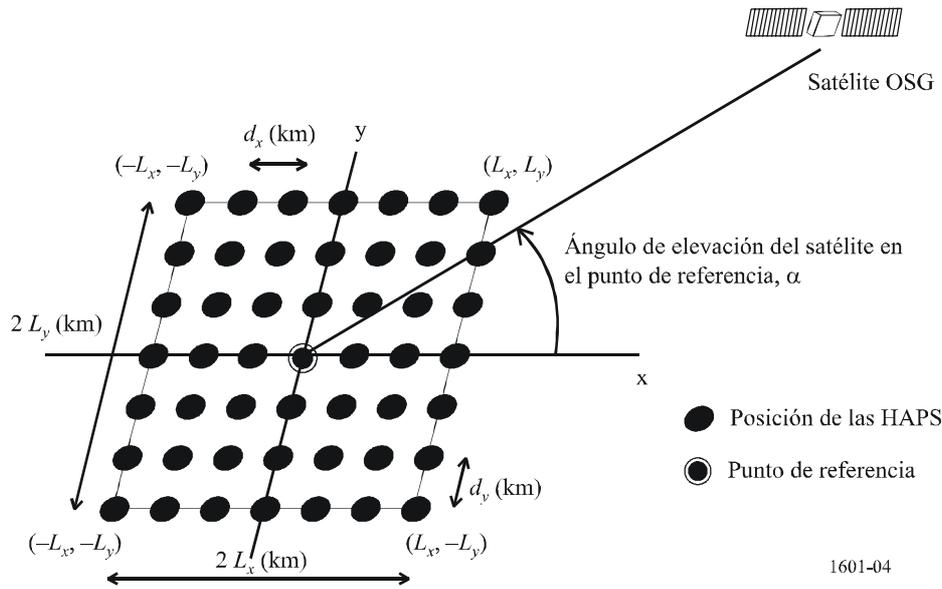


FIGURA 4
Modelo de despliegue HAPS



2 Características de las HAPS

Los parámetros típicos de un sistema HAPS con funcionamiento en la banda de 28 GHz vienen dados en la Recomendación UIT-R F.1569. El Cuadro 1 muestra los parámetros utilizados para los cálculos.

CUADRO 1
Características de las HAPS

Parámetros	HAPS-1	HAPS-2
Altitud de la HAPS (en el punto de referencia) (km)	20	20
p.i.r.e. combinada de una HAPS lateral o trasera ⁽¹⁾	-5 dBW en una anchura de banda de 20 MHz	-5 dBW en una anchura de banda de 20 MHz
Longitud de la zona de despliegue HAPS ($2L_x$) (km)	1 000	600
Anchura de la zona de despliegue HAPS ($2L_y$) (km)	1 000	600
Número de HAPS en el eje x (n_x)	11	9
Número de HAPS en el eje y (n_y)	11	9
Número total de HAPS (n_T)	121	81
Distancia entre HAPS en el eje x (d_x) (km)	100	75
Distancia entre HAPS en el eje y (d_y) (km)	100	75

⁽¹⁾ Modelo práctico con 397 haces puntuales representado en la Fig. 3 de la Recomendación UIT-R F.1569.

3 Características del satélite OSG

Los parámetros del satélite OSG se representan en el Cuadro 2.

CUADRO 2
Características del satélite OSG

Parámetros	OSG-1	OSG-2
Temperatura de ruido del sistema (K)	500	500
Apertura del haz a potencia mitad de la antena (grados)	0,3	2
Nivel de los lóbulos laterales de la antena (dB) (L_s de la Rec. UIT-R S.672-4, Anexo 1)	-20	-20
Ganancia de cresta de la antena ⁽¹⁾ (dBi)	55,0	38,5

⁽¹⁾ Calculada utilizando la ecuación de $G_{m\acute{a}x}(\text{dBi}) = 44,5 - 20 \log \theta$ (θ es una apertura de haz a -3 dB (grados)).

4 Resultados del cálculo

Las Figs. 5 y 6 indican la relación I/N calculada del satélite OSG.

De la metodología resulta evidente que la relación I/N del satélite OSG depende en gran medida de la ganancia de cresta de la antena del satélite OSG cuando dicha antena apunta a la fuente de interferencia. Una antena con una apertura de haz estrecha ($0,3^\circ$) recibe más interferencia cuando el punto de referencia tiene ángulos de elevación reducidos, porque el número de HAPS en el haz principal está limitado para los ángulos de elevación elevados y se incrementa para los ángulos de elevación menores. Por otro lado, una antena con una apertura de haz más amplia (2°) recibe menos interferencia, debido a la ganancia inferior de la antena, y el nivel de interferencia es bastante constante porque casi abarca toda la zona de despliegue HAPS con el haz principal, incluso para ángulos de elevación grandes. El nivel de interferencia depende principalmente de la distancia de propagación de la señal de interferencia. Los resultados de estos casos muestran que la I/N del satélite OSG es inferior a -20 dB (1%) para ambos casos de satélite en las condiciones habituales de funcionamiento, cuando se supone que las estaciones terrenas tienen ángulos de elevación de 20° o superiores respecto al satélite.

FIGURA 5

Modelo HAPS-1 (121 HAPS con intervalo de 100 km)

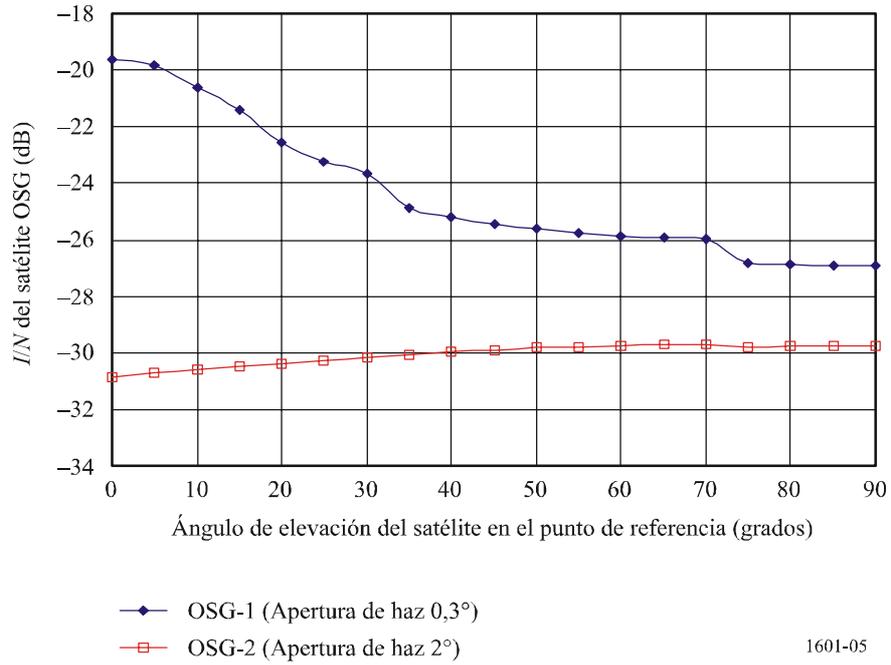
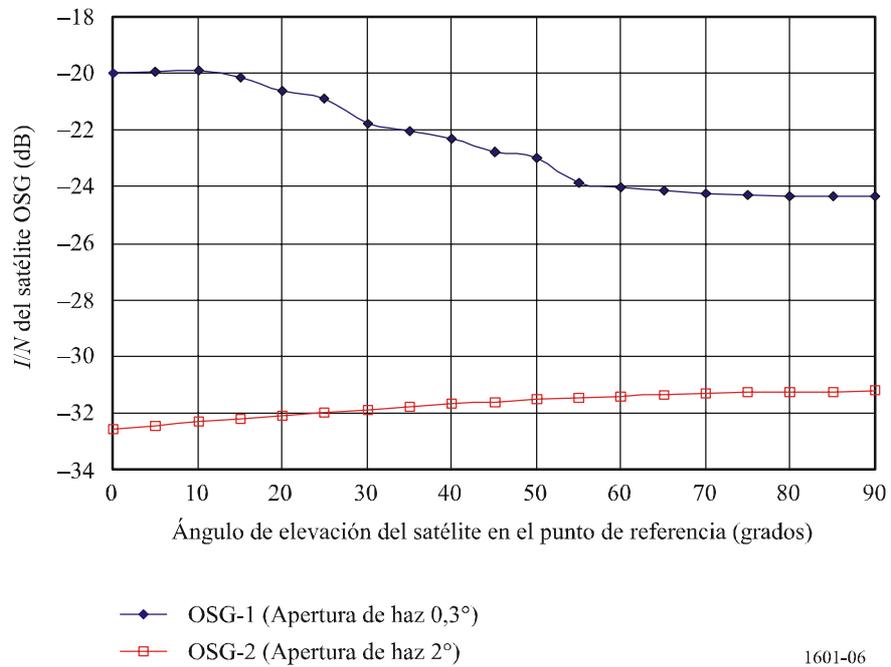


FIGURA 6

Modelo HAPS-2 (81 HAPS con intervalo de 75 km)



Anexo 2

Metodología para el cálculo de la p.i.r.e. de las transmisiones procedentes de sistemas HAPS en el sentido entre la HAPS y el suelo en la banda 27,5-28,35 GHz que den lugar a un aumento de la relación interferencia/ruido de los receptores de satélites geoestacionarios del SFS

1 Introducción

La medida de la interferencia utilizada en este método es la relación interferencia/ruido, I/N , del sistema receptor del SFS. Las características determinantes de la interferencia del sistema receptor del SFS son su ganancia de antena y su temperatura de ruido del sistema.

Este método puede utilizarse para estimar la densidad de la p.i.r.e. de las transmisiones procedentes de sistemas HAPS en el sentido HAPS-suelo que pudieran dar lugar a un aumento de la relación I/N de los sistemas receptores del SFS situados en órbita geoestacionaria.

2 Descripción del método

El primer paso del método consiste en calcular el aumento de la relación I/N , determinando la potencia de ruido en el sistema de recepción supuesto. Densidad de potencia de ruido en 1 MHz,

$$N = k T B \quad (5)$$

siendo:

k : constante de Boltzmann (W/(K · Hz))

T : temperatura de ruido del sistema receptor del SFS (K), y

B : anchura de banda de referencia (1 MHz).

A continuación se utiliza la I/N supuesta para determinar la potencia de interferencia (dB(W/MHz)):

$$I = N + I/N \quad (6)$$

A continuación, se calcula la densidad de flujo de potencia, DFP, que produciría la interferencia supuesta en la órbita geoestacionaria:

$$\text{DFP} = I - G_R + 20 \log(f) + 21,45 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad (7)$$

donde:

G_R : ganancia efectiva (dBi) de la antena de recepción del SFS en la dirección de las HAPS interferentes

f : frecuencia de transmisión (GHz).

A continuación, la p.i.r.e. total procedente de todas las transmisiones HAPS que produciría esta DFP en la OSG es:

$$(\text{p.i.r.e.})_{\text{total}} = \text{DFP} + 10 \log(4\pi d^2) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (8)$$

donde d es la distancia (m) entre la HAPS y el satélite del SFS.

En principio:

$$(p.i.r.e.)_{total} = 10 \log \sum_{j=1}^n 10^{-0,1(p.i.r.e.)_j} \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (9)$$

donde:

(p.i.r.e.)_j: p.i.r.e. procedente de la plataforma HAPS *j*-ésima
n: número de HAPS interferentes.

Suponiendo por simplicidad que:

$$(p.i.r.e.)_{promedio} = (p.i.r.e.)_{total} - 10 \log (n) \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (10)$$

puede aproximarse la p.i.r.e. promedio procedente de cada plataforma HAPS.

3 Niveles de interferencia procedentes de sistemas HAPS típicos

La interferencia que causarían los sistemas HAPS en los satélites del SFS situados en la órbita de los satélites geoestacionarios puede determinarse comparando la p.i.r.e. en los lóbulos laterales y trasero de las antenas transmisoras HAPS con los valores de la p.i.r.e. resultantes del cálculo anterior.

Apéndice 1 al Anexo 2

Ejemplo de aplicación de la metodología del Anexo 2

1 Introducción

Se consideran en este ejemplo de cálculo los dos sistemas del SFS descritos en el § 2.4.2 del Anexo 1. Un sistema, recibe señales de estaciones centrales principales, emplea una apertura de haz de la antena de recepción de 2° y una ganancia de 39 dBi. El otro sistema, que recibe de terminales de usuario ubicuos y pequeños, se supone que tiene una apertura de haz de 0,3° y una ganancia de 55,4 dBi. Se supone que ambos tipos de sistema tienen temperaturas de ruido del sistema receptor de 500 K, las cuales se consideran representativas de receptores sensibles identificados para su implementación.

En este ejemplo se supone un despliegue denso de sistemas HAPS. En el caso de un satélite OSG del SFS con un haz de antena de 2°, se supone que se recibirán señales interferentes de hasta 100 HAPS. Algunas de estas señales se recibirán con una ganancia máxima del haz principal o próxima a ella y otras se recibirán con una ganancia inferior. En este ejemplo se supone que cada una de las señales procedentes de las 100 HAPS se recibirá con una ganancia media de antena del SFS de 1 dB por debajo del máximo, o lo que es lo mismo, con una ganancia de 38 dBi.

De forma similar, en el caso de un satélite OSG del SFS con una de 0,3° que verá muchas menos HAPS que la de 2°, se supone la recepción de señales interferentes de hasta tres HAPS, las cuales se recibirán con niveles de ganancia distintos en el diagrama de antena. En este ejemplo se supone que cada una de las señales procedentes de las tres HAPS se recibirá con una ganancia media de antena del SFS de 1 dB por debajo de su máximo, lo que es lo mismo que una ganancia de 54,4 dBi.

La distancia entre la OSG y la HAPS más próxima se toma como la altitud de la OSG respecto a la altura de 20 km de las HAPS (35 788 – 20 = 35 768 km).

2 Interferencia en los haces de estación central del SFS con apertura de 2°

Apertura del haz a potencia mitad: 2°

Ganancia de cresta de la antena del satélite: 39 dBi

Ganancia media de la antena receptora respecto a todas las HAPS interferentes: $39 - 1 = 38$ dBi.

Número supuesto de HAPS interferentes en una apertura de haz de 2°: 100

Temperatura de ruido del sistema receptor: 500 K

Anchura de banda de referencia: 1 MHz

Por tanto, la potencia de ruido del sistema de recepción:

$$N = kTB = -228,6 + 10 \log(500) + 10 \log(10^6) = -141,61 \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (11)$$

Suponiendo que la potencia de interferencia del ejemplo de cálculo es el 1% de la potencia de ruido, la relación I/N será $10 \log(0,01) = -20$ dB. Por tanto:

$$I = N + I/N = -141,61 - 20 = -161,61 \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (12)$$

La DFP que producirá dicha potencia de interferencia en la órbita es:

$$\text{DFP} = (-161,61 - 38 + 29 + 21,45) = -149,2 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad (13)$$

Entonces:

$$(\text{p.i.r.e.})_{\text{total}} = -149,2 + 162,1 = 12,92 \quad \text{dB(W/MHz)}$$

Si la potencia combinada de interferencia se reparte entre 100 HAPS, cada una de dichas plataformas estaría limitada a $12,92 - 10(\log 100) = 12,92 - 20 = -7,08$ dB(W/MHz).

3 Interferencia en haces de terminal de usuario pequeños del SFS con apertura de 0,3°

Apertura del haz a potencia mitad: 0,3°

Ganancia de cresta de la antena del satélite: 55,4 dBi

Ganancia media de la antena receptora para todas las plataformas HAPS interferentes: $55,4 - 1 = 54,4$ dBi.

Número supuesto de HAPS interferentes en una apertura de haz de 0,3°: 3

Temperatura de ruido del sistema receptor: 500 K

Anchura de banda de referencia: 1 MHz.

Por tanto, como en el caso anterior, la potencia de ruido del sistema receptor, N , es $-141,61$ dB(W/MHz), y la potencia de interferencia máxima, I , es $-161,61$ dB(W/MHz).

La DFP que produce dicha potencia de interferencia será:

$$\text{DFP} = (-161,61 - 54,4 + 29 + 21,45) = -165,6 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad (14)$$

Entonces:

$$(p.i.r.e.)_{total} = -165,6 + 162,1 = -3,5 \quad \text{dB(W/MHz)}$$

Si la potencia combinada de interferencias se reparte entre 3 plataformas HAPS, cada una de dichas plataformas estará limitada a $-3,5 - 10(\log 3) = -3,5 - 4,77 = -8,27$ dB(W/MHz).

4 Niveles de interferencia procedente de sistemas HAPS típicos

La interferencia máxima procedente de los lóbulos laterales y trasero en las transmisiones de enlace descendente HAPS 28 GHz puede calcularse a partir de los parámetros del sistema HAPS que figuran en la Recomendación UIT-R F.1569.

Un transmisor de HAPS, diseñado para dar servicio a terminales de usuario con ángulos de elevación de sólo 26° , en condiciones de lluvia, tendrá una potencia de salida de 1,8 dBW, con una anchura de banda de 150 MHz, unas pérdidas del enlace de conexión de 0,5 dB y una ganancia de antena de 16,4 dBi. Ello se traduce en una p.i.r.e. máxima de 17,7 dBW por 150 MHz, o de $17,7 - 10 \log 150 = (17,7 - 21,7) = -4$ dB(W/MHz).

No obstante, la ganancia de la antena en la dirección de los lóbulos laterales exteriores y traseros, será al menos de 10 dB por debajo del nivel isótropo. Por tanto, la p.i.r.e. de una plataforma HAPS en dirección de la OSG es $(-4 - 16,4 - 10) = -30,4$ dB(W/MHz).

Para los ejemplos de los § 2 y 3 anteriores, la p.i.r.e. hacia la OSG está muy por debajo de los niveles de las transmisiones individuales HAPS-suelo de $-7,08$ dB(W/MHz) o $-8,27$ dB(W/MHz), que se traducirían en una I/N inferior a 1% en los satélites del SFS con haces de antena de $2,0^\circ$ ó $0,3^\circ$.

Anexo 3

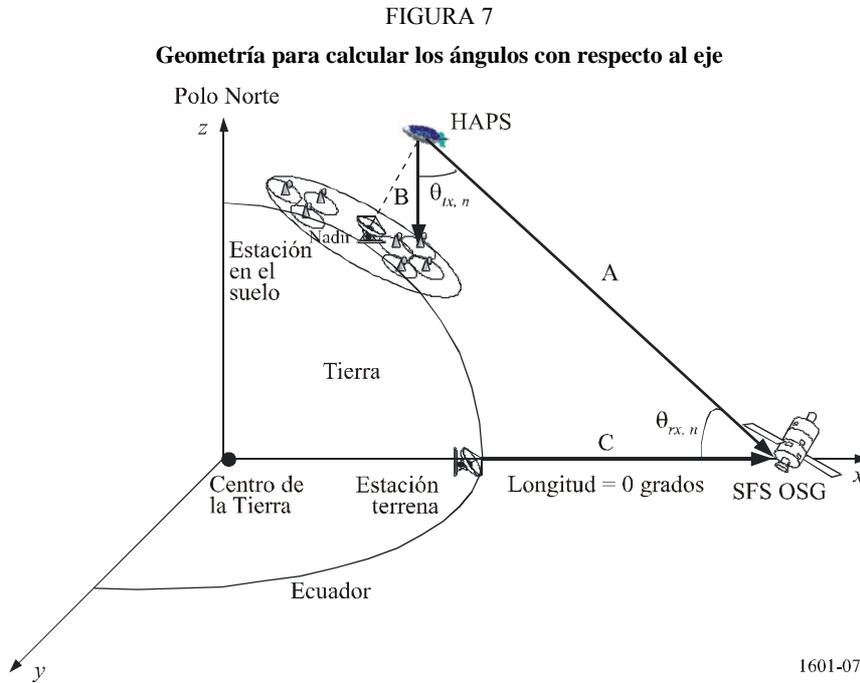
Metodología para evaluar el valor de la relación C/I producido por las transmisiones HAPS-suelo (enlaces descendentes) del SF que utiliza HAPS en los enlaces ascendentes (Tierra-espacio) del SFS con satélites OSG en la banda 27,5-28,35 GHz

1 Introducción

Durante la etapa de planificación de una red de satélites puede ser útil calcular la relación portadora/interferencia (C/I) entre las portadoras de las redes interferente e interferida a fin de determinar los niveles de interferencia. Las citadas relaciones C/I pueden emplearse para fijar los niveles de interferencia que contribuyen a la degradación de la calidad y también pueden utilizarse para todos los métodos de modulación. Este Anexo presenta una metodología basada en las evaluaciones de C/I con objeto de estimar la interferencia causada por los enlaces descendentes del SF que utiliza HAPS a los enlaces ascendentes del SFS con satélites geoestacionarios en la banda 27,5-28,35 GHz.

2 Metodología para evaluar la relación C/I

La Fig. 7 muestra el modelo de análisis supuesto para el valor C/I en un satélite OSG debido a la interferencia causada por una HAPS.



2.1 Cálculo de C/I

Considerando la potencia de portadora del enlace ascendente (Tierra-espacio) del SFS que utiliza el satélite geoestacionario (OSG), C , y la potencia de interferencia total causada por múltiples aeronaves HAPS al satélite I_{total} dentro de la anchura de la banda interferida, puede determinarse la relación C/I mediante la siguiente ecuación:

$$\left[\frac{C}{I} \right] = PIRE_{asc} - FSL_{E/T-Sat} + G_{Sat} - I_{total} \quad (\text{dB}) \quad (15)$$

donde:

- $PIRE_{asc}$: potencia isotrópica radiada equivalente de la portadora de una estación terrestre dentro de la anchura de la banda interferida (dBW)
- $FSL_{E/T-Sat}$: pérdidas de trayecto en el espacio libre entre la estación terrestre y el satélite geoestacionario (dB)
- G_{Sat} : máxima ganancia de la antena de recepción del satélite OSG (dBi).

La potencia de interferencia total I_{total} causada por múltiples aeronaves HAPS al SFS que utiliza satélites geoestacionarios dentro de la banda interferida puede expresarse mediante la ecuación:

$$I_{total} = 10 \log \left[\sum_{h=1}^{n_h} 10^{(I_h)/10} \right] \quad (\text{dBW}) \quad (16)$$

donde:

n_h es el número de aeronaves HAPS

I_h es la potencia de interferencia causada por una aeronave HAPS al SFS que utiliza satélites geoestacionarios.

Considerando la antena multihaz puntual de la aeronave HAPS, la potencia de interferencia I_h se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$I_h = 10 \log \left[\sum_{n=1}^{n_b} 10^{\{P_{HAPS,n} - L_{alimentador} + G_{HAPS,n}(\theta_{tx,n}) + G_{Sat}(\theta_{rx,n}) - FSL_{HAPS-Sat}\}/10} \right] \quad (\text{dBW})(17)$$

siendo:

n_b : el número de haces puntuales de una aeronave HAPS

$P_{HAPS,n}$: potencia del n -ésimo transmisor de una aeronave HAPS (dBW)

$L_{alimentador}$: pérdidas en el alimentador de la HAPS (dB)

$G_{HAPS,n}(\theta_{tx,n})$: ganancia de la n -ésima antena de transmisión de la aeronave HAPS para un ángulo con respecto al eje $\theta_{tx,n}$ (dBi)

$G_{Sat}(\theta_{rx,n})$: ganancia de la antena de recepción de un satélite OSG para un ángulo con respecto al eje $\theta_{rx,n}$ (dBi)

$FSL_{HAPS-Sat}$: pérdidas de trayecto en el espacio libre entre la aeronave HAPS y el satélite OSG (dB).

2.2 Cálculo del ángulo con respecto al eje

Para determinar la potencia de interferencia definida en la ecuación (17), deben calcularse los ángulos con respecto al eje $\theta_{tx,n}$ y $\theta_{rx,n}$. A fin de facilitar el cálculo de los ángulos con respecto al eje, las coordenadas de todos los haces puntuales HAPS y del satélite SFS se transforman de coordenadas polares a un sistema de coordenadas rectangulares en el plano ecuatorial con origen en el centro de la Tierra.

Si \mathbf{A} es el vector desde una aeronave HAPS a un satélite del SFS OSG y \mathbf{B} es el vector desde el centro del n -ésimo haz puntual de la aeronave HAPS a su estación en el suelo, el ángulo con respecto al eje $\theta_{tx,n}$ entre \mathbf{A} y \mathbf{B} (medido en la aeronave HAPS) viene dado por la expresión:

$$\theta_{tx,n} = \cos^{-1} \left(\frac{\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}}{|\mathbf{A}| |\mathbf{B}|} \right) \quad \text{grados} \quad (18)$$

como ilustra la Fig. 7. $|\mathbf{A}|$ y $|\mathbf{B}|$ son las magnitudes de \mathbf{A} y \mathbf{B} , y $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$ es el producto interno de los dos vectores. Por ejemplo, para \mathbf{A} y \mathbf{B} expresados en coordenadas rectangulares:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z \quad (19)$$

De forma similar, puede obtenerse el otro ángulo $\theta_{rx,n}$ utilizando la ecuación (18) y sustituyendo \mathbf{A} y \mathbf{B} por $-\mathbf{A}$ y $-\mathbf{C}$, siendo $-\mathbf{A}$ el vector entre un satélite del SFS OSG y una aeronave HAPS y \mathbf{C} el vector entre la estación terrena en el centro de la cobertura HAPS y un satélite del SFS OSG.

Apéndice 1 al Anexo 3

Ejemplo de aplicación de la metodología del Anexo 3

1 Parámetros del sistema HAPS

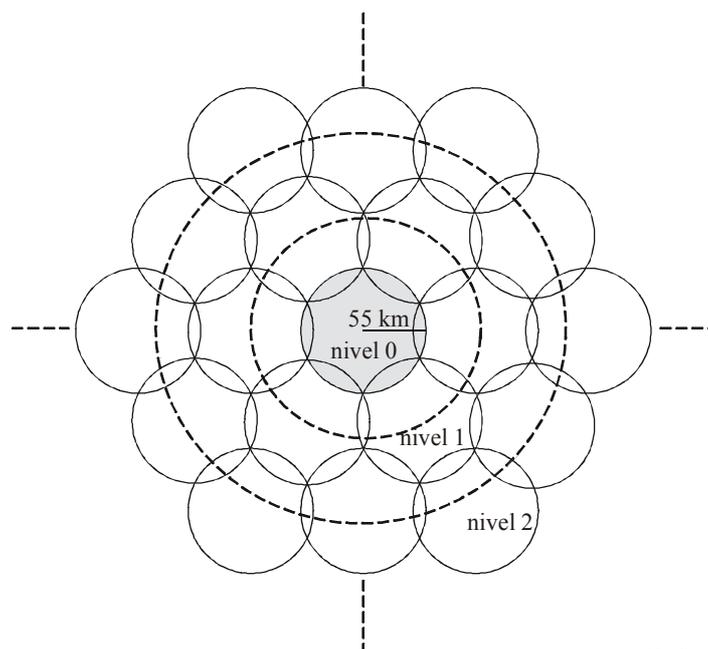
El Cuadro 3 muestra los parámetros del sistema HAPS utilizados en este ejemplo para los cálculos de *C/I*.

CUADRO 3
Parámetros de la HAPS

Altitud de la HAPS	20 km
Cobertura de servicio (radio)	55 km
Potencia de salida por haz	-15,2 dBW a -14,5 dBW
Diagrama de antena	Rec. UIT-R F.1569
Pérdidas en el alimentador	0,5 dB
Número total de haces en cada antena HAPS	367

En este ejemplo, como se representa en la Fig. 8, puede desplegarse un número de aeronaves para cubrir una amplia gama de zonas en el suelo. Además, cada aeronave va equipada con una antena multihaz puntual en su parte inferior con el mismo método. El número total de haces de cada antena y el número total de aeronaves para calcular la interferencia en este Anexo es de 367 y 127, respectivamente.

FIGURA 8
Método de despliegue de las aeronaves HAPS



2 Parámetros del sistema de satélites OSG

Los parámetros del sistema de satélites OSG se basan en la Recomendación UIT-R S.1328-3 para mostrar un ejemplo de cálculo de C/I como indica el Cuadro 4.

CUADRO 4

Parámetros de un sistema de satélites OSG

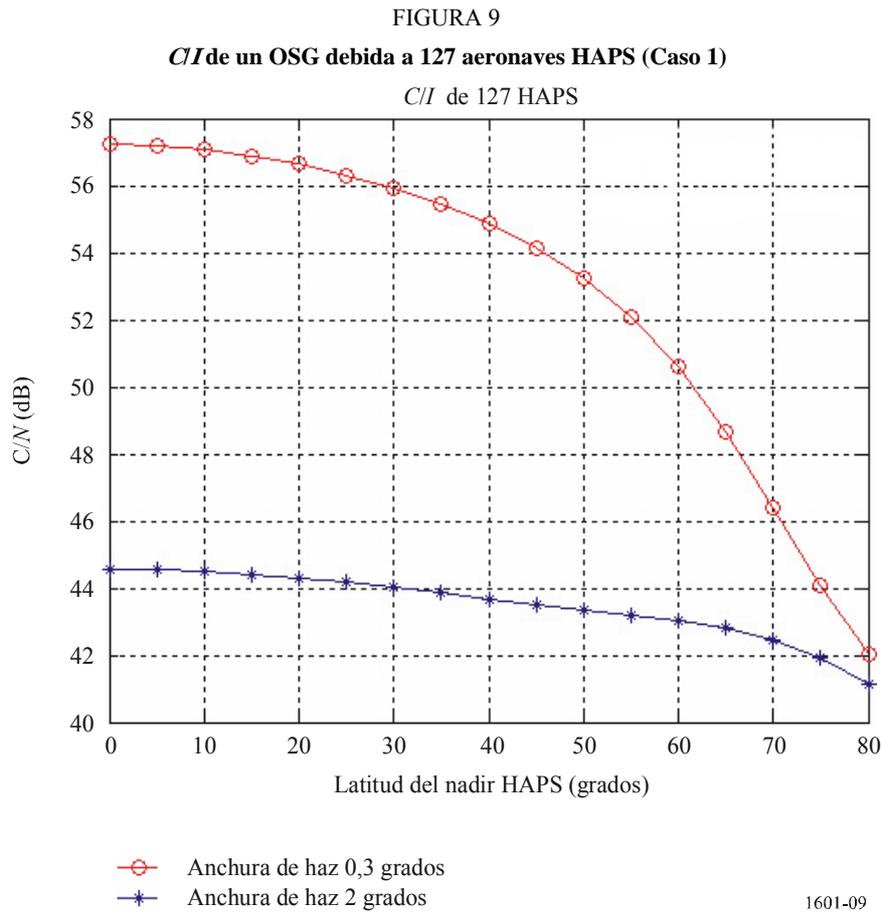
Altitud del satélite OSG	35 768 km
Máxima ganancia de la antena receptora del satélite	55 dBi para una anchura de haz de la antena de 0,3 grados 38,5 dBi para una anchura de haz de la antena de 2 grados
Diagrama de la antena	Rec. UIT-R S.672 (L_s : se supone un valor de -20 dB)
p.i.r.e. del enlace ascendente	66,1 dBW

3 Resultados del cálculo

3.1 Caso 1

En el Caso 1 se supone que el satélite interferido está situado sobre el ecuador a una longitud de 0 grados y el haz del satélite se dirige permanentemente hacia la estación terrena que se encuentra siempre ubicada en el centro de la zona de cobertura de la HAPS. Se supone que el sistema HAPS está compuesto de 127 aeronaves con una antena de 367 haces múltiples y la cobertura de servicio de una aeronave tiene un radio de 55 kilómetros.

En la Fig. 9 puede verse que a medida que el sistema HAPS se desplaza hacia el Polo Norte, la C/I del satélite OSG disminuye.

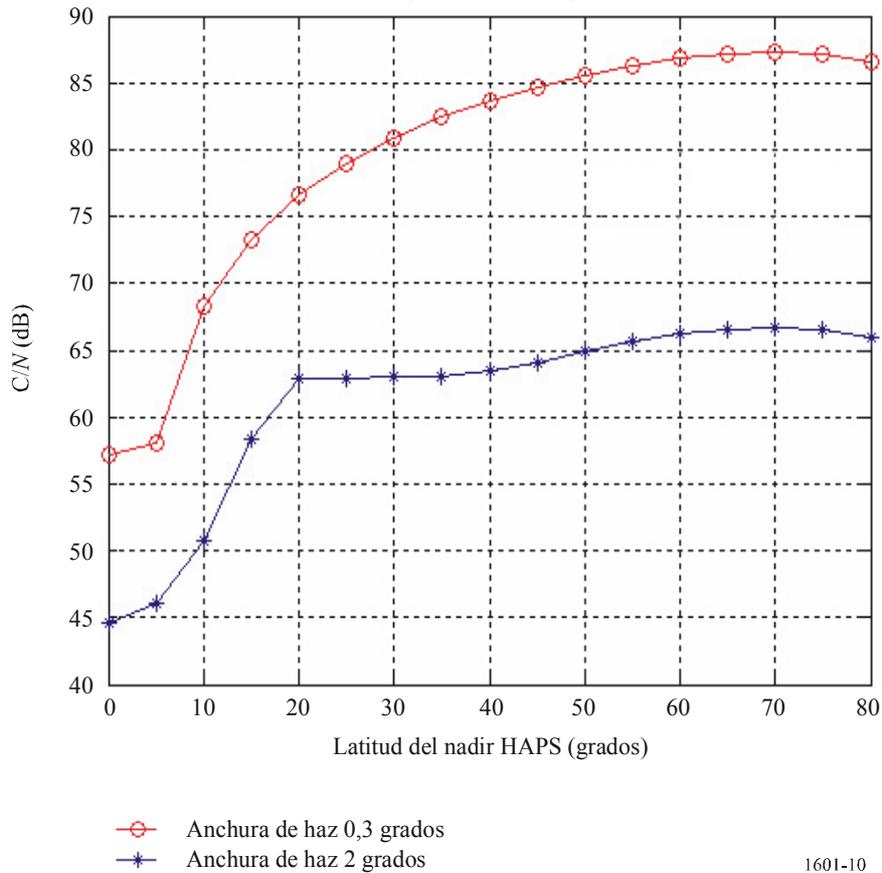


3.2 Caso 2

En el Caso 2 se supone que el satélite interferido está situado sobre el ecuador a una longitud de 0 grados pero el haz del satélite apunta a la estación terrena con una longitud de 0 grados y una latitud de 0 grados; es decir, la estación terrena está situada en una posición fija sobre el ecuador.

La Fig. 10 muestra el valor de C/I en un satélite OSG causado por un sistema HAPS compuesto de 127 aeronaves en función de la latitud. En esta figura puede verse que si el sistema HAPS se desplaza hacia el Polo Norte, el valor de C/I del satélite OSG aumenta, al contrario de lo que sucedía en el Caso 1.

FIGURA 10
C/I de un satélite OSG debido a 127 aeronaves HAPS (Caso 2)
C/I de 127 HAPS



1601-10

4 Resumen

Este Apéndice presenta un ejemplo de método de cálculo de *C/I* (relación de potencias entre portadora e interferencia) para evaluar la interferencia causada por las aeronaves HAPS a los satélites OSG.

En el caso de una estación terrena situada en el nadir HAPS (Caso 1), el valor *C/I* disminuye al aumentar la latitud (es decir, al disminuir el ángulo de elevación del satélite). Por el contrario, en el caso de una estación terrena situada en un punto fijo sobre el ecuador, *C/I* aumenta al hacerlo la latitud.

El método de evaluación de *C/I* es necesario para estimar la interferencia causada por el enlace descendente del SF que utiliza HAPS al enlace ascendente del SFS OSG en la banda 27,5-28,35 GHz cuando los niveles de interferencia que contribuyen a una degradación de la calidad de funcionamiento se determinan considerando todos los métodos de modulación y todos los tipos de señal.