

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R F.1569
(05/2002)

**Características técnicas y operacionales
para el servicio fijo que utiliza estaciones
situadas en plataformas a gran altitud en
las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz**

Serie F
Servicio fijo



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

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

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2010

© UIT 2010

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R F.1569*

Características técnicas y operacionales para el servicio fijo que utiliza estaciones situadas en plataformas a gran altitud en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz

(2002)

Cometido

La presente Recomendación proporciona las características técnicas y operacionales para el servicio fijo que utiliza estaciones situadas en plataformas a gran altitud (HAPS) en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz. Entre esas características figuran el factor de reutilización de frecuencias de la célula iluminada por los haces puntuales de las antenas HAPS, el efecto de apantallamiento del cuerpo de la nave aérea con recubrimiento metálico y otros parámetros técnicos clásicos de los sistemas HAPS que deben utilizarse en los estudios de compartición con otros sistemas.

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), en la estratosfera;
- b) que la banda 31,3-31,8 GHz está atribuida a la radioastronomía, al servicio de explotación de la Tierra por satélite (SETS) (pasivo) y al servicio de investigación espacial (pasivo), y que es necesario proteger adecuadamente estos servicios de las emisiones no deseadas procedentes de las estaciones HAPS en el suelo que funcionan en la banda 31-31,3 GHz, teniendo en cuenta los criterios de interferencia que figuran en las Recomendaciones del UIT-R,

reconociendo

que las bandas 27,9-28,2 GHz y 31-31,3 GHz también pueden ser utilizadas por las HAPS en el servicio fijo en ciertos países con la condición de no causar interferencia ni pedir protección,

observando

que los receptores de los sistemas basados en las HAPS en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz están diseñados para funcionar sometidos a la interferencia máxima combinada del 10% del ruido térmico del sistema receptor en las plataformas HAPS y en las estaciones del sistema HAPS situadas en el suelo,

recomienda

- 1 que las HAPS que utilizan las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz funcionen a una altitud comprendida entre 20 y 25 km;
- 2 que el factor de reutilización de frecuencias de la célula iluminada por los haces puntuales de las antenas HAPS sea igual o superior a cuatro en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz (véase la Nota 1);

* La Comisión de Estudio 5 de Radiocomunicaciones efectuó cambios de redacción en la presente Recomendación en diciembre de 2009, de conformidad con la Resolución UIT-R 1.

3 que la atenuación de la potencia de la señal debida al efecto de apantallamiento del cuerpo de la nave aérea con recubrimiento metálico en la gama de frecuencias 18-32 GHz se calcule mediante las ecuaciones siguientes:

$$\begin{array}{lll} 0 & \text{dB} & \text{para } 0^\circ \leq \theta < 90^\circ \\ 0,5(\theta - 90) & \text{dB} & \text{para } 90^\circ \leq \theta < 120^\circ \\ 15 & \text{dB} & \text{para } 120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \end{array}$$

donde θ es el ángulo de separación entre la dirección de interés y la del nadir de la HAPS;

4 que se utilice la técnica de control automático de la potencia de transmisión (ATPC) para reducir la probabilidad de causar interferencia inaceptable a otros servicios y para aumentar la disponibilidad del enlace en el sistema basado en la HAPS;

5 que para el estudio de compartición se tenga en cuenta el límite superior del número de portadoras que transmiten simultáneamente a la estación HAPS situada en el suelo, y que viene determinado por la anchura de banda disponible en el enlace ascendente y la anchura de banda de cada señal de transmisión;

6 que para los estudios pertinentes del UIT-R en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz se utilice el sistema basado en las HAPS del Anexo 1.

NOTA 1 – La expresión «factor de reutilización de frecuencias» del *recomienda 2* se refiere al número de subbandas de frecuencia para la utilización eficaz de las frecuencias en el sistema de radiocomunicaciones con configuración celular. Por ejemplo, cuando el factor de reutilización de frecuencias es cuatro, se utiliza repetidamente una de las subbandas de frecuencias cada cuatro células.

Anexo 1

Parámetros técnicos típicos para el servicio fijo que utiliza HAPS en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz

1 Introducción

Este Anexo ofrece las características técnicas típicas para el servicio fijo que utiliza HAPS en la gama de frecuencias de 18-32 GHz, centrándose en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz que pueden utilizarse en los estudios pertinentes.

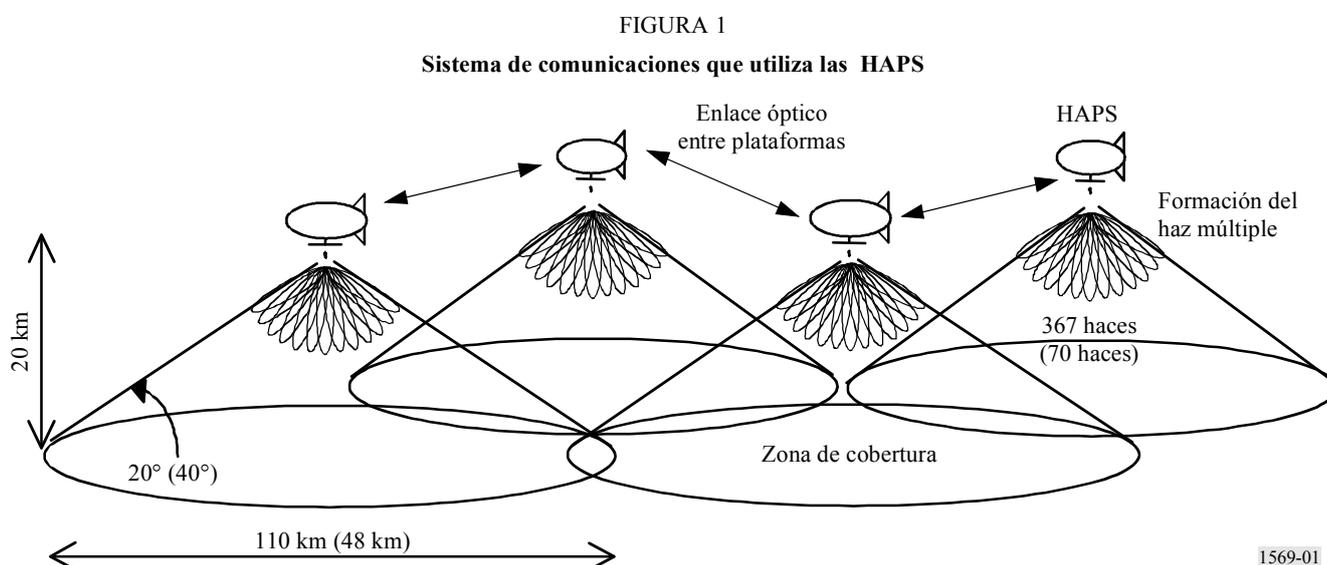
2 Descripción de un sistema típico basado en las HAPS

Un sistema HAPS típico con funcionamiento en la gama de frecuencias 18-32 GHz puede presentar los aspectos siguientes:

- una HAPS se monta en una nave aérea controlada que se sitúa en un punto nominal fijo a una altitud comprendida entre 20 y 25 km;
- la nave aérea se alimenta con la energía eléctrica necesaria para el mantenimiento del sistema y el funcionamiento de la misión de comunicaciones, a partir de baterías solares que van en la superficie superior de la nave aérea y con baterías secundarias que se cargan para la utilización nocturna;

- la nave aérea va equipada con una antena de haz multi-puntual en su parte inferior que establece los enlaces de acceso a las estaciones situadas en el suelo con un cierto ángulo de elevación mínimo;
- cada haz formado por la antena de haz multi-puntual corresponde a una célula en el suelo, con una reutilización de frecuencias de al menos cuatro veces;
- el recinto para el gas de la nave aérea es una película de un metal, tal como el aluminio con el que se pretende bloquear las ondas electromagnéticas en la gama de frecuencias de 18-32 GHz o superior;
- se despliegan múltiples naves aéreas para abarcar una amplia zona en el suelo y las estaciones en ella se conectan mediante enlaces inalámbricos, tales como los enlaces ópticos, constituyendo una red inalámbrica en malla.

La Fig. 1 ilustra un sistema de comunicaciones que utiliza las HAPS. En la Fig. 1 se muestran dos ejemplos de ángulo de elevación mínimo de 20° y de 40° .



3 Altitud de la HAPS

En el número 1.66A del RR se define que la altitud de la HAPS debe estar comprendida entre 20 y 50 km. La cobertura con visibilidad directa desde una HAPS es mayor desde altitudes superiores. No obstante, la densidad atmosférica disminuye significativamente al aumentar la altitud. El Cuadro 1 muestra la densidad y la presión atmosféricas en diversas altitudes. La densidad atmosférica a una altitud de 50 km es muy inferior a la de la altitud de 20 km, en una relación aproximada de 1/90. Esto significa que la nave aérea situada a 50 km de altitud necesita 90 veces más de gas helio que la situada a 20 km y requiere una longitud de la estructura 4,5 veces mayor. Suponiendo que a una altitud de 20 km se necesita una nave de 200 m de longitud para aguantar un cierto peso, a una altitud de 50 km se requiere una nave de 900 m de longitud para el mismo peso. Es absolutamente imposible construir una nave aérea tan enorme con la tecnología actual y la de un futuro próximo.

CUADRO 1

Densidad y presión atmosférica en la estratosfera

Altitud (km)	Densidad atmosférica (kg/m ³)	Presión (hpa)
0	1,22	1 013
15	0,195	121
20	0,0889	55,3
25	0,0401	25,5
30	0,0184	12
50	0,00103	0,798

La Fig. 2 muestra un perfil medio del viento en la atmósfera superior. La velocidad del viento presenta un mínimo local alrededor de la altitud de 20-25 km. Se hace mayor a altitudes superiores a 25 km y es cuatro veces mayor en la altitud de 50 km respecto a la de 20 km. Para mantener la posición de la nave aérea en un punto nominal fijo en condiciones de viento, se necesita una potencia de propulsión muy superior, lo que a su vez exige materias más pesadas para el funcionamiento nocturno. Desde este punto de vista, el funcionamiento de una nave aérea a una altitud inferior a 25 km es razonable, aplicando la tecnología actual.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, puede determinarse que, desde un punto de vista técnico, la altitud de una HAPS será inferior a unos 25 km.

4 Ángulo de elevación mínimo operacional

El ángulo de elevación mínimo operacional determina la cobertura de la zona de servicio de una HAPS. Cuanto menor sea el ángulo de elevación mínimo, mayor será la cobertura de servicio obtenida. No obstante, el trayecto a través de la lluvia es mayor y la p.i.r.e. requerida aumenta, pues se requiere un margen respecto a la lluvia superior.

El valor típico del ángulo de elevación mínimo operacional para el sistema HAPS en la banda 28/31 GHz puede ser mayor de 20°. El funcionamiento con ángulos de elevación menores exige valores superiores de la p.i.r.e. en los enlaces ascendente y descendente al aumentar el trayecto de propagación y la atenuación debida a la lluvia y puede dar lugar a dificultades en la situación de compartición entre el sistema HAPS y otros sistemas tales como los sistemas de satélite, los del servicio fijo, los de los servicios científicos espaciales, etc. Además, el efecto de ensombrecimiento creado por los edificios o montañas degradará la disponibilidad del emplazamiento para ángulos de elevación inferiores en las zonas urbanas o montañosas.

Pueden utilizarse ángulos de elevación inferiores a 20° a condición de que:

- la p.i.r.e. en los enlaces ascendente y descendente con el ángulo de elevación superior a 20° se mantenga en valores constantes y puedan éstos incrementarse únicamente para enlaces con ángulo de elevación menor;
- se determine el ángulo mínimo de funcionamiento adecuado de conformidad con los requisitos de compartición con otros servicios en cada zona; y
- se utilice apropiadamente el ATPC en los enlaces ascendente y descendente.

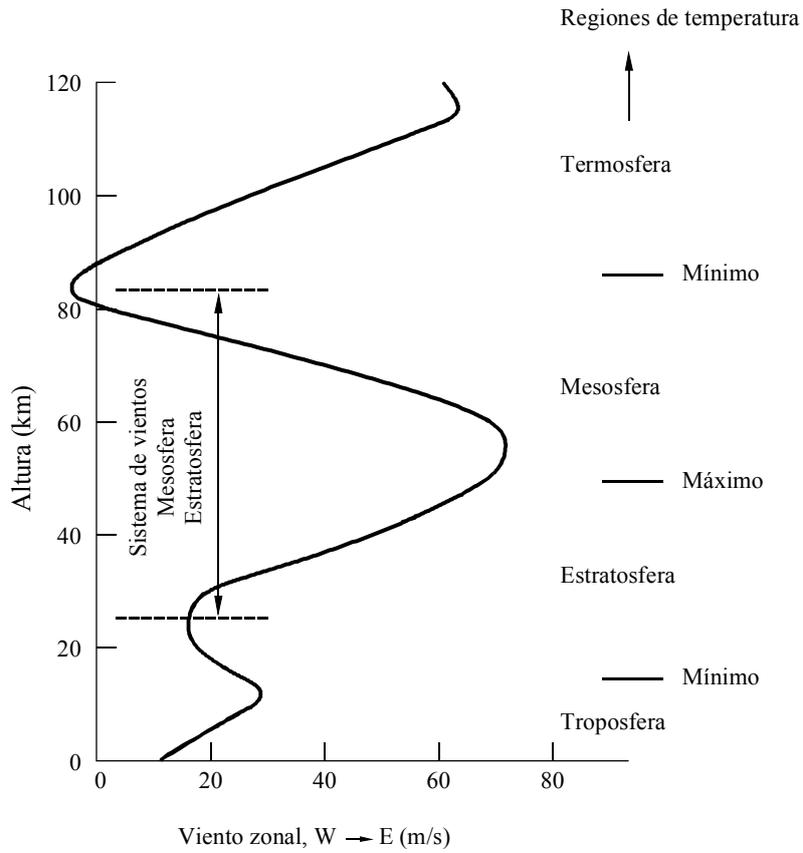
También es posible adoptar un ángulo mínimo de elevación mayor, por ejemplo de 40° , a fin de reducir la interferencia causada a otros servicios y la procedente de éstos y de aumentar la disponibilidad del emplazamiento que impide el ensombrecimiento causado por los edificios o montañas. Cuando mayor sea el ángulo mínimo de elevación, mayor será el número de HAPS necesarias para abarcar una cierta zona en el suelo, sin que cambie el número total de haces puntuales para todas las HAPS.

5 Antena multihaz a bordo

A efectos de dar cobertura a múltiples estaciones de abonado en el suelo mediante una sola HAPS con una gran eficacia de reutilización de frecuencias, es preferible emplear una antena de haz multi-puntual (antena multihaz).

La Fig. 3 muestra una huella típica de una antena multihaz para un ángulo de elevación mínimo de 20° . El número de haces puntuales es de 367. El tamaño de todas las huellas de cada haz es igual (hasta de 6 km de diámetro) en este caso. Esto puede lograrse asignando las distintas ganancias de antena a cada haz puntual conforme a su ángulo de elevación (véase el Cuadro 2) y utilizando diagramas de haz elíptico. Se espera que este diseño multihaz dé una interferencia menor en otros servicios y procedentes de éstos con trayectos de ángulo de elevación reducido, porque los haces próximos al extremo de la cobertura del servicio con pequeños ángulos de elevación tienen mayor ganancia, apertura de haz más estrecha y menor nivel de lóbulos laterales que los de los haces próximos al centro de la cobertura de servicio. En el diseño de un balance de enlace, se supone que la ganancia en el extremo del haz puntual es de -3 dB. La Fig. 4 muestra un ejemplo del diagrama de haz elíptico para el haz puntual (los ángulos de elevación están comprendidos entre 20° y 90°). El diagrama para el haz puntual con el ángulo de elevación de 90° viene dado en la Recomendación UIT-R F.1245 y es un haz circular. Los diagramas elípticos de los haces puntuales con ángulo de elevación inferior a 90° están modificados respecto al diagrama de referencia de la Recomendación UIT-R F.1245. Constan de dos diagramas como los de dicha Recomendación para los ejes mayor y menor del diagrama elíptico. En los estudios de compartición que utilizan el nivel de lóbulos laterales de este diagrama elíptico, es preferible, por razones de seguridad, utilizar el lóbulo lateral del eje mayor, incluso para el del eje menor (curva de trazo continuo de la Fig. 4). También se puede utilizar el diagrama de la Recomendación UIT-R F.1245 sin modificación para la antena de la estación HAPS en el suelo.

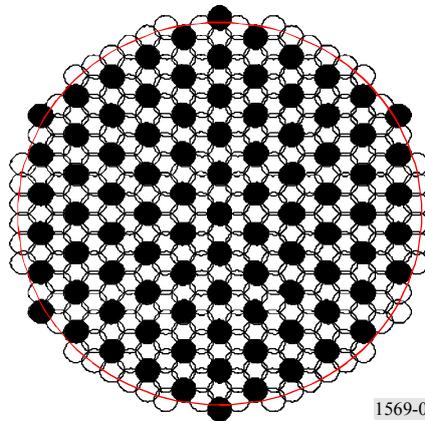
FIGURA 2
Perfil medio del viento en la atmósfera superior



Magnitud general de los vientos de zona en la atmósfera superior, ilustrada por un perfil de altura a 45° N en enero (Comité de investigación espacial (COSPAR) *International Reference Atmosphere*. Akademie-Verlag, 1972)

1569-02

FIGURA 3
Huella típica que produce una antena multihaz a bordo de una HAPS en 28/31 GHz (huella de haz puntual igual)



CUADRO 2

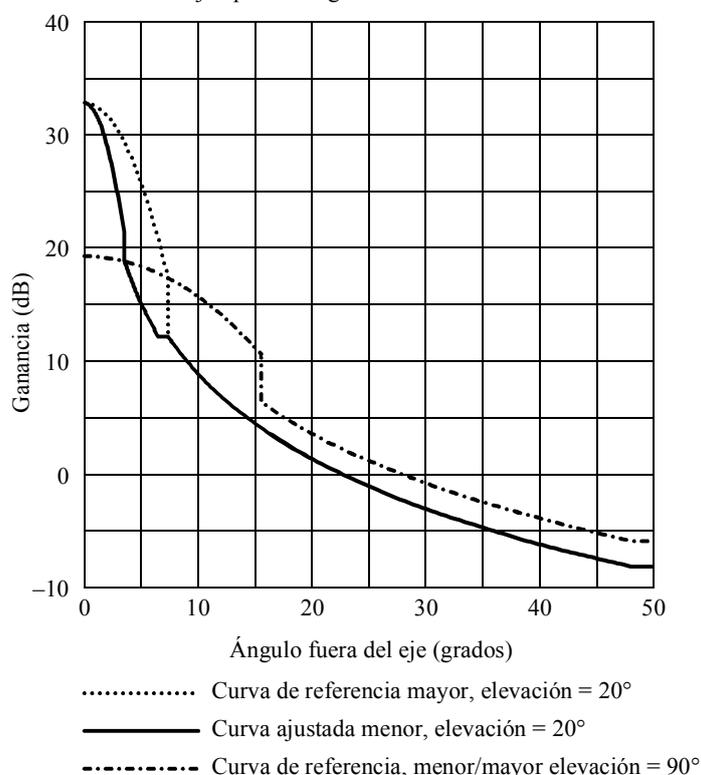
Asignación típica de la ganancia a los haces puntuales

Ángulo de elevación en el centro del haz (grados)	81	66	53,9	44,7	37,8	32,6	28,5	25,2	22,5	20,3	20
Ganancia de cresta del haz puntual (dBi)	19,5	19,7	20,8	22,4	24,2	25,9	27,6	29,1	30,5	31,9	32,5

FIGURA 4

Diagrama de contorno elíptico típico de un haz puntual (ángulo de elevación = 20° y 90°)

Ejemplo de diagrama de antena HAPS



1569-04

En los estudios de compartición se supone que el factor de reutilización de frecuencias de los haces puntuales es de cuatro, porque éste puede dar la interferencia combinada más desfavorable procedente del enlace descendente de la HAPS, en los otros servicios co-primarios. Puede ser difícil mantener un aislamiento suficiente entre haces dentro de un nivel admisible con un factor de reutilización inferior a cuatro.

6 Efecto de apantallamiento de la nave aérea sobre la radiación posterior

La carcasa de la nave aérea HAPS estará recubierta de una película metálica (normalmente de aluminio). Este recubrimiento bloqueará la radiación posterior de la antena a bordo instalada en la base de la nave aérea, porque el tamaño de ésta será considerablemente grande en comparación con la longitud de onda de la señal.

A fin de obtener la atenuación del efecto de apantallamiento, se considera el problema simple de dispersión bidimensional de la Fig. 5. La potencia electromagnética relativa en la superficie del cilindro en la dirección de φ (grados) se expresa mediante la ecuación (1) en función de la frecuencia de la señal portadora y del radio del cilindro.

$$P = 20 \log_{10} \left| \frac{1}{\pi ka} \sum_{n=0}^{\infty} \epsilon_n \frac{(-j)^{n-1}}{H_n^{(1)'}(ka)} \cos n\varphi \right| \quad \text{dB} \quad (1)$$

en la que:

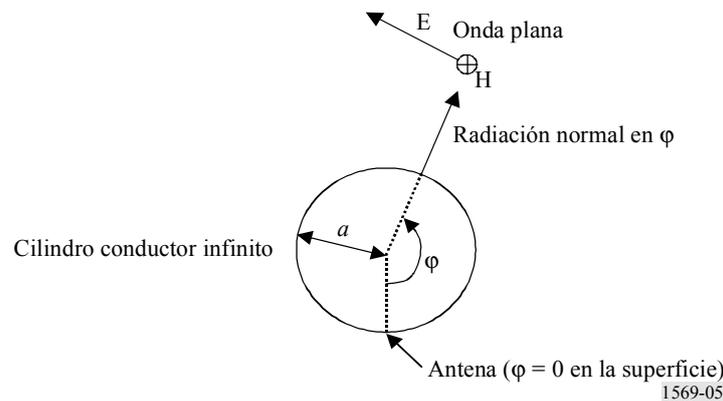
a : radio del cilindro

$k = 2\pi/\lambda$ (λ es la longitud de onda de la portadora)

ϵ_n ($n = 0$), 1 ($n \neq 0$) y $H_n^{(1)'}(x)$: derivada de la función de Hankel de orden n de primera clase.

FIGURA 5

Modelo de dispersión bidimensional de una onda plana (onda H) por un cilindro conductor infinito



La Fig. 6 muestra la potencia electromagnética relativa en la superficie del cilindro, en el caso de que $a = 7,5$ m y la frecuencia = 20 GHz. La atenuación del efecto de apantallamiento aumenta a medida que lo hace el radio del cilindro o cuando aumenta la frecuencia. Por tanto, puede utilizarse para el sistema HAPS el contorno de atenuación expresado en la ecuación (2) asociado al efecto de apantallamiento de una nave aérea HAPS, utilizando una nave aérea con un radio mayor de 7,5 m y una frecuencia de la señal portadora superior a 20 GHz:

$$\begin{array}{lll} 0 & \text{dB} & \text{para } 0^\circ \leq \theta < 90^\circ \\ 0,5(\theta - 90) & \text{dB} & \text{para } 90^\circ \leq \theta < 120^\circ \\ 15 & \text{dB} & \text{para } 120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \end{array} \quad (2)$$

donde θ es el ángulo de separación entre la dirección de interés (tal como la de un satélite) y la dirección del nadir de la HAPS, como se representa en la Fig. 7. Se señala que en el cálculo de la potencia de radiación posterior procedente de la antena situada en la base del vehículo debe utilizarse la ganancia de antena para $\theta = 90^\circ$, porque la onda transmitida en la dirección de $\theta = 90^\circ$ se propaga alrededor del cuerpo del vehículo y se irradia hacia atrás.

FIGURA 6
Potencia inducida en la dirección ϕ cuando $a = 7,5$ m
y la frecuencia = 20 GHz

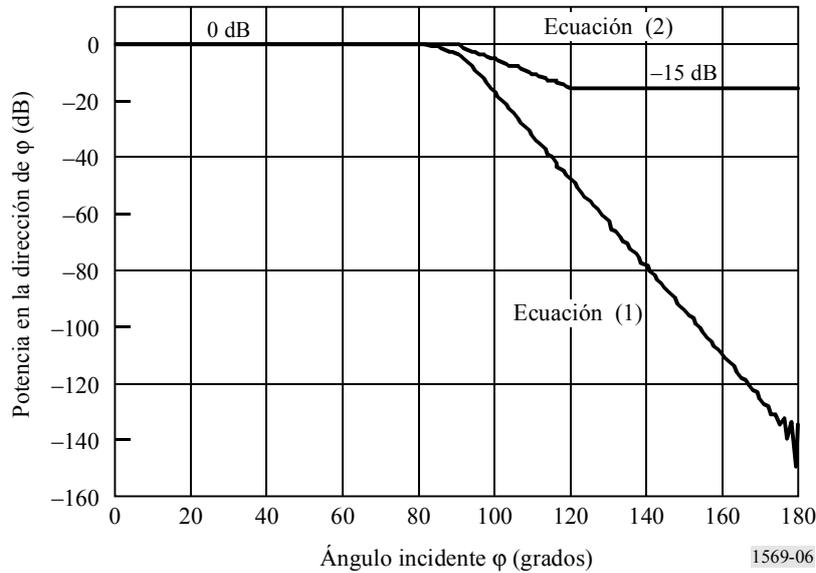
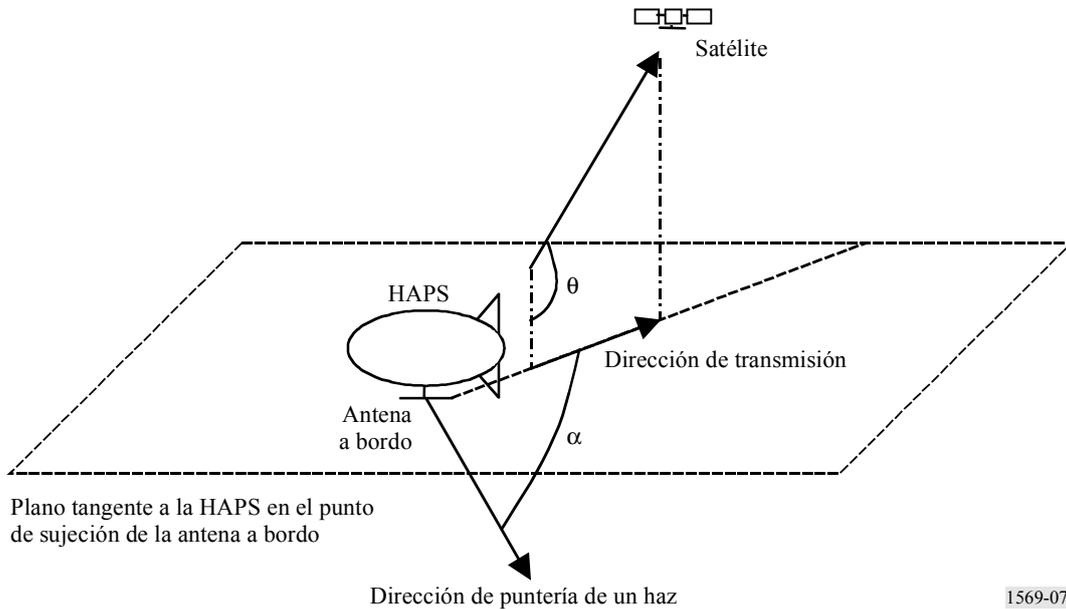


FIGURA 7
Dirección de la radiación en el caso de interferencia en un
satélite procedente de la HAPS



7 ATPC

Si la potencia de transmisión es fija, se necesita un gran margen para la lluvia y se puede causar interferencia en otros servicios, en condiciones de cielo despejado. Así pues, un ATPC es eficaz para reducir la probabilidad de interferencia.

El ATPC se realiza con un amplificador de gran potencia (HPA, *high power amplifier*) de ganancia variable que emplea un atenuador variable interior al módulo HPA. Hay diversas opciones de ganancia por pasos y el coste del dispositivo puede diferir según ellas. El ATPC más simple puede realizarse utilizando un atenuador de un solo paso que se activa o desactiva.

Cuando el sistema HAPS utiliza la banda 31-31,3 GHz para el enlace ascendente, el ATPC del transmisor de la estación HAPS del suelo reduce la interferencia causada en condiciones de cielo despejado por el enlace ascendente al servicio fijo convencional que utiliza la misma banda, mientras que la potencia de interferencia aumenta en condiciones de lluvia. Así pues, pueden reducirse totalmente los porcentajes del tiempo y de los emplazamientos para la interferencia en todas las condiciones atmosféricas, sin pérdida de la disponibilidad del enlace del sistema HAPS. Cuando el trayecto de la señal y el trayecto de la interferencia incluyen el trayecto de lluvia (es el caso de interferencia causada por el enlace ascendente en el SETS por emisiones fuera de banda), la interferencia no aumenta, incluso con la transmisión de potencia elevada en el enlace ascendente, en condiciones de lluvia.

Cuando el sistema HAPS utiliza la banda 27,5-28,35 GHz en el enlace descendente, el ATPC del transmisor HAPS embarcado de cada uno de los haces puntuales reduce la interferencia causada por el enlace descendente en los satélites que utilizan la misma banda, en condiciones de cielo despejado, mientras que la potencia de interferencia aumenta en condiciones de lluvia. No obstante, las zonas de lluvia intensa que necesitan una gran potencia de transmisión por el ATPC y los porcentajes de tiempo para dichas necesidades se verán en la realidad muy limitados y el efecto de la interferencia combinada procedente de todos los haces puntuales y de todas las HAPS en los satélites puede no ser tan grande.

8 Disponibilidad del enlace

La disponibilidad del enlace necesaria para el servicio fijo puede ser distinta según que la utilización del enlace sea de un tipo de línea exclusiva o mediante red de paquetes. Se requiere una disponibilidad relativamente elevada para la utilización de línea exclusiva, aunque no siempre para la utilización por red de paquetes. Como la red de paquetes suele emplear técnicas de petición con repetición automática, los datos de transmisión no pueden perderse, aun con los errores binarios temporales o la interrupción de la línea, a costa de la reducción del caudal. Por tanto, suponiendo un servicio de red de paquetes inalámbrica mediante una HAPS que utilice la banda 28/31 GHz, la disponibilidad del enlace del 99,4% puede ser suficiente en zonas templadas de intensidad de lluvia $R_{0,01} = 50$ (mm/h) para el enlace ascendente y el descendente. El Cuadro 3a) muestra la disponibilidad prevista del enlace en otra zona, suponiendo la misma potencia de transmisión. En muchos países con precipitación inferior, se obtiene una disponibilidad del enlace del 99,7-99,9%. En las zonas tropicales, se obtiene una disponibilidad del enlace del 99,4%, suponiendo un aumento adicional de la potencia de transmisión de 5-14 dB (potencia máxima de transmisión = 2,5 W) en condiciones de lluvia, mediante la utilización del ATPC. Como las frecuencias del enlace ascendente y del descendente son próximas, la disponibilidad del enlace de ida y vuelta puede no ser muy distinta de la del enlace ascendente o de la del descendente.

Algunos abonados que necesiten mayor disponibilidad en el enlace ascendente HAPS, pueden también equiparse con un mecanismo de ATPC adicional en la estación del suelo. El aumento de la potencia de transmisión hasta en 12,2 dB (potencia de transmisión = 1,5 W) en condiciones de lluvia da una disponibilidad del enlace del 99,8% en un lugar de la zona con intensidad de lluvia de $R_{0,01} = 50$ (mm/h) (véase el Cuadro 3b)).

La disponibilidad del enlace descendente HAPS puede también aumentarse mediante un ATPC adicional en dicho enlace para haces puntuales específicos. En un lugar de la zona con intensidad de la lluvia de $R_{0,01} = 50$ (mm/h), un aumento de la potencia de transmisión de hasta 10,2 dB en condiciones de lluvia da una disponibilidad del enlace del 99,8% y un aumento de hasta 17,5 dB da una disponibilidad del enlace del 99,9%. Tal como se describe en el § 7, las zonas de lluvia intensa necesitan que el ATPC dé una potencia de transmisión elevada y el porcentaje de tiempo de dichas

necesidades será en realidad muy limitado, al tiempo que el efecto de la interferencia combinada procedente de todos los haces puntuales y de todas las HAPS en los satélites puede no ser tan alta.

El control de la velocidad de transmisión y un esquema de modulación adaptable pueden también compensar la degradación de la disponibilidad del enlace debida a la atenuación de la lluvia y/o aumentar la disponibilidad. El Cuadro 3c) muestra un ejemplo del efecto del control de la velocidad de transmisión de datos para aumentar la disponibilidad, en el caso de Tokio.

CUADRO 3

a) **Disponibilidad del enlace para diversas zonas**
(Ángulo de elevación = 20°)

Ejemplo de ciudad		Ulan Bator	Londres	París	Washington, D.C.	Tokio
Intensidad de la lluvia (mm/h) $R_{0,01}$		14	24	27	50	50
Latitud (grados)		47,5 N	51,3 N	48,5 N	38,5 N	35,5 N
Disponibilidad del enlace (%)	Enlace ascendente (31 GHz)	99,95	99,9	99,87	99,6	99,4
	Enlace descendente (28 GHz)	99,95	99,9	99,87	99,6	99,4

b) **Gama de ATPC y potencia de transmisión requeridas en el enlace ascendente para aumentar la disponibilidad del enlace**
(Tokio, intensidad de la lluvia = 50 mm/h)

Disponibilidad del enlace (%)		99,4	99,6	99,8	99,9
Gama de ATPC (dB)/ potencia de transmisión máxima (W)	Ángulo de elevación: 20°	0/0,093	+4,3/0,25	+12,2/1,5	+20,8/11,2
	Ángulo de elevación: 90°	0/0,093	+2,2/0,16	+6,8/0,45	+13/1,9

c) **Efecto del control de datos en el enlace ascendente para aumentar su disponibilidad**
(Tokio, intensidad de la lluvia = 50 mm/h)

Disponibilidad del enlace (%)		99,4	99,5	99,6	99,7
Velocidad de datos en el enlace ascendente (Mbit/s)	Ángulo de elevación: 20°	20	12,9	7,4	3,5
	Ángulo de elevación: 90°	20	16,2	12	8,1

9 Consideraciones en cuanto a la interferencia

La relación de diseño I/N es del 10%, incluyendo la interferencia combinada procedente de los servicios primarios. Es posible maximizar este valor de diseño para mejorar la situación de interferencia con otros servicios.

10 Límite superior del número de portadoras que transmiten simultáneamente

La anchura de banda que se permite utilizar en el enlace ascendente HAPS en la banda de 31 GHz es de 300 MHz (hasta la CMR-03 no se autorizará la utilización de los 150 MHz superiores). En consecuencia, el límite superior del número de portadoras que transmiten simultáneamente en el enlace ascendente es de 15, suponiendo que una portadora tiene la anchura de banda de 20 MHz. Si se supone que el factor de reutilización de frecuencias es de cuatro, el número de portadoras que transmiten simultáneamente desde la estación HAPS en el suelo es de 15, para cuatro haces puntuales. Este límite superior debe considerarse en el estudio de compartición en el enlace ascendente.

En los sistemas prácticos, las peticiones de acceso de múltiples abonados se controlarán mediante esquemas de control de acceso que se implementan, para la asignación de recursos, en el transpondedor embarcado, en el cual se restringe el número de portadoras que transmiten simultáneamente en el enlace ascendente hasta el límite superior.

En el futuro habrá que considerar la mezcla de señales con anchuras de banda diferentes, pues cabe esperar demandas de velocidades binarias diversas para las aplicaciones multimedia. En esos casos, puede cambiar el límite superior del número de portadoras que transmiten simultáneamente. No obstante, debe tenerse en cuenta que las señales con anchura de banda más pequeña pueden transmitirse con potencia inferior y con menores emisiones fuera de banda.

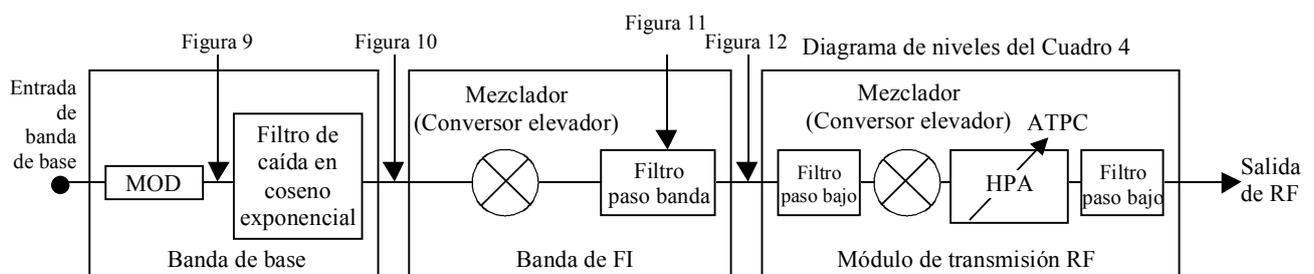
A fin de evitar la transmisión imprevista de ruido fuera de banda en el enlace ascendente cuando no se transmite ninguna señal, el transmisor de la estación HAPS en suelo tendrá que ir equipado con el mecanismo que disminuya la ganancia del HPA cuando no se transmita señal. Este mecanismo contribuye también a economizar potencia para el funcionamiento de la estación HAPS en el suelo.

11 Emisiones fuera de banda del enlace ascendente HAPS en la banda de 31 GHz

Una estación HAPS en el suelo que utilice la banda 31-31,3 GHz en el enlace ascendente ha de explotarse de forma que se evite causar interferencia a los servicios científicos con atribuciones en la banda adyacente de 31,3-31,8 GHz, procedente de las emisiones fuera de banda. La emisión fuera de banda de un transmisor de estación HAPS en el suelo depende de las características de corte del filtro de FI paso banda en la frecuencia próxima al extremo de la banda de la señal HAPS y del nivel de ruido de salida del módulo transmisor de RF (incluyendo el HPA) a una frecuencia separada del extremo de la banda de la señal HAPS. La Fig. 8 muestra una configuración típica de transmisor utilizado en la estación HAPS en el suelo.

FIGURA 8

Configuración típica de un transmisor de estación HAPS en el suelo



11.1 Características de corte del filtro de FI paso bajo

La potencia de la emisión fuera de banda a la entrada del módulo de RF debe diseñarse con el mismo nivel que el del ruido térmico, utilizando filtros de FI de banda de paso.

Las Figs. 9-11 muestran un ejemplo de filtrado FI para una señal de modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (MDP-4). La Fig. 9 muestra el espectro de potencia de una señal MDP-4 original con una velocidad binaria de 20 Mbit/s. La Fig. 10 muestra el espectro de la señal MDP-4 tras el filtrado con caída en coseno exponencial (factor de caída = 0,5). La Fig. 11 muestra un ejemplo de características de corte de un filtro paso banda. Este filtro paso banda es un filtro de Chebyshev de orden 6 y anchura de banda (-3 dB) de 20,2 MHz en el centro de la FI (1,8 GHz). La Fig. 12 muestra el espectro de la señal MDP-4 después del filtrado paso banda. Tal como se muestra en la Fig. 12, la emisión fuera de banda se atenúa por debajo de -143,83 dB(W/MHz), que es el nivel del ruido térmico a la temperatura de 300 K, en la región de frecuencias separada más de 20,1 MHz de la frecuencia central (1,8 GHz).

$$B_G = \left| f_{pmt} \right| - \frac{B_{IF}}{2} \quad \text{MHz} \quad (3)$$

donde:

- f_{pmt} : frecuencia a la que la emisión fuera de banda se atenúa hasta el nivel admisible (con relación a la frecuencia central de la señal) (MHz)
- B_{IF} : anchura de banda del filtro de FI (-3 dB) (MHz).

El espectro típico de una señal transmisora en la FI de la estación HAPS en el suelo figura a continuación.

FIGURA 9
Espectro de potencia de la señal MDP-4 original antes del filtrado

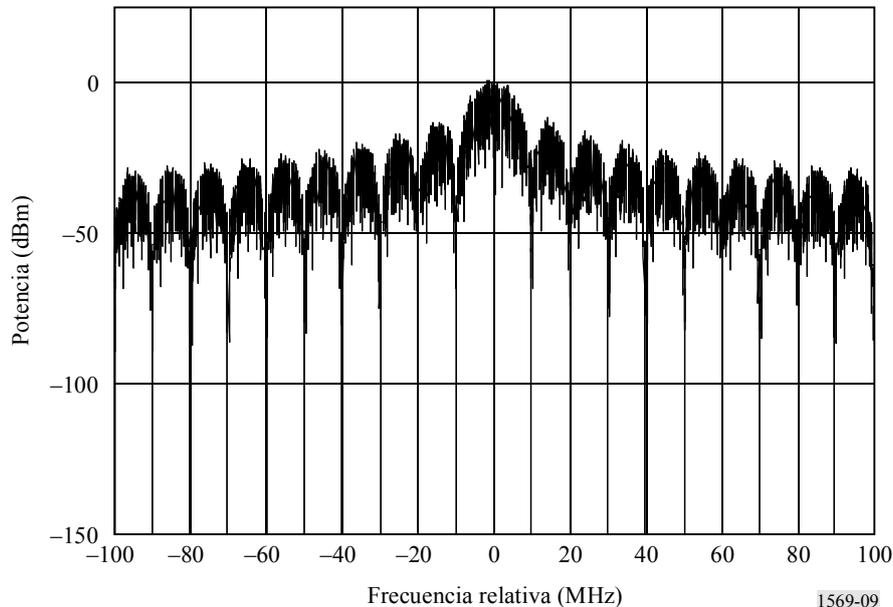


FIGURA 10

**Espectro de potencia de la señal MDP-4 tras el filtrado con
caída en coseno exponencial
(factor de caída = 0,5)**

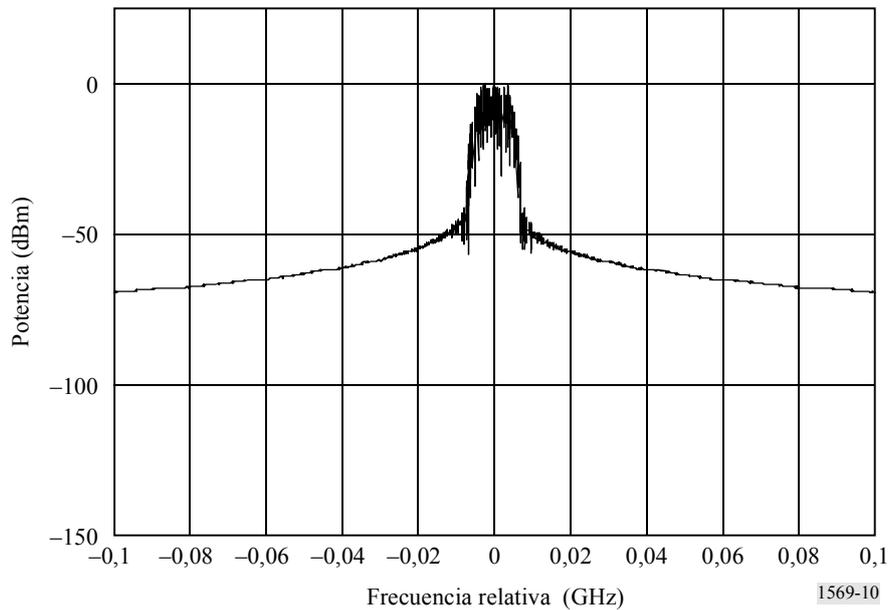
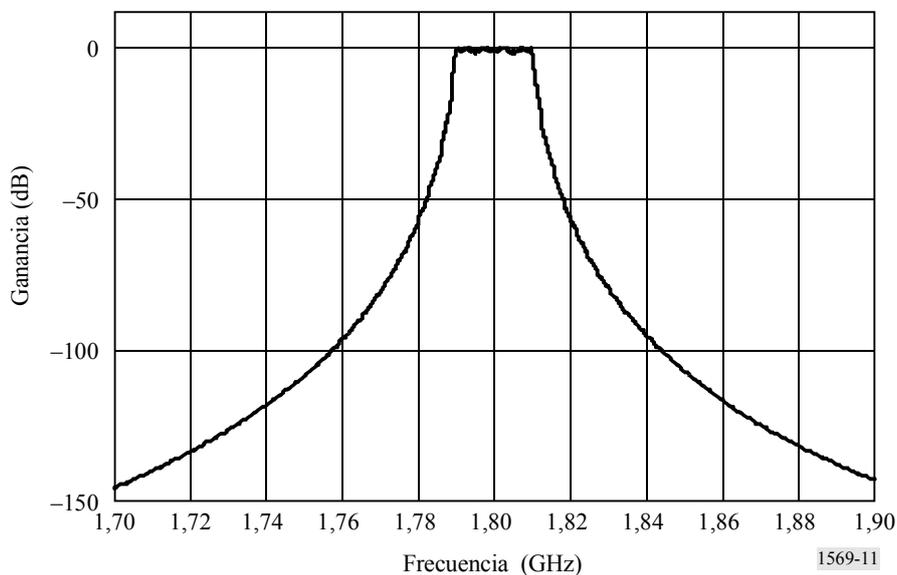


FIGURA 11

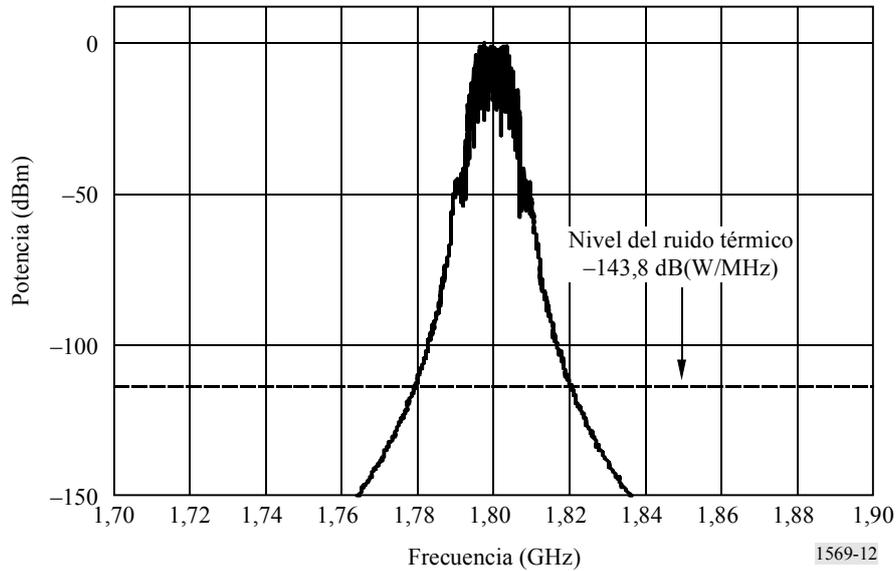
**Ejemplo de característica de corte de un filtro paso banda de
tipo Chebyshev ($n = 6$)**



Suponiendo que la emisión fuera de banda a la salida de FI se atenúe hasta el nivel del ruido térmico para que la emisión fuera de banda en la salida de RF sea inferior al nivel admisible y los mezcladores y amplificadores lineales se utilicen de forma adecuada para el módulo de RF, el ejemplo de filtrado anterior da la banda de guarda necesaria de 10 MHz ($= 20,1-20,2/2$) entre los 31,29 GHz y los 31,3 GHz. La banda de guarda requerida puede aumentar cuando se utilicen dispositivos de RF no lineales. También puede depender de la anchura de banda de la señal de transmisión que está asignada en las proximidades de 31,3 GHz.

FIGURA 12

Espectro de potencia de la señal MDP-4 después del filtrado paso banda de tipo Chebyshev ($n = 6$) a la salida de FI (potencia de salida $-29,82$ dBW en una anchura de banda de $20,2$ MHz)



11.2 Potencia de ruido a la salida del módulo de transmisión de RF

La potencia de emisión fuera de banda del módulo de transmisión de RF (transmisor) en 30 GHz depende principalmente de la ganancia del HPA, si el nivel de ruido fuera de banda a la entrada de FI es igual al nivel del ruido térmico.

El Cuadro 4 muestra un diagrama de niveles típico del módulo RF de la estación HAPS en el suelo. Este módulo contiene un mezclador con conversión elevadora de FI, (1,8 GHz) a la RF (31 GHz) y un HPA con 42 dB de ganancia (factor de ruido = 6 dB) como máximo. La potencia máxima de la señal de salida en la banda del módulo es de $-10,3$ dBW, lo que da la potencia de portadora requerida en condiciones de lluvia (véase también el balance del enlace típico indicado en el Apéndice 1). El ATPC se logra mediante una ganancia variable en el amplificador de potencia que incorpora un atenuador variable.

La potencia de la emisión fuera de banda del módulo de RF se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$P_{ob-out} = P_{ob-in} + G_{HPA} + NF_{HPA} - L_{LPF} \quad \text{dB(W/MHz)} \quad (4)$$

donde:

- P_{ob-out} : potencia de la emisión fuera de banda procedente del módulo de RF (dB(W/MHz))
- P_{ob-in} : potencia fuera de banda a la entrada del módulo de RF (dB(W/MHz))
- G_{HPA} : ganancia del HPA (dB)
- NF_{HPA} : factor de ruido del HPA (dB)
- L_{LPF} : atenuación en el filtro paso bajo situado a la salida del HPA (dB).

En el Cuadro 4, se supone que la potencia de entrada fuera de banda P_{ob-in} ($= -143,83$ dB(W/MHz)) es igual a la potencia del ruido térmico a la temperatura de 300 K. Como resultado del cálculo, es factible lograr una potencia de emisión fuera de banda de $-99,85$ dB(W/MHz) a la salida del módulo, en condiciones de lluvia. El ATPC reduce aún más la emisión fuera de banda mediante la disminución de la ganancia del HPA en condiciones de cielo despejado. En el diagrama de niveles se supone un ATPC en una gama de 6 dB (típico). Así pues, la emisión fuera de banda disminuye hasta $-105,85$ dB(W/MHz) en condiciones de cielo despejado. La linealidad de los dispositivos de RF (amplificadores y mezcladores) y el diseño del diagrama de niveles son importantes para obtener una potencia reducida de la emisión fuera de banda. La ganancia del HPA no debe ser demasiado elevada y se requiere un factor de ruido reducido.

CUADRO 4

Diagrama típico de los niveles de diseño de un módulo de transmisión de RF en la banda de 30 GHz

	Entrada	Filtro paso bajo, etc.	Mezclador, etc.	HPA	Filtro paso bajo, etc.	Salida
Ganancia (dB)		-1,2	-17,25	42 (36) ⁽¹⁾	-4,02	
Factor de ruido (dB)		1,2	17,25	6	4,02	
Potencia de la señal (dBW)	-29,83	-31,03	-48,28	-6,28 (-12,28) ⁽¹⁾	-10,3 (-16,3) ⁽¹⁾	-10,3 (-16,3) ⁽¹⁾
Ruido fuera de la banda (dB(W/MHz))	-143,83	-143,83	-143,83	-95,83 (-101,83) ⁽¹⁾	-99,85 (-105,85) ⁽¹⁾	-99,85 (-105,85) ⁽¹⁾
Frecuencia central (GHz)	1,8	1,8	31,28	31,28	31,28	31,28

⁽¹⁾ Valores de diseño en condiciones de cielo despejado.

12 Resumen

El servicio fijo que utiliza las HAPS en las bandas de 31-31,3 GHz para el enlace ascendente y de 27,5-28,35 GHz para el descendente, puede tener típicamente las características técnicas y operacionales siguientes:

- la altitud de la HAPS debe estar comprendida entre 20 y 25 km;
- el valor del ángulo mínimo de funcionamiento puede ser superior a 20°, pero también puede ser factible el funcionamiento con un ángulo de elevación inferior en ciertas condiciones operacionales;
- la antena embarcada forma múltiples haces puntuales con un factor de reutilización de frecuencias igual o superior a cuatro a lo largo de sus huellas y puede diseñarse para que se reduzca la interferencia en trayectos con ángulo de elevación reducido;
- el material de la carcasa de la nave aérea tiene un efecto de apantallamiento en la radiación posterior;
- la estación HAPS en el suelo pueden llevar un mecanismo ATPC que reduzca la interferencia causada a otros servicios que funcionen en la misma banda o en una banda adyacente y que mejore la disponibilidad del enlace sin aumentar la interferencia causada a otros servicios;

- la disponibilidad del enlace puede ser del 99,4% o mayor para aplicaciones de redes de paquetes en la zona climática M;
- el valor de diseño de la relación I/N para el sistema HAPS es de 10%;
- el número de señales transmisoras simultáneas tiene un límite superior determinado por la anchura de banda total que se permite utilizar y la anchura de banda de cada señal;
- la emisión fuera de banda en la banda 31,3-31,8 GHz procedente del transmisor de enlace ascendente puede ser inferior a -105 dB(W/MHz) en condiciones de cielo despejado, e inferior a -100 dB(W/MHz) en condiciones de lluvia, y estos valores dependen de la selección de los dispositivos de FI y de RF y del diseño del diagrama de niveles en el transmisor de enlace descendente; y
- puede requerirse una banda de guarda de 31,26-31,3 GHz en el enlace ascendente HAPS, suponiendo mezcladores y amplificadores lineales en el transmisor de RF de la estación HAPS en el suelo, pero dicha banda puede aumentar con dispositivos de RF no lineales y depende de la anchura de banda de la señal de transmisión que se asigne en las proximidades de 31,3 GHz.

Las características técnicas y operacionales del HAPS presentado en este Anexo constituyen un ejemplo típico para los estudios futuros de compartición y dan directrices para el desarrollo de las HAPS que utilizan la banda 28/31 GHz.

Apéndice 1 al Anexo 1

Balances de enlace típicos para un sistema HAPS en la banda 28/31 GHz

CUADRO 5

Balance de enlace típico de sistema HAPS a la altitud de 20 km

a) Condiciones de cielo despejado

	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente
Ángulo de elevación (grados)	20		90	
Frecuencia (GHz)	31,28	28	31,28	28
Anchura de banda (MHz)	20	20	20	20
Antena transmisora:				
– potencia de salida (dBW)	–16,3	–14,5	–16,3	–15,2
– pérdidas del alimentador (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– ganancia (dBi)	35	29,5	35	16,5
– p.i.r.e. (dBW)	18,2	14,5	18,2	0,7
– p.i.r.e. (por MHz) (dB(W/MHz))	5,2	1,5	5,2	–12,3
Longitud del trayecto (km)	58,5	58,5	20	20
Pérdidas del trayecto en el espacio libre (dB)	157,7	156,7	148,4	147,4
Atenuación debida a la lluvia (dB)	0	0	0	0
Disponibilidad en la zona M (%)	100	100	100	100
Atenuación de los gases atmosféricos (dB)	0,4	0,4	0	0
dfp (dB(W/m ² · MHz))	–	–105,2	–	–109,3
Antena receptora:				
– ganancia (dBi)	29,5	35	16,5	35
– pérdidas del alimentador (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– potencia recibida (dBW)	–110,9	–108,1	–114,2	–112,2
– temperatura de ruido (K)	700	500	700	500
– temperatura de ruido (dB(W/Hz))	–200,2	–201,6	–200,2	–201,6
– objetivo de diseño de potencia de interferencia (dB(W/MHz)) (I/N = 10%)	–150,2	–151,6	–150,2	–151,6
– pérdidas técnicas del receptor (dB)	2,5	2,5	2,5	2,5
C/N ₀ disponible (dB(Hz))	86,3	90,6	83	86,5
Velocidad de datos de usuario (Mbit/s)	13,3	13,3	13,3	13,3
Velocidad de datos de usuario (dB(Hz))	71,2	71,2	71,2	71,2
E _b /N ₀ requerida (dB) (MDP-4, BER = 1 × 10 ^{–6})	10,5	10,5	10,5	10,5
Ganancia de codificación (dB) (Codificación de Viterbi, K = 7, r = 2/3)	5	5	5	5
E _b /N ₀ necesaria (dB)	5,5	5,5	5,5	5,5
C/N ₀ necesaria (dB(Hz))	76,7	76,7	76,7	76,7
Margen del enlace (dB)	9,6	13,9	6,3	9,8

CUADRO 5 (Fin)

b) Condiciones de lluvia (se utiliza el ATPC en el enlace ascendente)

	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente
Ángulo de elevación (grados)	20		90	
Frecuencia (GHz)	31,28	28	31,28	28
Anchura de banda (MHz)	20	20	20	20
Antena transmisora:				
– potencia de salida (dBW)	-10,3	-14,5	-10,3	-15,2
– pérdidas del alimentador (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– ganancia (dBi)	35	29,5	35	16,5
– p.i.r.e. (dBW)	24,2	14,5	24,2	0,7
– p.i.r.e. (por MHz) (dB(W/MHz))	11,2	1,5	11,2	-12,3
Longitud del trayecto (km)	58,5	58,5	20	20
Pérdidas del trayecto en el espacio libre (dB)	157,7	156,7	148,4	147,4
Atenuación debida a la lluvia (dB)	12,2	10,1	8,05	6,43
Disponibilidad en la zona M (%)	99,4	99,4	99,4	99,4
Atenuación de los gases atmosféricos (dB)	0,4	0,4	0	0
dfp (dB(W/m ² · MHz))	–	-105,2	–	-109,3
Antena receptora:				
– ganancia (dBi)	29,5	35	16,5	35
– pérdidas del alimentador (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– potencia recibida (dBW)	-117,1	-118,2	-116,3	-118,6
– temperatura de ruido (K)	700	500	700	500
– temperatura de ruido (dB(W/Hz))	-200,2	-201,6	-200,2	-201,6
– objetivo de diseño de potencia de interferencia (dB(W/MHz)) (I/N = 10%)	-150,2	-151,6	-150,2	-151,6
– pérdidas técnicas del receptor (dB)	2,5	2,5	2,5	2,5
C/N ₀ disponible (dB(Hz))	80,1	80,5	80,9	80,1
Velocidad de datos de usuario (Mbit/s)	13,3	13,3	13,3	13,3
Velocidad de datos de usuario (dB(Hz))	71,2	71,2	71,2	71,2
E _b /N ₀ requerida (dB) (MDP-4, BER = 1 × 10 ⁻⁶)	10,5	10,5	10,5	10,5
Ganancia de codificación (dB) (Codificación de Viterbi, K = 7, r = 2/3)	5	5	5	5
E _b /N ₀ necesaria (dB)	5,5	5,5	5,5	5,5
C/N ₀ necesaria (dB(Hz))	76,7	76,7	76,7	76,7
Margen del enlace (dB)	3,4	3,8	4,2	3,4

BER: proporción de bits erróneos

CUADRO 6

Balance de enlace típico de sistema HAPS a la altitud de 25 km

a) Condiciones de cielo despejado

	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente
Ángulo de elevación (grados)	20		90	
Frecuencia (GHz)	31,28	28	31,28	28
Anchura de banda (MHz)	20	20	20	20
Antena transmisora:				
– potencia de salida (dBW)	-16,3	-14,5	-16,3	-15,2
– pérdidas del alimentador (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– ganancia (dBi)	35	29,5	35	16,5
– p.i.r.e. (dBW)	18,2	14,5	18,2	0,7
– p.i.r.e. (por MHz) (dB(W/MHz))	5,2	1,5	5,2	-12,3
Longitud del trayecto (km)	73,1	73,1	25	25
Pérdidas del trayecto en el espacio libre (dB)	159,6	158,7	150,3	149,3
Atenuación debida a la lluvia (dB)	0	0	0	0
Disponibilidad en la zona M (%)	100	100	100	100
Atenuación de los gases atmosféricos (dB)	0,4	0,4	0	0
dfp (dB(W/m ² · MHz))	–	-107,2	–	-111,3
Antena receptora:				
– ganancia (dBi)	29,5	35	16,5	35
– pérdidas del alimentador (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– potencia recibida (dBW)	-112,8	-110,1	-116,1	-114,1
– temperatura de ruido (K)	700	500	700	500
– temperatura de ruido (B(W/Hz))	-200,2	-201,6	-200,2	-201,6
– objetivo de diseño de potencia de interferencia (dB(W/MHz)) (I/N = 10%)	-150,2	-151,6	-150,2	-151,6
– pérdidas técnicas del receptor (dB)	2,5	2,5	2,5	2,5
C/N ₀ disponible (dB(Hz))	84,4	88,6	81,1	84,6
Velocidad de datos de usuario (Mbit/s)	13,3	13,3	13,3	13,3
Velocidad de datos de usuario (dB(Hz))	71,2	71,2	71,2	71,2
E _b /N ₀ requerida (dB) (MDP-4, BER = 1 × 10 ⁻⁶)	10,5	10,5	10,5	10,5
Ganancia de codificación (dB) (Codificación de Viterbi, K = 7, r = 2/3)	5	5	5	5
E _b /N ₀ necesaria (dB)	5,5	5,5	5,5	5,5
C/N ₀ necesaria (dB(Hz))	76,7	76,7	76,7	76,7
Margen del enlace (dB)	7,7	11,9	4,4	7,9

CUADRO 6 (Fin)

b) Condiciones de lluvia (se utiliza el ATPC en el enlace ascendente)

	Enlace ascendente	Enlace descendente	Enlace ascendente	Enlace descendente
Ángulo de elevación (grados)	20		90	
Frecuencia (GHz)	31,28	28	31,28	28
Anchura de banda (MHz)	20	20	20	20
Antena transmisora:				
– potencia de salida (dBW)	-10,3	-14,5	-10,3	-15,2
– pérdidas del alimentador (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– ganancia (dBi)	35	29,5	35	16,5
– p.i.r.e. (dBW)	24,2	14,5	24,2	0,7
– p.i.r.e. (por MHz) (dB(W/MHz))	11,2	1,5	11,2	-12,3
Longitud del trayecto (km)	73,1	73,1	25	25
Pérdidas del trayecto en el espacio libre (dB)	159,6	158,7	150,3	149,3
Atenuación debida a la lluvia (dB)	12,2	10,1	8,1	6,4
Disponibilidad en la zona M (%)	99,4	99,4	99,4	99,4
Atenuación de los gases atmosféricos (dB)	0,4	0,4	0	0
dfp (dB(W/m ² · MHz))	–	-107,2	–	-111,3
Antena receptora:				
– ganancia (dBi)	29,5	35	16,5	35
– pérdidas del alimentador (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
– potencia recibida (dBW)	-119	120,2	-118,2	-120,5
– temperatura de ruido (K)	700	500	700	500
– temperatura de ruido (dB(W/Hz))	-200,2	-201,6	-200,2	-201,6
– objetivo de diseño de potencia de interferencia dB(W/MHz) ($I/N = 10\%$)	-150,2	-151,6	-150,2	-151,6
– pérdidas técnicas del receptor (dB)	2,5	2,5	2,5	2,5
C/N_0 disponible (dB(Hz))	78,2	78,5	79	78,2
Velocidad de datos de usuario (Mbit/s)	13,3	13,3	13,3	13,3
Velocidad de datos de usuario (dB(Hz))	71,2	71,2	71,2	71,2
E_b/N_0 requerida (dB) (MDP-4, BER = 1×10^{-6})	10,5	10,5	10,5	10,5
Ganancia de codificación (dB) (Codificación de Viterbi, $K = 7$, $r = 2/3$)	5	5	5	5
E_b/N_0 necesaria (dB)	5,5	5,5	5,5	5,5
C/N_0 necesaria (dB(Hz))	76,7	76,7	76,7	76,7
Margen del enlace (dB)	1,5	1,8	2,3	1,5

Apéndice 2 al Anexo 1

Resultados medidos de emisiones no deseadas procedentes del transmisor en la banda de 31 GHz

1 Introducción

Este Apéndice expone la situación del desarrollo de un módulo de RF con funcionamiento en la banda de 31 GHz que debe utilizarse para la estación HAPS en el suelo y que presenta una característica de corte agudo del filtro pasobanda. Los datos medidos muestran que pueden lograrse las características supuestas del filtro y que los estudios del § 11 del Anexo 1 pueden ser, en general, realistas. Como el módulo de RF se compone de dispositivos existentes a nivel comercial, se espera que dicho módulo RF pueda producirse con un costo razonable.

2 Configuración del transmisor

El Cuadro 7 muestra la configuración del módulo de RF desarrollado y el diagrama de los niveles correspondientes en cada etapa. Se utilizan tres tipos de amplificador de circuito integrado de microondas monolítico (MMIC, *monolithic microwave integrated circuit*) para obtener la potencia de salida de la señal en la banda (aproximadamente -10 dBW) que satisfaga la especificación del balance del enlace de los Cuadros 5 y 6.

3 Resultados medidos

3.1 Sistema de medición

La Fig. 13 muestra una configuración para medir los niveles de emisión no deseada del módulo desarrollado de transmisor de RF. En esta medición, el atenuador situado entre el analizador de espectro y el módulo RF puede ajustarse en pasos de 2 dB (0 dB a 6 dB) para simular el ATPC que debe instalarse en la estación HAPS en el suelo.

La Fig. 14 muestra las características de frecuencia de la potencia de ruido térmico del propio analizador de espectro en la gama de frecuencias alrededor de 31,15 GHz (sin señal de entrada). Como se ve en esta Figura, el nivel de la potencia de ruido del propio analizador de espectro es de $-80,3$ dBm/MHz ($= -110,3$ dB(W/MHz)) en la gama de frecuencias por debajo de 31,15 GHz y de $-74,5$ dBm/MHz ($= -104,5$ dB(W/MHz) = $3,548 \times 10^{-11}$ W/MHz) en la gama de frecuencias por encima de 31,15 GHz.

CUADRO 7

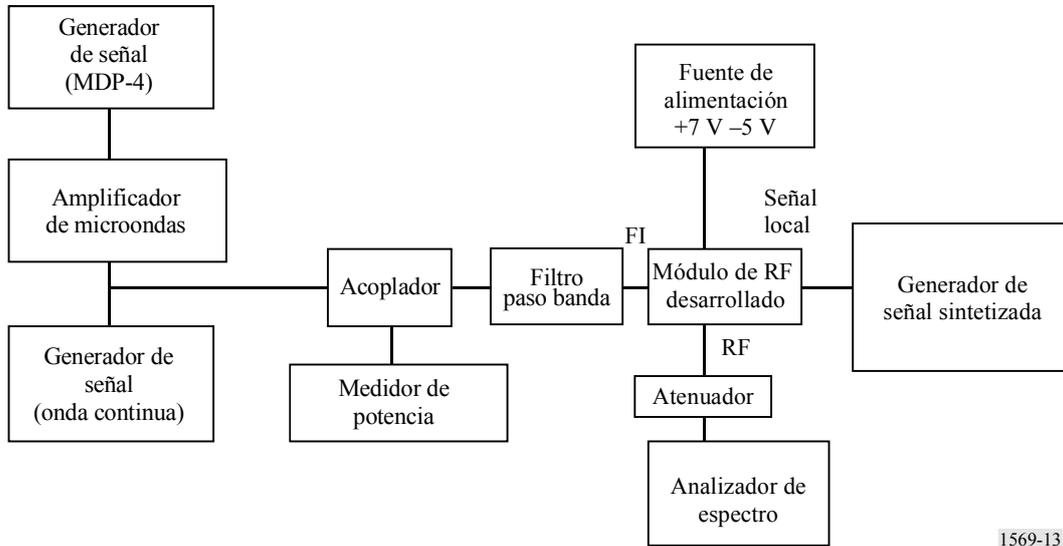
Diagrama de niveles y configuración del módulo transmisor de RF en la banda de 30 GHz

	Entrada	Conector	Filtro paso bajo	Atenuador	Diodo mezclador	Atenuador	Filtro paso banda	Atenuador	Línea	MMIC	Línea/atenuador	MMIC	Línea/atenuador	MMIC	Línea	Atenuador	FLT	Conector
P1dB (dBW)					-36					-18,5		-9		-2				
Ganancia (dB)		-0,11	0	-3	-11	0	-4	-0,5	-0,15	20	-4,95	16	-2,95	13	-0,3	0	-4	-0,3
Factor de ruido (dB)		0,11	0	3	11	0	4	0,5	0,15	4,2	4,95	10	2,95	13	0,3	0	4	0,3
Potencia de la señal (dBW)	-27,80	-27,91	-46,56	-30,91	-41,91	-41,91	-45,91	-46,41	-46,56	-26,56	-31,51	-15,51	-18,46	-5,46	-5,76	-5,76	-9,76	-10,06
Ruido fuera de banda (dB(W/MHz))	-143,83	-143,83	-143,83	-143,83	-143,83	-143,83	-143,83	-143,83	-143,83	-119,63	-124,55	-108,11	-111,06	-98,01	-98,31	-98,31	-102,31	-102,61
Frecuencia central (GHz)	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	31,15	31,15	31,15	31,15	31,15	31,15	31,15	31,15	31,15	31,15	31,15	31,15	31,15

FLT: Transmisor de enlace de conexión.

FIGURA 13

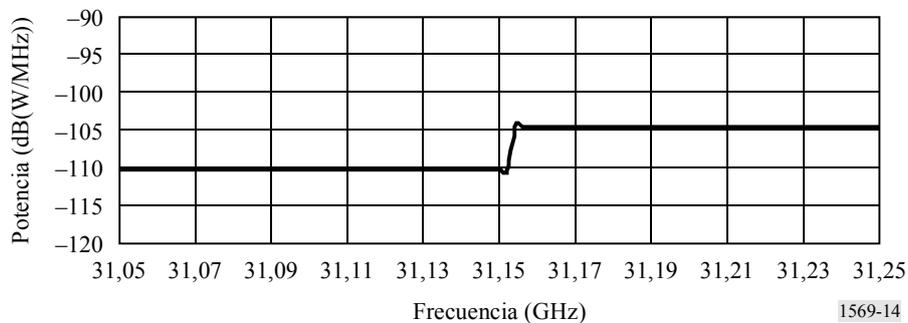
Configuración para medir el nivel de las emisiones no deseadas del módulo de RF desarrollado



1569-13

FIGURA 14

Características de frecuencia de la potencia de ruido térmico del analizador de espectro



1569-14

3.2 Resultados medidos de la emisión no deseada

La Fig. 15 muestra el espectro medido de la señal MDP-4 en banda de FI con anchura de banda de 20 MHz después del filtrado con caída en coseno (factor de caída = 0,5) y filtrado paso bajo de tipo Chebyshev. En esta Figura, la frecuencia central (el 0 en el eje horizontal) corresponde a 1,8 GHz. La señal se aplica a la entrada del módulo de RF, con un nivel de $-27,8$ dBW. Las Figs. 15 y 16 muestran el espectro de la señal de salida del módulo transmisor de RF sin ATPC y con ATPC (aumentos de potencia en pasos de 6 dB), respectivamente. En estas Figuras, la frecuencia central (el 0 del eje horizontal) corresponde a 31,15 GHz y las curvas muestran los resultados tras sustraer el nivel de ruido del analizador de espectro obtenido en la Fig. 14 del espectro medido. De la Fig. 17 puede verse que el nivel de la emisión no deseada es menor de -76 dBm/MHz ($= -106$ dB(W/MHz)) en la región de frecuencias separada más de 40 MHz de la frecuencia central, lo que quiere decir que la anchura de banda requerida para la señal modulada con 20 MHz es aproximadamente de 40 MHz a partir de la frecuencia central. Para el caso en que se

aplique el ATPC (en incrementos de potencia de 6 dB), el nivel de la emisión no deseada puede reducirse para que sea inferior a -70 dBm/MHz ($= -100$ dB(W/MHz)) en la región de frecuencias separada 40 MHz de la frecuencia central. La Fig. 18 muestra las características entrada-salida del módulo de RF. Se ve de esta Figura que el nivel de la señal de salida de 20 dBm que se requiere para el enlace ascendente de la HAPS se logra en la región lineal del módulo de RF.

FIGURA 15
Espectro medido de la señal MDP-4 en la banda de FI tras el filtrado paso banda

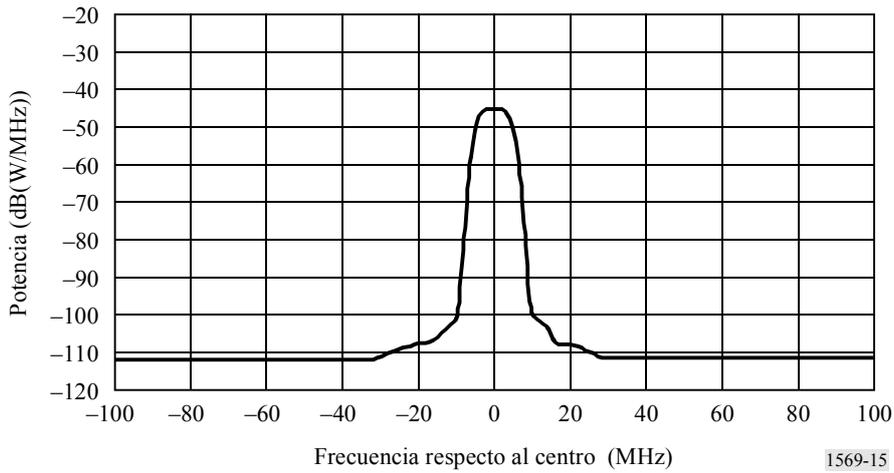


FIGURA 16
Espectro medido de la señal de salida del módulo de RF en la banda de 31 GHz

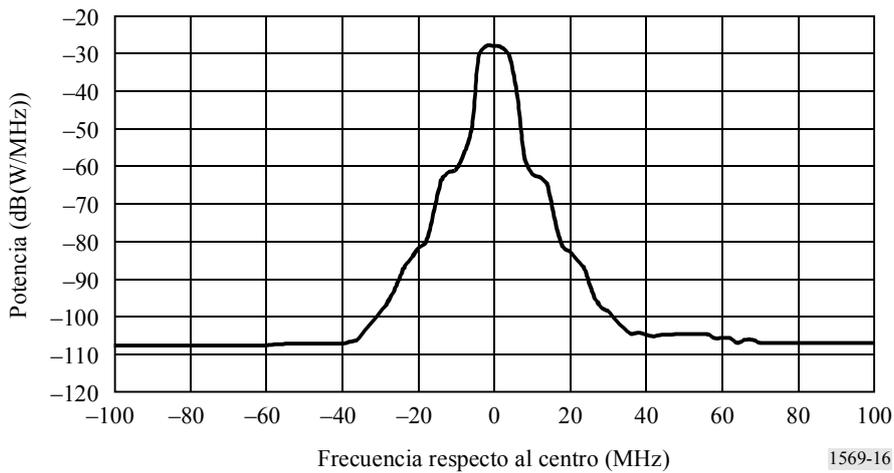


FIGURA 17

Espectro medido de la señal de salida del módulo de RF en la banda de 31 GHz al utilizar el ATPC con aumentos de potencia de 6 dB

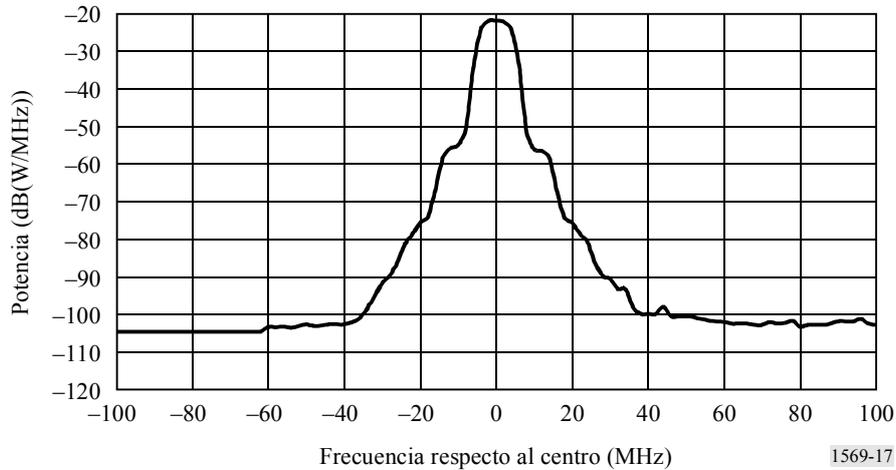
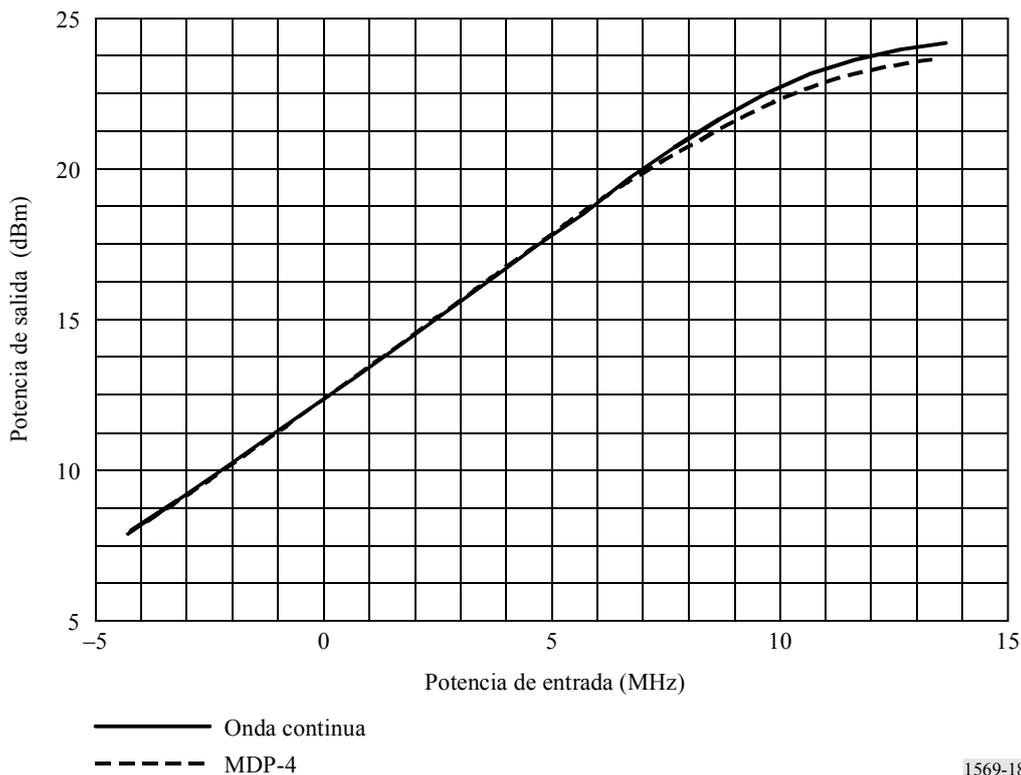


FIGURA 18

Características de entrada-salida del módulo de RF



4 Resumen

Este Apéndice ha mostrado los resultados medidos de la emisión no deseada procedente del módulo transmisor de RF en la banda de 31 GHz, desarrollado para la estación HAPS en el suelo. Se ha visto que puede lograrse una emisión no deseada de -106 dB(W/MHz) en condiciones de cielo despejado y de -100 dB(W/MHz) en condiciones de lluvia, para la señal de anchura de banda de 20 MHz con la banda de guarda de unos 40 MHz a partir de la frecuencia central, mediante un ajuste adecuado del diagrama de niveles, empleando dispositivos de utilización práctica en el módulo de RF. Si la anchura de banda de la señal es menor, la banda de guarda a partir de la frecuencia central para cumplir el nivel requerido de la emisión no deseada será inferior a 40 MHz.

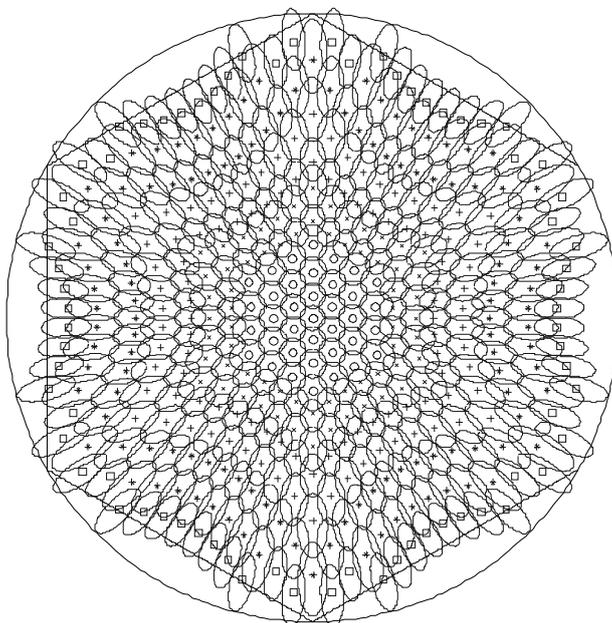
Apéndice 3 al Anexo 1

Configuración celular alternativa

Para los estudios del UIT-R se ha utilizado una configuración celular como la de la Fig. 3 del Anexo 1 con círculos de igual tamaño iluminados por haces elípticos. Este Apéndice ofrece una configuración celular alternativa iluminada por haces circulares. La Fig. 19 muestra un ejemplo de la configuración celular alternativa iluminada por 397 haces circulares con cinco ganancias de antena distintas. En esta Figura, las células que se marcan con los mismos caracteres están iluminadas por los haces circulares con la misma ganancia de antena. También se representan en la Fig. 19 las ganancias asignadas a cada grupo. La ganancia de antena para iluminar la zona interior es de 22,4 dBi y la ganancia para iluminar la zona exterior es de 31,7 dBi. La potencia de transmisión para cada haz viene determinada de forma que la dfp en el suelo pueda ser igual entre todos los haces. La Fig. 20 muestra la p.i.r.e. combinada de 397 haces para diversas direcciones acimutales. En este cálculo, el diagrama del haz de la antena para cada haz circular se calcula mediante la Recomendación UIT-R F.1245. Se observa de esta Figura que la interferencia procedente del enlace descendente HAPS en el otro sistema no aumentará en comparación con la de la configuración celular de la Fig. 3 del Anexo 1.

FIGURA 19

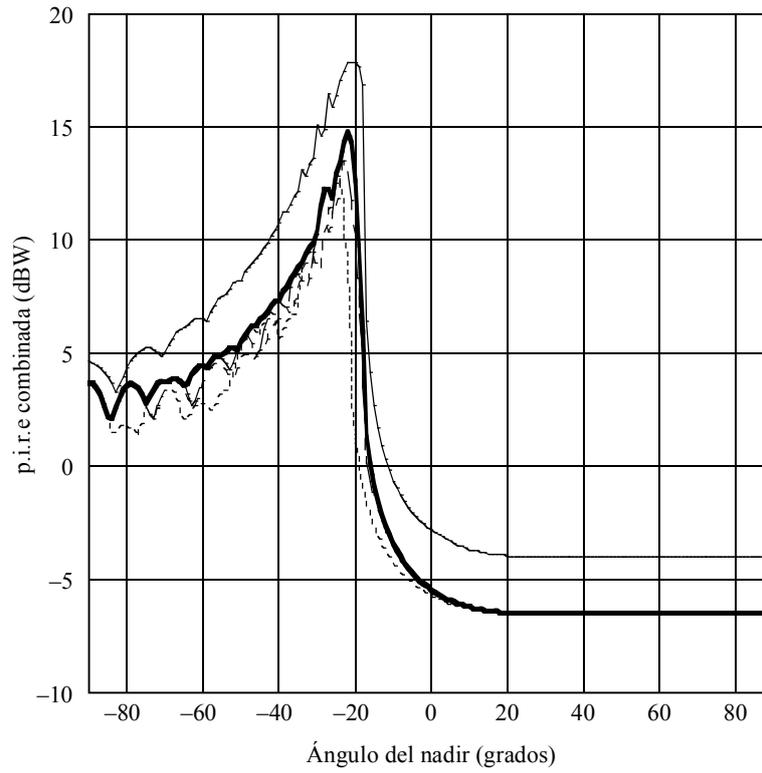
Configuración celular alternativa de iluminación por haces
circulares con cinco ganancias de antena distintas



- 22,4 dBi
- × 25,1 dBi
- + 27,1 dBi
- * 29,1 dBi
- 31,7 dBi

FIGURA 20

p.i.r.e combinada de 397 haces puntuales



- Modelo práctico (acimut = 30°)
- - - - Modelo práctico (acimut = 26°)
- · · · · Modelo práctico (acimut = 0°)
- Modelo práctico (valor más desfavorable)
- Modelo tradicional (valor más desfavorable)

1569-20