

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Recomendación UIT-R F.1500**

(05/2000)

**Características preferidas de los sistemas  
del servicio fijo que utilizan plataformas de  
gran altitud en las bandas 47,2-47,5 GHz  
y 47,9-48,2 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
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión sonora
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	<b>Servicio fijo</b>
<b>M</b>	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radio astronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	Gestión del espectro
<b>SNG</b>	Periodismo electrónico por satélite
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
<b>V</b>	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.1500\*, \*\*

**CARACTERÍSTICAS PREFERIDAS DE LOS SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO  
QUE UTILIZAN PLATAFORMAS DE GRAN ALTITUD EN LAS  
BANDAS 47,2-47,5 GHz Y 47,9-48,2 GHz**

(Cuestión UIT-R 212/9)

(2000)

**Cometido**

Esta Recomendación proporciona las características preferidas de los sistemas del servicio fijo que utilizan estaciones situadas en plataformas a gran altitud (HAPS). El Anexo 1 se ha elaborado para utilizarlo en el análisis de la reutilización de frecuencias y las posibilidades de compartición entre esos sistemas y otros sistemas en las bandas 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que se está desarrollando una nueva tecnología que utiliza estaciones repetidoras de telecomunicación situadas en puntos fijos en la estratosfera (véase la Nota 1);
- b) que los sistemas que utilizan una o más estaciones situadas en plataformas de gran altitud (HAPS) en un punto fijo de la estratosfera pueden contar con atributos convenientes para las comunicaciones digitales de banda ancha y gran velocidad, incluyendo las aplicaciones de vídeo interactivo y otras diversas, con un potencial significativo de reutilización de frecuencias;
- c) que dichos sistemas pueden ser capaces de dar cobertura a regiones metropolitanas con grandes ángulos de elevación y a las zonas rurales separadas o a países vecinos con ángulos de elevación reducidos;
- d) que los servicios digitales de banda ancha proporcionados por dichos sistemas en el servicio fijo se destinan a infraestructuras de información de comunicaciones generalizadas que propician la realización de la infraestructura mundial de la información;
- e) que los enlaces radioeléctricos entre repetidores situados en HAPS pueden establecer una red de telecomunicaciones de ámbito nacional o regional;
- f) que el espectro radioeléctrico por encima de 30 GHz está atribuido a diversos servicios radioeléctricos y que muchos sistemas distintos utilizan ya o prevén utilizar estas atribuciones;
- g) que hay una demanda creciente de acceso a estas atribuciones;
- h) que la atribución de las bandas 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz al SF está destinada a su utilización por los HAPS;
- j) que es necesario identificar las características preferidas de los sistemas del SF que utilizan los HAPS a fin de facilitar la coordinación entre las estaciones del servicio fijo situadas en HAPS que funcionan en las bandas 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz y otros servicios con atribución coprimaria en su territorio y en los territorios adyacentes,

*recomienda*

**1** que al analizar la reutilización de frecuencias y las posibilidades de compartición entre dichos sistemas y otros sistemas del servicio fijo en las bandas 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz se apliquen provisionalmente las características de los sistemas del servicio fijo que utilizan HAPS indicadas en el Anexo 1.

---

\* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 1 (Grupo de Trabajo (GT) 1A), 3 (GT 3K y 3M), 4 (GT 4A), 6 (GT 6E y 6S), 7 (GT 7D), 8 (GT 8A, 8D y 8F) de Radiocomunicaciones así como a la Comisión de Estudio 2 del Sector de Desarrollo de las Telecomunicaciones.

\*\* La Comisión de Estudio introdujo modificaciones redaccionales en esta Recomendación (7-8 de diciembre de 2009) de conformidad con la Resolución UIT-R 1.

## Características preferidas de los sistemas del servicio fijo que utilizan plataformas de gran altitud en las bandas 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz

### 1 Introducción

La Resolución 122 (CMR-97) pedía estudios urgentes sobre los criterios técnicos adecuados de compartición entre sistemas del servicio fijo que utilizan HAPS y los sistemas de los servicios fijo, fijo por satélite y móvil en las bandas 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz.

Aparte de dichos estudios, este Anexo presenta un conjunto de parámetros técnicos para aplicaciones en el servicio fijo de gran densidad que utilizan plataformas de gran altitud.

### 2 Sistema situado en plataforma de gran altitud

El sistema comprende una plataforma de gran altitud situada en un emplazamiento nominalmente fijo en la estratosfera, a una altura comprendida entre 21 y 25 km. La comunicación se establece entre la plataforma y los terminales de usuario en el suelo, en una disposición celular que permite una reutilización de frecuencias considerable. Los terminales de usuario se clasifican según su situación en una de las tres zonas siguientes: zona de cobertura urbana, zona de cobertura suburbana y zona de cobertura rural, respectivamente).

Además, las comunicaciones se establecen en las mismas bandas de frecuencia entre la plataforma y una serie de estaciones de cabecera situadas en el suelo, en las zonas de cobertura urbana o suburbana, que establecen la interconexión con la red fija de telecomunicación.

#### 2.1 Características de funcionamiento

La plataforma de gran altitud se alimenta con células solares eficaces y células de regeneración de combustible hidrógeno-oxígeno. Los componentes de la célula de combustible de regeneración y del subsistema electrolítico convierten el agua en combustible durante el día y dicho combustible se utiliza para generar la energía eléctrica que requiere el funcionamiento nocturno. El electrolito convierte el agua en gases hidrógeno y oxígeno para el funcionamiento nocturno de la célula de combustible. El sistema de propulsión consta de unas hélices de velocidad variable activadas por un motor eléctrico, aunque también pueden emplearse otros tipos de propulsión con características de funcionamiento similares. Las HAPS utilizan un sensor GPS diferencial para el mantenimiento mediante control en bucle cerrado de su emplazamiento espacial en un círculo de 400 m de radio y una variación vertical de  $\pm 700$  m de altitud.

La carga útil cuenta con un sistema giroscópico de 3 ejes. Dicha carga útil tiene su propio sistema de estabilización para compensar el movimiento de la plataforma y mantener un esquema de cobertura estable en el suelo. La carga útil aporta también su propio control térmico, estando refrigerada por un fluido presurizado.

La zona de cobertura total de la HAPS se divide en tres zonas que son las necesarias para garantizar un servicio de banda ancha coherente a los usuarios a lo largo de toda la huella en el suelo de la HAPS que tiene un diámetro de unos 1 000 km. Las zonas son:

- Zona de cobertura urbana: La zona de cobertura urbana se extiende entre 36 y 43 km desde un punto situado directamente bajo la plataforma. Los usuarios de estas zonas pueden utilizar módems de terminal de usuario portátil con una apertura de haz de unos  $11^\circ$ , o una ganancia de antena de 26 dBi y antenas de 10 cm  $\times$  10 cm. Las antenas de la plataforma deben tener una ganancia de 30 dBi (1W o potencia de RF por canal). Todos los usuarios de estas zonas tendrán un ángulo de elevación comprendido entre  $30^\circ$  y  $90^\circ$  desde el suelo hacia la plataforma HAPS. Los terminales de usuario requieren aproximadamente una potencia de RF de transmisión de 0,15W.
- Zona de cobertura suburbana: La zona de cobertura suburbana va desde la zona de cobertura urbana hasta 76,5/90,5 km, dependiendo de la altitud de funcionamiento. Los usuarios de la zona de cobertura suburbana utilizarán antenas direccionales de ganancia superior (41 dBi) con una potencia de transmisión de 0,2 W. Pueden también utilizarse las mismas antenas en las zonas de cobertura urbana para instalaciones fijas en azoteas. Las antenas de transmisión de la plataforma son las mismas que para las zona de cobertura urbana. Los ángulos de elevación oscilan entre  $15^\circ$  y  $30^\circ$ .
- Zona de cobertura rural: Los ángulos de elevación van de  $15^\circ$  a  $5^\circ$ . Esta zona se reserva para el acceso especializado de gran velocidad punto a punto y para coberturas de zona amplia en bandas de frecuencia inferiores, tales como las de 800 MHz a 5 GHz. Hay demasiada atenuación atmosférica y debida a la lluvia en 47/48 GHz.

CUADRO 1

Zonas de cobertura

Zona de cobertura	Ángulos de elevación (grados)	Alcance del suelo (km)	
		Plataforma a 21	Plataforma a 25
Urbana	90-30	0-36	0-43
Suburbana	30-15	36-76,5	43-90,5
Rural	15-5	76,5-203	90,5-234

Una carga útil típica de plataforma HAPS tendrá un sistema de antenas de ranura giroscópico con una inserción de unidad de polarización que asegure un aislamiento adecuado de transpolarización. El sistema de antenas proyectará un total de 700 haces en cada una de las zonas de cobertura urbana y de cobertura suburbana y una cobertura selectiva en la zona de cobertura rural con un total de hasta 700 haces. El esquema de células presentará un factor de reutilización de frecuencias de 7:1.

Para hacer máxima la eficacia espectral se utiliza un esquema de acceso múltiple por asignación dinámica que permite a los usuarios compartir eficazmente la anchura de banda, y a bordo hay una unidad de conmutación y multiplexadores de modo de transferencia asíncrono (ATM) para multiplexar estadísticamente el tráfico de usuario. En el enlace ascendente y en el descendente se utiliza la modulación MDP-4 y una codificación FEC concatenada de índice 0,6 (Reed-Solomon + codificación convolucional de índice 2/3 con limitación de longitud 9). Se utiliza también la codificación de entrelazado para reducir los errores de ráfaga. Dada la eficaz compartición de la anchura de banda y el reducido ciclo de trabajo en la mayoría de los tipos del tráfico de banda ancha, cabe esperar que la totalidad de los 110 560 usuarios logren una velocidad máxima de carga de 2048 Mbit/s y una velocidad de descarga de 11,24 Mbit/s con una atribución de frecuencia de sólo  $2 \times 100$  MHz. Suponiendo que en todo momento esté activa una media del 10% de la población total de abonados, una sola red HAPS (red de plataforma de gran altitud (HAPN)) puede servir para una población de abonados de cerca de un millón de usuarios con la atribución de  $2 \times 100$  MHz. Si la atribución de frecuencia se aumenta a  $2 \times 300$  MHz, cabe esperar que una sola HAPN sirva para más de cinco millones de abonados.

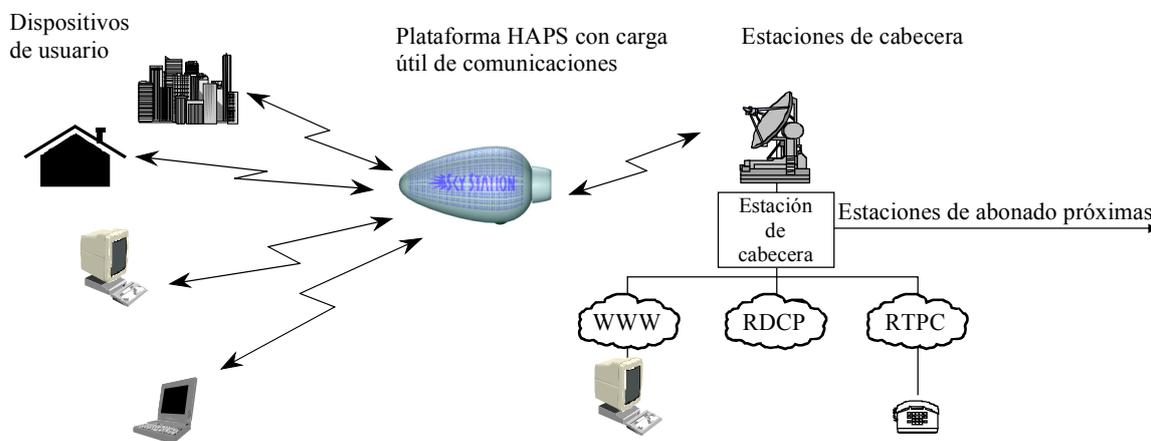
El sistema de base incluye también estaciones múltiples de cabecera en el suelo que utilizan el múltiplex por división en el tiempo (MDT) síncrono de gran velocidad por enlace para el tráfico que da la HAPN a la RTPC y a Internet. La velocidad de este enlace de conexión es de hasta 0,72 Gbit/s para una atribución de frecuencia de 300/300 MHz. Se utiliza la modulación MAQ-64 y una codificación FEC de índice 0,71 para optimizar la anchura de banda disponible. También pueden establecerse enlaces adicionales punto a punto de gran velocidad para clientes empresariales y suministradores de servicio.

2.2 Características del sistema de comunicaciones

Las HAPN tienen una configuración en estrella, dando servicio a la plataforma HAPS en el nodo principal. La carga útil proyecta múltiples haces puntuales en el suelo y da una cobertura ubicua en un círculo de unos 150 km de diámetro.

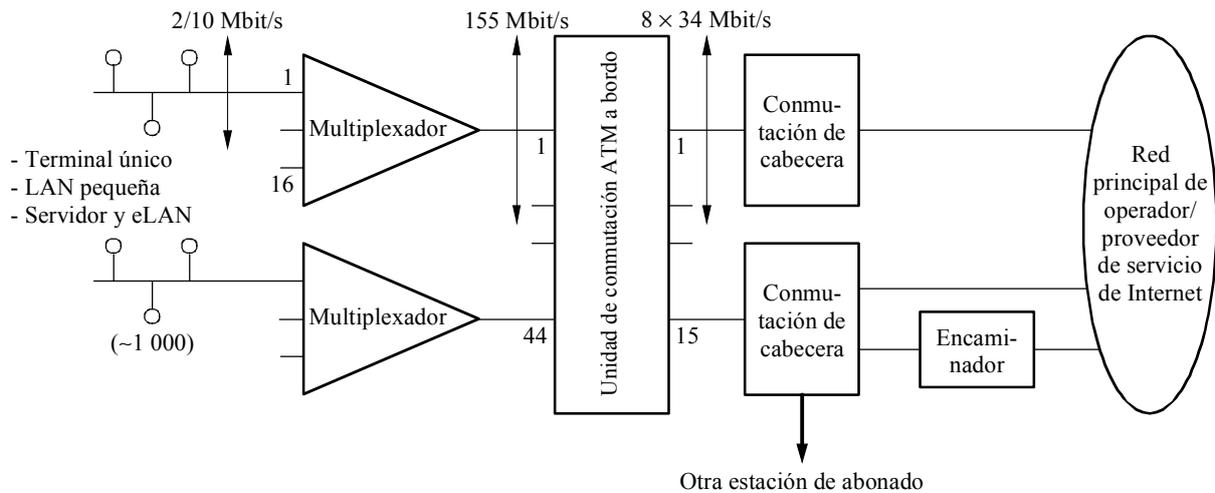
FIGURA 1

Configuración de la red



RDCP: Red de datos con conmutación de paquetes

FIGURA 2  
Red de extremo a extremo (atribución de 2 x 100 MHz, zona única)



• Dúplex de 11 Gbit/s redundante

1500-02

La mayoría de las estaciones de cabecera se diseñan como unidades no atendidas y autónomas, que funcionan por control a distancia desde el centro de control de las HAPS. Dicho centro de control de las HAPS consta de una estación de cabecera que da la comunicación con la carga útil y el resto del sistema, y cuatro entidades de operaciones y gestión. Los circuitos del centro de control de configuración se encargan del seguimiento, la telemetría y las instrucciones de la plataforma y la carga útil. Se parece mucho a un centro de operaciones de satélite con un funcionamiento de 24 h.

El centro de control de recursos de comunicaciones se encarga de todo el control en tiempo real de los recursos de la red. Ello incluye la autenticación de usuario, el control de la llamada, la gestión del recurso radioeléctrico, la gestión del tráfico y la recogida de datos de utilización a efectos de facturación y contabilidad.

El centro de control distante de la estación en tierra efectúa todas las tareas de gestión de la red que no van en tiempo real, incluyendo las de todas las estaciones de cabecera distantes. Es fundamentalmente el centro de operaciones de la red. Algunas funciones pueden incluso extenderse a las HAPS próximas.

El centro comercial regional se encarga del control comercial y financiero local, incluyendo la facturación a los abonados, la contabilidad del operador, los análisis de tendencias, etc. Un centro comercial regional puede ocuparse de un grupo de sistemas HAPS.

### 2.3 Ejemplo de plan de frecuencias

Un ejemplo de plan de canales para las HAPS con una atribución de espectro de 300 MHz + 300 MHz puede consistir en dividir el espectro de frecuencia de 300 MHz en cada sentido en siete bandas de frecuencia de 33 MHz cada una, con dos bandas de guarda de 33 MHz. Las siete bandas de frecuencia se disponen según un esquema de reutilización de frecuencias de 7 células para hacer máxima la eficacia espectral. Para los enlaces de abonado directos, cada banda de 33 MHz se divide a su vez en 3 canales de 11 MHz. Para los enlaces de abonado inversos, cada banda se divide en 15 canales de 2,2 MHz. Cada canal de enlace inverso vuelve a segmentarse en 32 intervalos de tiempo de 64 kbit/s, más un intervalo de guarda, un intervalo de control de acceso y un intervalo piloto. De forma similar, cada canal de enlace directo se divide en múltiples intervalos de 64 kbit/s más todos los intervalos de composición de trama. Cada periodo de trama es de 6 ms. Hay 700 células en cada una de las zonas de cobertura urbana, de cobertura suburbana y de cobertura rural. Hay hasta 20 estaciones de cabecera en cada una de las zonas de cobertura urbana y de cobertura suburbana. Cada estación de cabecera se sitúa en el centro de una célula para minimizar la interferencia co canal con las células adyacentes. Cada enlace de cabecera utiliza todo el espectro atribuido, excepto la banda utilizada por las células anfitrionas, y las bandas de guarda necesarias para reducir la interferencia del canal adyacente, a fin de maximizar la capacidad del enlace. Cada estación de cabecera utiliza en total 22 canales de 11 MHz, con un total de 242 MHz en cada sentido, lo que deja cuatro bandas de guarda de 11,75 MHz.

Los terminales de usuario son dispositivos portátiles que comunican directamente con la carga útil. Un terminal de usuario consta de una antena y una unidad de interfaz digital. Se prevén diversas unidades de interfaz digital, incluyendo tarjetas de computador personal y terminales de mesa multifunción. La conmutación de las comunicaciones entre usuarios se realiza directamente en la carga útil que contiene una gran unidad de conmutación ATM.

Con las estaciones de cabecera los usuarios pueden acceder a las actuales redes públicas tales como la RTPC y a Internet. El sistema se concibe de forma que las estaciones de cabecera puedan estar situadas básicamente en cualquier punto de la zona de cobertura, a fin de minimizar los requisitos de infraestructura en el suelo. Normalmente estarán situadas en una instalación central de operador o en un punto de presencia de proveedor de servicio de Internet. Pueden añadirse estaciones de cabecera en el suelo a medida que la operación lo exija.

En los sistemas de primera generación no habrá un enlace directo entre dos HAPN. Las comunicaciones entre las HAPN se efectuarán a través de estaciones de cabecera. La capacidad de la estación de cabecera está comprendida entre 4 Gbit/s y 12 Gbit/s, con posibilidad de tramitar el 60% de todo el tráfico de usuario. La capacidad total de la carga útil es por tanto de 11-33 Gbit/s.

El sistema HAPS se diseña para dar canales digitales dúplex de velocidad variable a hogares y a las denominadas pequeñas oficinas de profesión liberal y teletrabajo. Los servicios previstos son los de aplicaciones multimedia tales como videoconferencia y videoteléfono, además del acceso a Internet de gran velocidad. Las velocidades binarias elevadas, una gran cobertura metropolitana y el hecho de que los terminales de usuario no dependan de una infraestructura en el suelo, hace también de las HAPS una plataforma ideal para un intercambio de trabajo en el domicilio propio o en el del cliente. Así pues, el sistema se concibe para dar servicio a un gran número de redes de área local (LAN) virtuales, de forma que los usuarios puedan acceder a sus redes empresariales como si estuvieran en la oficina.

En el enlace descendente, cada terminal de usuario recibirá constantemente, pero sólo mantendrá las células a las que tiene derecho. De esta manera se puede aprovechar al máximo la ventaja de la multiplexación estadística de la conmutación ATM.

Una estación de cabecera utiliza las mismas frecuencias excepto para el segmento que emplea la célula en la que está situada. De esta manera, cada cabecera utiliza un tramo importante de la anchura de banda total atribuida. También utiliza la otra polarización para lograr un aislamiento adicional.

El sistema HAPS utilizará un par de bandas de la gama 47,2-48,2 GHz con una anchura de banda de 100 MHz a 300 MHz. Con un factor de reutilización de frecuencias de 7, una atribución de  $2 \times 100$  MHz se reutilizará 100 veces en cada una de las zonas de cobertura. Cada intervalo de tiempo AMDT del enlace ascendente lleva una célula ATM. El carácter asíncrono del ATM ofrece gran flexibilidad. Por ejemplo, no se requiere un plan de tiempos de ráfaga. El esquema de acceso múltiple por asignación dinámica mencionado se integrará en la llamada de tipo ATM y en la gestión del tráfico para hacer máxima la eficacia de la gestión de recursos de comunicación.

En el lado del usuario, se utilizan multiplexores ATM inteligentes para reducir el número de puertos en el Centro de Conmutación Principal. Cada multiplexador ATM multiplexa 16 haces en un puerto OC3 (portadora óptica, nivel 3 (155,52 Mbit/s)) de la central de conmutación. Se necesitan como mínimo 44 puertos para encargarse de  $> 1\,400$  haces. El AMDT dinámico convierte cada haz en un bus compartido. Pueden registrarse en todo momento hasta 1 000 terminales de usuario. El diseño exige básicamente que el multiplexador ATM se encargue de la parte no normalizada de los protocolos de señalización, de forma que puedan utilizarse conmutadores ATM centralizados.

Las estaciones de cabecera establecen la interfaz con las redes públicas, tales como la red interurbana de larga distancia del operador e Internet. La configuración real depende del escenario de despliegue. Cabe pensar que una estación de cabecera pueda dedicarse a un gran suministrador de servicio como America Online. El sistema está concebido para poder reconocer a los usuarios cuando se inscriben y permitirles conectar con sus suministradores de servicio únicamente.

El balance de peso y potencia incluye todo el equipo de banda de base, a saber, la unidad de conmutación ATM y los multiplexores.

El sistema de tierra consta de las estaciones de cabecera y del centro de control de la HAPS. Cada estación de cabecera utilizará antenas orientables de alta ganancia con haces estrechos. El equipo RF es similar a los de la carga útil. La unidad de conmutación ATM que se requiere no es grande – unos cuatro puertos OC3, más todo lo que sea necesario para la gestión de los servidores locales y/o la red. Para conectarse con las actuales redes públicas pueden ser necesarias múltiples interfaces la mayoría de las cuales están disponibles hoy en día, o lo estarán en breve, como opciones normalizadas que proponen múltiples suministradores. El sistema se ha diseñado para cumplir las normas actuales.

Para la interfaz con la red ATM pública, se prefiere la interfaz de nodo de red privada (P-NNI, *private network node interface*) porque permite un equilibrio de carga dinámico entre múltiples estaciones de cabecera. El sistema de direccionamiento interno se concibe para permitir un equilibrio de la carga, incluso con la interfaz de portadora entre centrales de banda ancha (B-ICI, *broadband interchange carrier interface*), aunque no tan dinámico.

## 2.4 Características de transmisión de la estación situada en la plataforma

El Cuadro 2 da las características típicas del transmisor y la antena de una estación de plataforma.

Las comunicaciones con los terminales de usuario utilizarán la modulación MDP-4 con MDT en una anchura de banda de 11 MHz para el enlace descendente y de 2,2 MHz para el enlace ascendente. Las comunicaciones con las estaciones de cabecera utilizarán la modulación de alto nivel, MAQ-64, en una anchura de banda de 88 MHz (11 MHz por portadora). En ambas se supone una utilización de frecuencias de  $2 \times 100$  MHz. Si se emplease un espectro de frecuencia de  $2 \times 300$  MHz, sería posible que los terminales de usuario comunicasen con las HAPS en una anchura de banda de 33 MHz para el enlace descendente.

CUADRO 2

Parámetros del transmisor de la estación situada en la plataforma

Comunicación con	Potencia del transmisor (dBW)	Ganancia de antena (dBi) <sup>(1)</sup>
Zona de cobertura urbana	1,3	30
Zona de cobertura suburbana	1,3	30
Zona de cobertura rural	3,5	41
Cabecera (zona de cobertura urbana)	0	35
Cabecera (zona de cobertura suburbana)	9,7	38

<sup>(1)</sup> Ganancias máximas de antena.

## 2.5 Terminales de usuario y estaciones de cabecera

El Cuadro 3 da los parámetros correspondientes para las estaciones en tierra. En la dirección ascendente, los terminales de usuario utilizarán una multiportadora AMDT con asignación por demanda y modulación MDP-4, mientras que las estaciones de cabecera utilizarán técnicas similares a las de la plataforma.

CUADRO 3

Características del transmisor de la estación en tierra

Comunicación con	Potencia del transmisor (dBW)	Ganancia de antena (dBi)
Zona de cobertura urbana	-8,2	23
Zona de cobertura suburbana	-7	38
Zona de cobertura rural	-1,5	38
Cabecera (zona de cobertura urbana)	1,7	46
Cabecera (zona de cobertura suburbana)	13,4	46

Los diagramas de antena de las estaciones de cabecera en la HAPN y de los terminales de usuario descritos en el Cuadro 3 pueden estimarse ampliando la información que figura en la Recomendación UIT-R F.699 a la banda de frecuencias 47,2-48,2 GHz y utilizando las ganancias de antena de la columna 3 del Cuadro 3.

**2.6 Diagramas de radiación de antena**

Los diagramas de radiación de las antenas de la plataforma se ajustan a la Recomendación UIT-R S.672. El diagrama de radiación de referencia viene dado por:

$$G(\psi) = G_m - 3 (\psi/\psi_b)^\alpha \quad \text{dBi} \quad \text{para } \psi_b \leq \psi \leq a \psi_b \quad (1)$$

$$G(\psi) = G_m + L_N + 20 \log(z) \quad \text{dBi} \quad \text{para } a \psi_b < \psi \leq 0,5b \psi_b \quad (2a)$$

$$G(\psi) = G_m + L_N \quad \text{dBi} \quad \text{para } 0,5b \psi_b < \psi \leq b \psi_b \quad (2b)$$

$$G(\psi) = X - 25 \log(\psi) \quad \text{dBi} \quad \text{para } b \psi_b < \psi \leq Y \quad (3)$$

$$G(\psi) = L_F \quad \text{dBi} \quad \text{para } Y < \psi \leq 90^\circ \quad (4a)$$

$$G(\psi) = L_B \quad \text{dBi} \quad \text{para } 90^\circ < \psi \leq 180^\circ \quad (4b)$$

siendo:

$$X = G_m + L_N + 25 \log(b \psi_b) \quad \text{e} \quad Y = b \psi_b \times 10^{0,04(G_m + L_N - L_F)}$$

$G(\psi)$ : ganancia para un ángulo  $\psi$  a partir de la dirección del haz principal (dBi)

$G_m$ : ganancia máxima en el lóbulo principal (dBi)

$\psi_b$ : la mitad de la apertura del haz de 3 dB en el plano de interés (3 dB por debajo de  $G_m$ ) (grados)

$L_N$ : nivel del lóbulo dirigido al oído, (dB) con relación a la ganancia de cresta que exige el diseño del sistema

$L_F$ : nivel de 0 dBi del lóbulo exterior (dBi) (véase la Nota 2)

$z$ : (eje mayor/eje menor) para el haz radiado

$L_B$ : el valor mayor de  $15 + L_N + 0,25 G_m + 5 \log z$  dBi o 0 dBi.

NOTA 1 – Los diagramas aplicables a haces elípticos requieren verificación experimental. Los valores de  $a$  del Cuadro 4 son provisionales.

NOTA 2 – Se ha supuesto un nivel del lóbulo exterior de -10 dBi para las antenas de transmisión y de recepción de la HAPS de gran calidad.

CUADRO 4

$L_N$ (dB)	$a$	$b$	$\alpha$
-20	$2,58 \sqrt{(1 - \log z)}$	6,32	2
-25	$2,58 \sqrt{(1 - 0,8 \log z)}$	6,32	2
-30	-	6,32	-

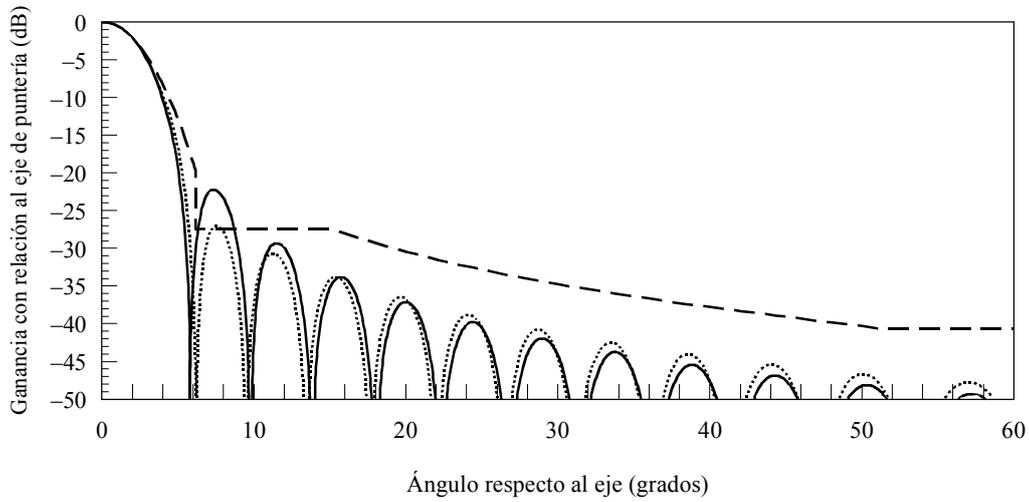
Para una apertura del haz de 3 dB ( $2 \Psi\psi_b$ ) (grados<sup>2</sup>):

$$(2\Psi\psi_b)^2 = \frac{27000}{10^{0,1G_m}} \quad \text{grados}^2$$

en donde  $G_m$  es la ganancia de la apertura de cresta (dBi).

FIGURA 3

Comparación entre los diagramas de radiación de referencia de la Recomendación UIT-R S.672 y los diagramas teóricos para apertura circular iluminada por una función parabólica exponencial sobre un pedestal de -10 dB



$n$ : número de elementos de alimentación utilizados

—————  $n = 1$

.....  $n = 2$

- - - - - Recomendación UIT-R S.672

Ganancia = 30,6 dBi

Iluminación en el extremo = -10 dB

1500-03

De la Recomendación UIT-R S.672 se obtiene:

$$G_m = 30,62 \text{ dB}$$

$$D/\lambda = 14$$

$$\psi_b = 2,4^\circ$$

$$a \psi_b = 6,2^\circ$$

$$b \psi_b = 15,3^\circ$$

$$\text{Lóbulo lateral} = -27,5 \text{ dB}$$

$$X = 2,11$$

$$Y = 51,2^\circ$$

$$L_F = -10 \text{ dB}$$

Suponiendo una geometría de 700 células y un diagrama de reutilización de frecuencias de 7 células, el cálculo de la relación *C/I* de cresta para el diagrama hexagonal iluminado por una antena multihaz da lo siguiente:

CUADRO 5

Recomendación UIT-R S.672						
Separación respecto al eje	Ángulo	Disco (dB)	Número de haces	Interferencia (dB)	<i>C/I</i> combinada (dB)	<i>C/I</i> combinada (dB)
1D	11,12	-27,50	6	-19,72	-19,72	19,72
2D	22,25	-31,58	12	-20,78	-17,21	17,21
3D	33,37	-35,98	18	-23,43	-16,28	16,28
4D	44,50	-39,10	24	-25,30	-15,77	15,77
5D	55,62	-40,62	30	-25,85	-15,36	15,36
Total de haces			90			

Puede estimarse un valor más desfavorable de la *C/I* de 15,36 dB. Con ello se obtiene un extremo superior de -4,36 dB para la relación *I/N* cocanal. Con ello se reducirá el margen del enlace para los enlaces de usuario en 1,36 dB. Ello está en la línea de la reducción de 0,414 dB en el margen del enlace obtenida al aplicar el criterio habitual de que la interferencia debe ser inferior al ruido en al menos 10 dB. Como el diagrama de radiación de referencia del UIT-R es un límite superior, el nivel real de la interferencia cocanal debe ser considerablemente inferior.

**2.7 Respuestas del filtro de RF y emisión fuera de banda**

Para los enlaces de usuario, se utiliza la modulación MDP-4. Ello produce una densidad de espectro de potencia que disminuye cuadráticamente en función de la frecuencia de emisión con relación a la frecuencia portadora.

$$S_{MDP-4} = C \cdot A^2 \cdot T_b \left| \frac{\text{sen}(2 \pi (f - f_c) \cdot T_b)}{2 \pi (f - f_c) \cdot T_b} \right|^2$$

- $C \cdot A^2$ : potencia total de la señal en una anchura de banda infinita, normalizada en una resistencia de 1 Ω
- $f_b$ : velocidad binaria
- $T_b = 1/f_b$ : duración del bit
- $f_c$ : frecuencia portadora.

Con técnicas de modulación más avanzadas, tales como la FMDP-4-FK patentada [Kato y Feher, 1983], es posible una atenuación más aguda con una mayor separación de frecuencias.

Se necesita un filtrado adicional para minimizar la interferencia entre símbolos y reducir más la emisión fuera de banda. Ello puede lograrse con un filtro en coseno exponencial, que puede realizarse únicamente con filtros SAW o con una combinación de filtrado digital (banda de base) y filtrado analógico utilizando filtros de onda acústica de superficie (SAW). Las técnicas de filtrado SAW son extremadamente flexibles: puede sintetizarse cualquier filtro paso banda lineal con amplitud y fase arbitrarias, con la única limitación de la anchura de la línea y el tamaño del cristal. Con filtros SAW habituales de tipo transductor unidireccional de fase única pueden atenuarse emisiones fuera de banda hasta en 60 dB, con una planitud de la banda de paso inferior a 0,5 dB entre máximos y un rizado de fase inferior a 1°. Esto, junto con otros 16 dB (10 log 4π²) de atenuación en el primer lóbulo lateral de la curva de densidad espectral de potencia MPD-4, permite ya obtener una reducción de 75 dB en la emisión fuera de banda.

Para lograr más de 80 dB de rechazo del canal adyacente, la única solución práctica es la de dos filtros SAW en cascada, con unas pérdidas de inserción de sólo 6 dB. Ésta es exactamente la técnica utilizada por los fabricantes de microteléfonos AMDC para reducir la interferencia del canal adyacente con estaciones de base del servicio de comunicaciones personales a menos de -80 dB. Los filtros modernos de tipo transductor unidireccional de fase única con pérdidas de inserción reducidas tienen amplitudes de saturación y capacidad de tratamiento de potencia relativamente grandes, y como no es necesario llevar los filtros de tipo transductor unidireccional de fase única a las proximidades de la saturación a fin de maximizar la eficacia de potencia, puede rechazarse con bastante seguridad toda generación no lineal de emisiones no esenciales.

## 2.8 Características de emisión radioeléctrica del sistema de HAPS

El esquema de utilización de frecuencias en el sistema de HAPS dependerá de los requisitos específicos de cada zona de servicio, lo que afectará a la anchura de banda asignada a cada una de las plataformas y a sus terminales en tierra correspondientes.

Un sistema HAPS aislado que esté situado en una zona distante respecto a otro sistema HAPS puede estar equipado para utilizar hasta la totalidad de la anchura de banda de  $2 \times 300$  MHz, dependiendo del número de usuarios que se abonen al sistema.

Otro escenario más adecuado a los servicios de HAPS en una amplia zona regional puede ser el de suponer un despliegue equilateral de una serie de plataformas de HAPS que funcionen con arreglo a un esquema de reutilización de frecuencia triple, es decir, en el que cada plataforma emplee  $2 \times 100$  MHz.

Otros escenarios serán más adecuados para otros entornos y esquemas de demanda.

Como ejemplo, se considerará la utilización de  $2 \times 100$  MHz a partir de una sola plataforma. Suponiendo que las velocidades de información en ráfagas procedentes de los terminales de usuario se producen a 2 Mbit/s y dando un margen para la codificación y otros suplementos, y adoptando también una tasa de reutilización de  $7 \times$  la frecuencia, los 100 MHz se dividen en 7 tramos de 11 MHz, más una banda de guarda de 23 MHz. Cada tramo de 11 MHz sirve para un solo usuario, a la proporción total de ráfagas del enlace descendente y a un quinto de la proporción total de ráfagas en el enlace descendente con un factor de canales en dicho enlace ascendente de 5. La división en canales en el enlace ascendente reduce la potencia de la ráfaga a una relación de potencia media en los terminales de usuario que hace disminuir el coste de éstos. Si el mismo suministrador de servicio explota todas las plataformas, las bandas de guarda no son necesarias.

Dependiendo del factor de actividad que se suponga para un usuario medio, cada tramo de 11 MHz puede servir tal vez para hasta 10 usuarios de gran velocidad. Cada uno tendrá una velocidad binaria media de más de 1 Mbit/s, que en ráfagas puede ascender hasta 10 Mbit/s en el enlace descendente y a 2 Mbit/s en el ascendente. Se asegura una compartición en el tiempo eficaz entre los distintos usuarios mediante un esquema de acceso múltiple rápido con asignación por demanda que reasigna dinámicamente los canales de usuario a gran velocidad cada 20 ms.

Hay 700 células en cada una de las zonas, urbana, suburbana y rural. Así pues, para la zona de cobertura urbana, la densidad de potencia de los terminales de usuario es de  $-8,2$  dB(W/2 MHz) multiplicada por la reutilización de frecuencia de 100 veces y modificada por el diagrama de radiación de los lóbulos laterales del terminal de usuario. Para la zona de cobertura suburbana, la cifra es de  $-7,0$  dB(W/2 MHz) por 100, y para la zona de cobertura rural es de  $-1,55$  dB(W/2 MHz) por 100, como máximo.

Para cursar el tráfico de usuario concentrado, se necesitan hasta 20 estaciones de cabecera en las zonas de cobertura urbana y suburbana. Dichas estaciones funcionan con MAQ-64 en una anchura de banda de 88 MHz (100 MHz menos 12 MHz) y una densidad de potencia en cada una de aproximadamente  $-8$  dB(W/2 MHz) para las estaciones de cabecera de la zona urbana y de  $4$  dB(W/2 MHz) para las estaciones de cabecera en la zona suburbana y en la zona rural. Excluyendo la FEC, la disposición en trama y otros suplementos, la modulación MAQ-64 puede dar unos 4 bit/s/Hz de eficacia espectral, o 352 Mbit/s por estación de cabecera. Con 20 estaciones de cabecera por zona se obtendrán 14,8 Gbit/s de caudal en la cabecera o 60% del tráfico máximo de usuario que pueda cursarse.

La transmisión desde la plataforma utiliza toda la anchura de banda disponible en compartición del tiempo y la frecuencia y una densidad de potencia de  $20,6$  dB(W/2 MHz). Esto se basa en la densidad de potencia estimada para los enlaces de usuario y los enlaces de la estación de cabecera. Para los enlaces de usuario, la densidad de potencia es de  $0$  dB(W/11 MHz) en las zonas de cobertura urbana y suburbana y de  $2,2$  dB(W/11 MHz) en la zona de cobertura rural. Para las estaciones de cabecera, la densidad de potencia es de  $0$  dB(W/11 MHz) en la zona de cobertura urbana y de  $9,7$  dB(W/11 MHz) en la zona de cobertura suburbana. La potencia de RF total de la plataforma es de unos 10 kW.

## 2.9 Ejemplo de cálculo del balance del enlace

A continuación se presenta un cálculo representativo del balance del enlace. Las ganancias de antena de la plataforma para los enlaces del terminal de usuario son ganancias de antena en el extremo de la célula, 3 dB inferiores a las ganancias de antena máximas. La relación  $E_b/(N_0 + I_0)$  se basa en la modulación MDP-4 con un código convolucional de índice  $2/3$  y  $k=7$  para una BER inferior a  $1 \times 10^{-7}$ . Las velocidades de información de usuario tienen en cuenta los suplementos de los encabezamientos ATM y la disposición en trama. La atenuación debida a la lluvia se basa en una disponibilidad  $>99,5\%$  para las estadísticas de la Región K del UIT-R. En la relación  $G/T$  del receptor se supone una temperatura de ruido en éste de 900 K para los terminales de usuario y las estaciones de cabecera, y de 500 K para las plataformas.

CUADRO 6  
Enlaces del terminal de usuario

	Zona de cobertura urbana	Zona de cobertura urbana	Zona de cobertura suburbana	Zona de cobertura suburbana	Zona de cobertura rural	Zona de cobertura rural
	MDT descendente	AMDF ascendente	MDT descendente	AMDF ascendente	MDT descendente	AMDF ascendente
Frecuencia (GHz)	47,0	48,0	47,0	48,0	47,0	48,0
Anchura de banda (MHz)	11,0	2,0	11,0	2,0	11,0	2,0
Potencia del transmisor (dBW)	1,3	-8,2	1,3	-7,0	3,5	-1,5
Ganancia de antena (dBi)	27,0	23,0	27,0	38,0	38,0	38,0
Pérdidas híbrido (H)/guiaondas (W) (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
p.i.r.e. (dBW)	27,8	14,3	27,8	30,6	41,0	36,1
Alcance oblicuo (km)	42,0	42,0	81,1	81,1	240,9	240,9
Pérdidas en el espacio libre (dB)	158,3	158,5	164,1	164,3	173,5	173,7
Pérdidas atmosféricas (dB)	2,3	2,8	5,2	5,8	6,3	7,7
Atenuación debida a la lluvia (dB)	11,2	11,2	14,8	14,9	20,2	22,4
d <sub>fp</sub> en el suelo (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	-99,6	-	-111,8	-	-114,5	-
Receptor $G/T$ (dB(K <sup>-1</sup> ))	-6,5	0,0	8,5	0,0	8,5	11,1
Pérdidas de polarización (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Constante de Boltzmann (dB(W/K))	-228,6	-228,6	-228,6	-228,6	-228,6	-228,6
Velocidad binaria (dB(Hz))	70,0	63,1	70,0	63,1	70,0	63,1
$E_b/(N_0 + I_0)$ ( $I = 0$ ) (dB)	7,5	6,8	10,3	10,6	7,6	8,3
$E_b/(N_0 + I_0)$ requerida (dB)	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1	6,1
Margen (dB)	1,4	0,7	4,2	4,5	1,5	2,2

Para los enlaces de estación de cabecera se utiliza el control de potencia adaptable a fin de combatir el desvanecimiento debido a la lluvia. Cada amplificador de potencia de la estación de cabecera puede aumentar su potencia hasta en 4 dB para los enlaces que resultan afectados más gravemente por la lluvia. Esto produce una ganancia del control de potencia de 4 dB. Los enlaces de la estación de cabecera van a 44 Mbit/s por portadora. La  $E_b/(N_0 + I_0)$  requerida para la estación de cabecera se basa en una modulación de MAQ-64 con una codificación convolucional de índice  $4/5$  ( $k=9$ ) concatenada con un código exterior Reed-Solomon de gran velocidad y codificación de entrelazado largo, a fin de lograr una BER superior a  $1 \times 10^{-10}$  (véase la Nota 1).

NOTA 1 – Véase que la profundidad del entrelazado será varios cientos de veces la longitud con restricción del código convolucional y que su objetivo es aleatorizar los errores de ráfaga producidos por el decodificador de Viterbi.

CUADRO 7

## Enlaces de estación de cabecera

	Zona de cobertura urbana	Zona de cobertura urbana	Zona de cobertura suburbana	Zona de cobertura suburbana
	MDT descendente (por portadora)	MDT ascendente (por portadora)	MDT descendente (por portadora)	AMDF ascendente (por portadora)
Frecuencia (GHz)	47,0	48,0	47,0	48,0
Anchura de banda (MHz)	11,0	11,0	11,0	11,0
Potencia del transmisor (dBW)	0,0	1,7	9,7	13,4
Ganancia de antena (dBi)	35,0	46,0	38,0	46,0
Pérdidas híbrido H/W (dB)	8,5	8,5	8,5	8,5
p.i.r.e. (dBW)	26,5	39,3	39,2	50,9
Alcance oblicuo (km)	42,0	42,0	81,1	81,1
Pérdidas en el espacio libre (dB)	158,3	158,5	164,1	164,3
Pérdidas atmosféricas (dB)	2,3	2,8	5,2	5,8
Atenuación debida a la lluvia (dB)	11,2	11,2	14,8	14,9
Ganancia del control de potencia (dB)	4,0	4,0	4,0	4,0
dfp en el suelo (dB(W/(m <sup>2</sup> · MHz)))	-96,8	-	-96,4	-
Receptor $G/T$ (dB(K <sup>-1</sup> ))	16,5	5,5	16,5	8,5
Pérdidas de polarización (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
Constante de Boltzmann (dB(W/K))	-228,6	-228,6	-228,6	-228,6
Velocidad binaria (dB(Hz))	76,4	76,4	76,4	76,4
$E_b/(N_0 + I_0)$ ( $I = 0$ ) (dB)	26,8	27,9	27,3	30,1
$E_b/(N_0 + I_0)$ requerida (dB)	20,3	20,3	20,3	20,3
Margen (dB)	6,5	7,6	7,0	9,8