

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R F.1891
(05/2011)

**Características técnicas y operacionales
de los enlaces de pasarela del servicio fijo
que utilizan estaciones en plataformas a
gran altitud en la banda 5 850-7 075 MHz
para ser utilizadas en estudios
de compartición**

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	Radioastronomía
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, 2011

© UIT 2011

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.1891*

Características técnicas y operacionales de los enlaces de pasarela del servicio fijo que utilizan estaciones en plataformas a gran altitud en la banda 5 850-7 075 MHz para ser utilizadas en estudios de compartición

(2011)

Cometido

En esta Recomendación se facilitan las características técnicas y operacionales de los enlaces de pasarela del servicio fijo de las plataformas a gran altitud (HAPS) en la banda 5 850-7 075 MHz. Está destinada a proporcionar a las administraciones información acerca de los enlaces de pasarela de las HAPS para su utilización en estudios de compartición con sistemas del servicio fijo de tipo convencional y con sistemas y redes de otros servicios en la banda citada y en las bandas adyacentes. En este texto también puede encontrarse información acerca de la relación entre los enlaces de pasarela y los enlaces de usuario.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la CMR-07 reconoció que sería conveniente tener una mayor flexibilidad en la elección del espectro para operaciones de pasarela en soporte de las redes HAPS;
- b) que la CMR-07 solicitó la realización de estudios para considerar la identificación de espectro destinado a los enlaces de pasarela de las HAPS en la gama 5 850-7 075 MHz;
- c) que los enlaces de pasarela de las HAPS podrían emplearse para soportar el funcionamiento de los servicios fijo y móvil;
- d) que los enlaces de pasarela de las HAPS en esta banda deberían funcionar de manera compartida con sistemas de los servicios fijo, móvil y fijo por satélite y ello puede tener repercusiones en los servicios pasivos tales como el servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS) y el servicio de radioastronomía;
- e) que los enlaces de pasarela en un sistema HAPS estarían limitados en número y necesitarían utilizar antenas de mayor calidad y transmitir con potencias más elevadas en comparación con los enlaces de usuario, lo que permitiría el uso de métodos de modulación de orden más elevado y una codificación más compleja;
- f) que basándose en el *considerando* e), los enlaces de pasarela de las HAPS serían más eficaces desde el punto de vista de utilización del espectro que los enlaces de usuario;
- g) que es necesario determinar las características técnicas y operacionales de los enlaces de pasarela de las HAPS en el SF a fin de realizar estudios de compartición con otros tipos de sistemas del SF y con sistemas y redes de otros servicios en la banda 5 850-7 075 MHz, así como tener en cuenta las emisiones fuera de banda dirigidas a servicios en bandas cercanas o adyacentes o procedentes de los mismos,

* Esta Recomendación se ha elaborado con arreglo al punto 1.20 del orden del día de la Conferencia Mundial de Radiocomunicación 2012 (CMR-12). Si la CMR-12 no identifica espectro para los enlaces de pasarela de las estaciones en plataformas a gran altitud, la Recomendación se suprimirá.

reconociendo

- a) que la Resolución 734 (Rev.CMR-07) consideró conveniente prever las disposiciones pertinentes para enlaces de pasarela que permiten el funcionamiento de las HAPS;
- b) que la Resolución 734 (Rev.CMR-07) también resolvió invitar al UIT-R a ampliar los estudios de compartición con el fin de identificar dos canales de 80 MHz cada uno, para enlaces de pasarela de las HAPS en la gama 5 850-7 075 MHz en bandas ya atribuidas al SF, y garantizar la protección de los servicios existentes,

recomienda

1 que para analizar la viabilidad de la compartición en que intervengan los enlaces de pasarela de las HAPS en la gama de frecuencias 5 850-7 075 MHz se utilicen las características técnicas y operacionales de los enlaces de pasarela de las HAPS contenidas en el Anexo 1 a la presente Recomendación.

Anexo 1

Características técnicas y operacionales de los enlaces de pasarela para las estaciones en plataformas a gran altitud del servicio fijo que funcionan en la banda 5 850-7 075 MHz

1 Introducción

Las características técnicas y operacionales de los sistemas HAPS aquí descritas se basan en un diseño genérico realizable de la carga útil HAPS, la plataforma estratosférica y la red.

2 Estabilidad de la plataforma HAPS

Las HAPS logran su estabilidad de movimiento, relativo a la Tierra, mediante vuelo controlado en las corrientes de aire de baja densidad, flujo continuo, baja velocidad y sin turbulencias que existen a altitudes concretas de la estratosfera. Las HAPS funcionan en un emplazamiento nominalmente fijo de la estratosfera a una altura comprendida entre 20 y 25 km. El flujo relativamente continuo de la corriente de aire combinado con el diseño más avanzado en materia de propulsión, aerodinámica, termodinámica y materiales proporcionará un vuelo estable y controlado que propiciará un mantenimiento en posición muy preciso y una mínima rotación axial (cabeceo, balanceo y guiñada). La tasa de cambio de velocidad en los vientos estratosféricos se encuentra dentro de la capacidad de los sistemas de propulsión y control de la plataforma para mantener la posición y rumbo deseados. Las plataformas más pesadas que el aire y las plataformas más ligeras que el aire pueden lograr los mismos niveles de estabilidad, altitud y mantenimiento en posición.

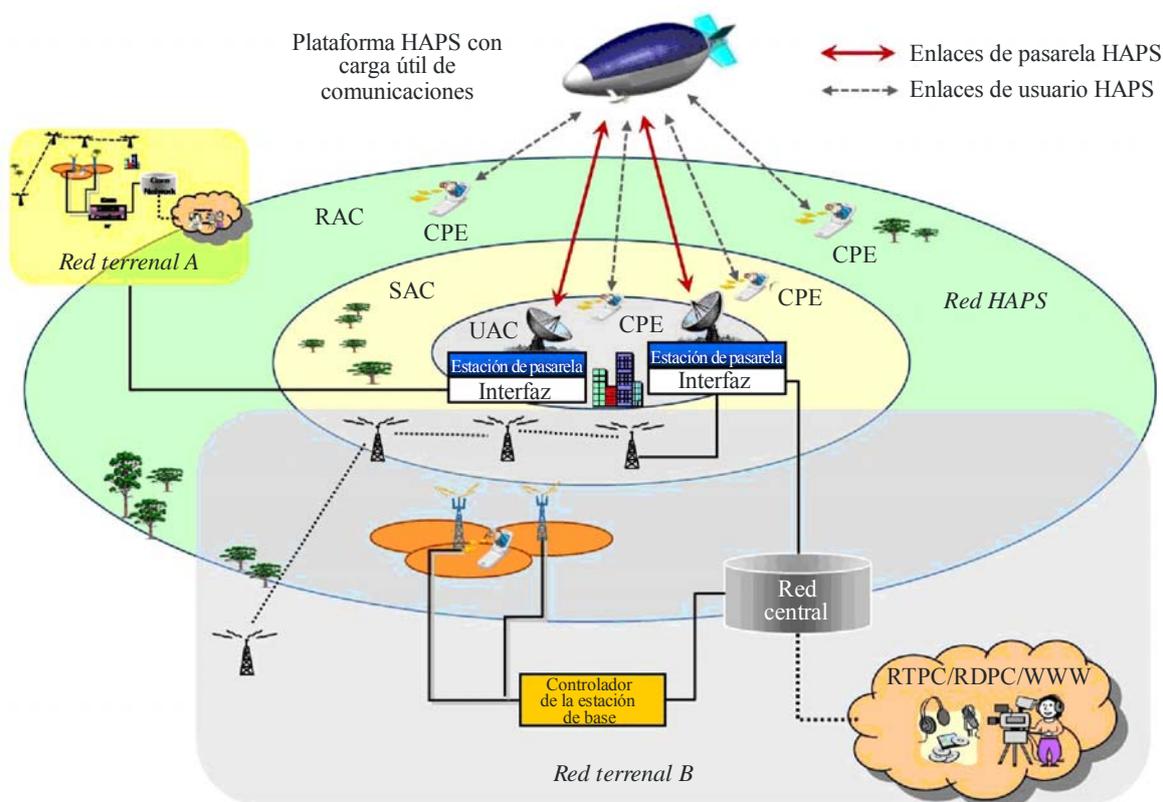
Normalmente, las HAPS mantendrán su posición con un margen de $\pm 0,5$ km, experimentarán una variación del rumbo inferior a $1/2^\circ/h$, sus cambios de altitud serán inferiores a 45 m/h y no tendrán virtualmente ninguna rotación axial. Además, la aplicación de antenas de haz conformado electrónicamente orientables en las HAPS y en sus estaciones terrenas incrementará la directividad, la selectividad y la eficacia de los enlaces de pasarela y neutralizará fácilmente cualquier mínimo movimiento de la plataforma.

3 Arquitectura de la red de las HAPS

Las HAPS tienen la capacidad de cursar una amplia variedad de cargas útiles de comunicaciones inalámbricas que pueden proporcionar servicios de banda ancha y gran capacidad a los usuarios finales. En la Fig. 1 se muestra la arquitectura de la red de telecomunicaciones de las HAPS de alto nivel, que se describe con más detalles en éste y en otros puntos posteriores. Existen dos tipos de enlaces entre la carga útil y los equipos situados en tierra: los enlaces de pasarela y los enlaces de usuario. Este texto describe únicamente las características técnicas y operacionales de los enlaces de pasarela de las HAPS cuyo funcionamiento está previsto en la banda 5 850-7 075 MHz.

FIGURA 1

Configuración de la red HAPS incluidos los enlaces de pasarela y los enlaces de usuario



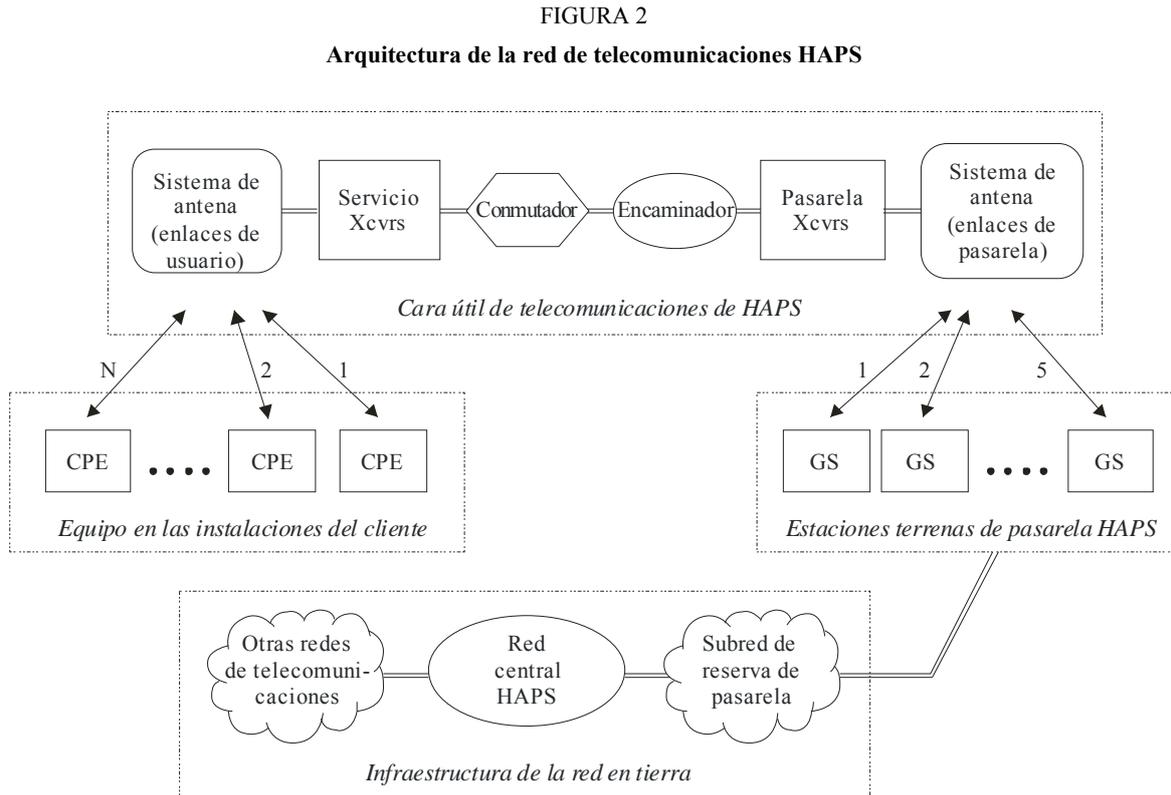
F.1891-01

Para los usuarios de los enlaces, la comunicación se establece entre la plataforma y los equipos en las instalaciones del cliente (CPE) en tierra en una disposición celular que permite una notable reutilización de frecuencias. Los CPE pueden estar en una de las tres zonas siguientes: cobertura de zona urbana, de zona suburbana y de zona rural (UAC, SAC y RAC, respectivamente)¹. Los CPE HAPS pueden comunicarse con la carga útil en la plataforma HAPS directamente y las comunicaciones entre los CPE HAPS se conmutan por la carga útil que contiene un gran conmutador a través de los enlaces de usuario. La señal transmitida desde los CPE HAPS se transfiere a la sección receptora de la carga útil en la plataforma HAPS. La conmutación a bordo de

¹ Véase en la Recomendación UIT-R F.1500 una descripción más detallada de estas zonas de cobertura.

la carga útil determina la célula a la que va a dirigirse la señal. A continuación, se transfiere a la célula en la que existe otro CPE HAPS que va a conectarse. Cabe destacar que los enlaces de usuario utilizan espectro de frecuencias fuera de la banda 5 850-7 075 MHz, de conformidad con las disposiciones pertinentes del RR. Para los enlaces de pasarela, la comunicación se establece en la banda 5 850-7 075 MHz entre la plataforma y las estaciones de pasarela en tierra ubicadas en la UAC, que proporciona interconexión con otras redes de telecomunicaciones.

La arquitectura de la carga útil de telecomunicaciones HAPS consta de seis subsistemas básicos, como ilustra la Fig. 2.



F.1891-02

Los subsistemas de encaminamiento y de conmutación central conectan los transceptores de pasarela y las antenas a la parte de la carga útil (antenas y transceptores) dedicada a la prestación del servicio. Los subsistemas de prestación de servicio contienen los enlaces de usuario directos (HAPS-CPE) que están completamente separados de los enlaces de pasarela de las HAPS y son distintos de éstos. La gestión de la red, la conectividad de la red de telecomunicaciones y otras funciones de la red básicas están contenidas en la parte de infraestructura en tierra de la red.

También se necesitará una subred terrenal de reserva a fin de controlar, integrar y proporcionar concentración y conexión terrenal para todos los enlaces de pasarela a la red central. Cada una de las cinco estaciones de pasarela necesitará un enlace de datos de fibra óptica de línea de base a la red central del orden de 1 Gbit/s por cada estación terrena. En las Figs. 1, 2 y 3 se representa la topología de la red de estaciones de pasarela de las HAPS.

4 Descripción y utilización del enlace de pasarela HAPS

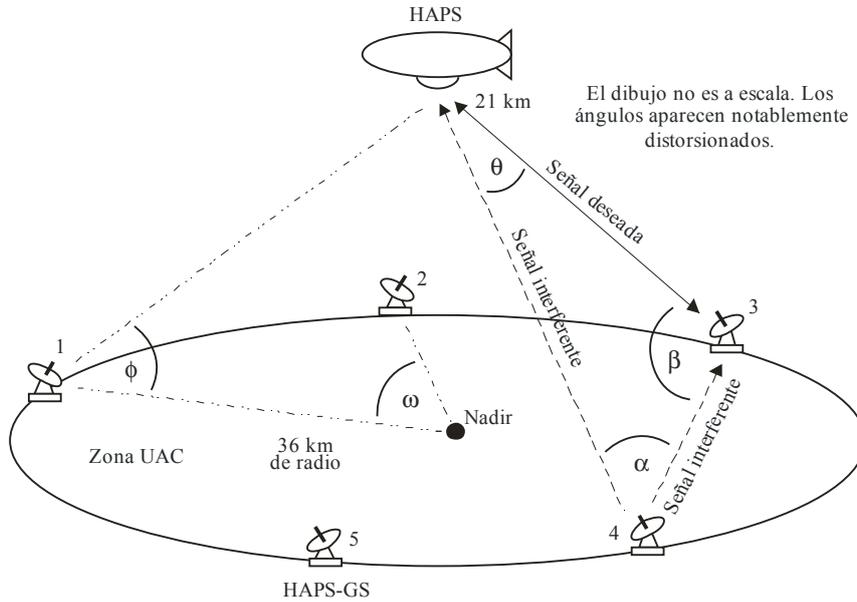
Como se indica en esta Recomendación, un enlace de pasarela de la HAPS² se define como un enlace radioeléctrico unidireccional entre una plataforma HAPS relativamente fija y una estación de pasarela de la HAPS. Específicamente, el enlace de pasarela HAPS consiste en un enlace ascendente (tierra-aire) separado de 80 MHz y un enlace descendente (aire-tierra) separado de 80 MHz. En cada una de las anchuras de banda de 80 MHz, un enlace de pasarela de la HAPS funciona unidireccionalmente y contiene flujos de información, tales como tráfico de usuario final combinado para comunicaciones de voz, datos y vídeo. El enlace de pasarela HAPS también puede contener información de telemetría, seguimiento y control relativa al funcionamiento del propio vehículo HAPS. Cada anchura de banda de pasarela HAPS de 80 MHz puede dividirse en un cierto número de subcanales, soportando todos los subcanales enlaces radioeléctricos en el mismo sentido (aire-tierra o tierra-aire) y utilizando cualquier método de polarización, modulación y codificación.

Una sola plataforma HAPS utilizará un máximo de cinco enlaces de estación de pasarela a fin de soportar la máxima carga de tráfico proyectada para toda esa plataforma. El número de enlaces de pasarela instalados para cada HAPS depende del volumen de tráfico de aplicación de usuario final que la red o el sistema basado en HAPS pueda soportar en modo reserva. A medida que se incrementa el tráfico real pueden instalarse más enlaces de pasarela de la misma frecuencia (hasta un máximo de cinco, si es necesario). La Fig. 3 ilustra una máxima configuración en tierra de cinco enlaces de pasarela de la misma frecuencia que reutilizan el espectro de frecuencias de 2×80 MHz identificado para uso de las HAPS y ésta es la configuración que debe emplearse en los estudios de compartición.

Las plataformas HAPS estarían separadas del orden de unos 300 km a 1 000 km. Cada estación de pasarela asociada da servicio a una sola HAPS. Normalmente, la retícula de estaciones de pasarela no se solaparía con una retícula de estaciones de pasarela de las HAPS adyacente. La retícula de pasarela probablemente tendrá un diámetro de unos 72 km centrado en las proximidades de punto de tierra del nadir de la HAPS, como se representa en la Fig. 3. Puede observarse en esta configuración de la estación de pasarela (GS) HAPS, que el ángulo de elevación Φ con referencia al nadir de la HAPS es de 30° para la zona UAC mostrada. El ángulo β es el ángulo en la estación de pasarela deseada entre la plataforma HAPS y la estación de pasarela interferente y α es el ángulo en la estación de pasarela interferente entre la plataforma HAPS y la estación de pasarela deseada. Los ángulos α y β son $59,4^\circ$ y $34,6^\circ$, dependiendo de los pares concretos de estaciones de pasarela y de su geometría asociada. El ángulo θ , que es el ángulo en la HAPS entre la estación de pasarela HAPS deseada para ese enlace y una estación de pasarela de las HAPS interferente, es de 61° o 111° . El ángulo ω es el ángulo en el punto de nadir de tierra entre dos estaciones de pasarela cualesquiera. El Cuadro 1 es un resumen de los cuatro ángulos (α , β , θ , Φ) para todas las combinaciones posibles de pares de estaciones de pasarela. El Cuadro 2 resume de los cinco posibles valores para el ángulo ω .

² En el ámbito de la presente Recomendación, el «enlace de pasarela HAPS» es un enlace radioeléctrico entre una estación de pasarela terrena HAPS en un emplazamiento determinado y una plataforma HAPS, o viceversa, que cursa información para un enlace de comunicaciones HAPS, incluida la telemetría y el telemando, y proporciona interconexión con otras redes de telecomunicaciones en tierra.

FIGURA 3
Ejemplo de configuración de estación de pasarela HAPS e interferencia de la red HAPS interna



F.1891-03

La Fig. 3 no está representada a escala.

CUADRO 1
Ángulos del enlace de pasarela HAPS
(grados)

Φ	θ	β	α	Pares de estaciones ⁽¹⁾
30	61	59,4	59,4	1-2, 2-1, 2-3, 3-2, 3-4, 4-3, 4-5, 5-4, 1-5, 5-1
30	111	34,6	34,6	1-3, 3-1, 2-4, 4-2, 3-5, 5-3, 1-4, 4-1, 2-5, 5-2

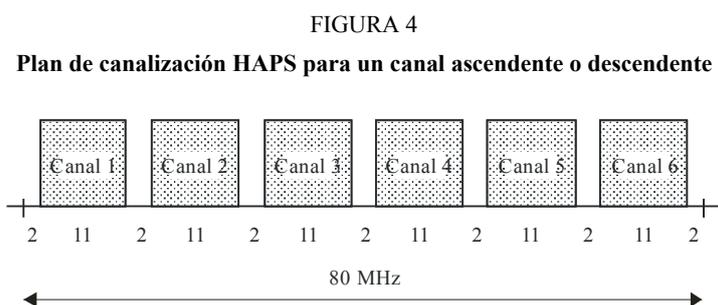
⁽¹⁾ Pares de estaciones X-Y siendo X la estación deseada e Y la estación interferente.

CUADRO 2
Ángulos de separación entre estaciones terrenas
(grados)

ω	Pares de estaciones
0	1-1
72	1-2
144	1-3
216	1-4
288	1-5

5 Identificación y canalización del espectro

Cabe esperar que para los enlaces de pasarela de las HAPS se identifiquen dos canales de 80 MHz en la banda 5 850-7 075 MHz³ para un total de 160 MHz. El plan de subcanalización puede utilizarse para dividir cada uno de los canales de 80 MHz en seis subcanales de 11 MHz equiespaciados separados por bandas de guarda de 2 MHz, como muestra la Fig. 4. Posiblemente podrían emplearse otros planes de frecuencia de subcanalización⁴, pero en los estudios de compartición debe emplearse el plan de canalización mostrado en la Fig. 4. Todos los subcanales, en cada una de las anchuras de banda de 80 MHz, se utilizan siempre para acomodar los enlaces radioeléctricos en el mismo sentido. Únicamente se utilizará DDF/MDF.



F.1891-04

La atribución del espectro para los enlaces de pasarela de las HAPS en la banda 5 850-7 075 MHz dependerá fundamentalmente de factores de interferencia mutua entre los servicios que comparten el espectro. La carga útil HAPS y la arquitectura y el diseño de la estación terrena deben proporcionar la necesaria flexibilidad para que los enlaces de pasarela puedan funcionar virtualmente en cualquier parte de la banda 5 850-7 075 MHz. Los estudios de compartición detallados determinarán el mejor emplazamiento para la identificación del espectro de las HAPS.

Es importante observar que el espectro de los enlaces de pasarela de las HAPS estaría en una banda de frecuencias distinta que los enlaces de usuario individual entre la plataforma HAPS y sus CPE en tierra, como ilustra la Fig. 1.

6 Características de los enlaces de pasarela de las HAPS

El Cuadro 3 proporciona el análisis de un típico enlace de pasarela de las HAPS para los enlaces ascendentes y descendentes mostrando el valor de diversos parámetros del enlace que utiliza MAQ-64 2/3. Es importante observar que este caso (MAQ-64 2/3 en el Cuadro 3) debe utilizarse en los estudios de compartición para determinar la compatibilidad en la banda de frecuencias 5 850-7 075 MHz.

³ Véase la Resolución 734 (Rev.CMR-07).

⁴ Por ejemplo, dos subcanales de 34 MHz con bandas de guarda de 4 MHz siendo cada subcanal DDF.

El balance del enlace de pasarela se basa en un subcanal de 11 MHz (más las bandas de guarda)⁵ que corresponde a una velocidad binaria del subcanal de 44 Mbit/s⁶ para una MAQ-64 2/3. Una alta disponibilidad y una proporción de errores en los bits con valores del orden del 99,999% y 10^{-9} , respectivamente, son importantes para los enlaces de pasarela de manera que pueda lograrse una elevada calidad de servicio para la aplicación del usuario final. Este análisis del enlace calcula la densidad de flujo de potencia (dfp) y el margen en el eje de puntería de las antenas. La dfp y el nivel de potencia radiada se reducirán sustancialmente en función de las características del diagrama de antena y el ángulo de desplazamiento con respecto al eje de puntería. La utilización de antenas de haz conformado puede proporcionar también una reducción adicional de la interferencia mutua. Por tanto, este análisis del balance del enlace es la hipótesis de caso más desfavorable con respecto a la interferencia HAPS provocada a otros sistemas y procedente de los mismos.

También se incluye en los balances del enlace una evaluación preliminar de la interferencia interna procedente de otros enlaces de pasarela a la misma frecuencia que soportan el mismo sistema HAPS. Se evaluaron los casos de una, tres y cinco estaciones de pasarela en total para determinar el incremento de la interferencia y la correspondiente reducción del margen. Los tres casos de interferencia de estaciones de pasarela (GS) utilizaron 4 GS deseadas y 1 y 2 GS (interferentes) no deseadas. En el caso de MAQ-64 2/3 que aparece en el Cuadro 3 se empleó un sistema de antenas controladas por fase de alto rendimiento, tanto en la plataforma HAPS como en la estación de pasarela. En el § 8 se describen con detalle los contornos del diagrama de ganancia de antena para este balance del enlace. Este caso debe utilizarse para los estudios de compartición. Cabe señalar que el sistema de antenas controlado por fase utilizado en la plataforma HAPS y en la estación de pasarela reducirá el nivel de interferencia causada a los sistemas de los servicios existentes y logrará una comparación más eficaz con tales servicios. El Cuadro 3 también contiene el balance del enlace para el caso de cielo despejado y se consideró una intensidad de lluvia durante el 0,01% del tiempo ($R_{0,01}$) de 63 mm/h.

CUADRO 3

Ejemplo de análisis de balance del enlace de una estación de pasarela de las HAPS que utiliza MAQ-64 2/3

Parámetro	UAC – Lluvia	UAC – Lluvia	UAC – Cielo despejado	UAC – Cielo despejado
	MDT descendente (por portadora)	MDT ascendente (por portadora)	MDT descendente (por portadora)	MDT ascendente (por portadora)
Frecuencia (GHz) ⁽¹⁾	6,5	6,6	6,5	6,6
Anchura de banda (MHz)	11	11	11	11
Potencia de Tx (dBW)	-22	-19	-22	-19
Ganancia de antena del Tx (dBi)	30	47	30	47
Pérdidas de implementación del hardware (dB)	4,1	4,1	4,1	4,1
Ganancia del control de potencia (dB)	8,0	8,0	0,0	0,0
p.i.r.e. nominal (dBW)	3,9	23,9	3,9	23,9

⁵ Un subcanal de 34 MHz (más las bandas de guarda) da lugar al mismo margen del enlace.

⁶ Basada en la utilización de MAQ-64 con velocidad de codificación 2/3 para el enlace de pasarela MDF.

CUADRO 3 (FIN)

Parámetro	UAC – Lluvia	UAC – Lluvia	UAC – Cielo despejado	UAC – Cielo despejado
	MDT descendente (por portadora)	MDT ascendente (por portadora)	MDT descendente (por portadora)	MDT ascendente (por portadora)
p.i.r.e. (dBW) tras el control de potencia ⁽²⁾	11,9	31,9	3,9	23,9
Distancia oblicua (km)	42,0	42,0	42,0	42,0
Pérdidas en el espacio libre (dB)	141,2	141,3	141,2	141,3
Pérdidas atmosféricas (dB) ⁽³⁾	0,3	0,3	0,3	0,3
Atenuación debida a la lluvia (dB) (disponibilidad del 99,999%) ⁽³⁾	9,0	9,5	0,0	0,0
d _{fp} en el suelo (dB(W/m ² · MHz))	-111,2		-110,2	
G/T del receptor (dB/K)	17,5	0,0	17,5	0,0
Ganancia de antena del Rx (dBi)	47,0	30,0	47,0	30,0
Pérdidas de polarización (dB)	0,5	0,5	0,5	0,5
Constante de Boltzmann (dB(W/K*Hz))	-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)	30,6	32,5	31,6	34,0
$E_b/(N_0 + I_0)$ (3 GS) (dB)	29,6	31,5	30,6	33,0
$E_b/(N_0 + I_0)$ (5 GS) (dB)	28,6	30,5	29,6	32,0
$E_b/(N_0 + I_0)$ requerida (dB) (MAQ-64)	20,3	20,3	20,3	20,3
$C/(N+I)$ w/I requerida = I_{tot} ⁽⁴⁾	26,3	26,3	26,3	26,3
Margen ($I=0$) (dB)	10,3	12,2	11,3	13,7
Margen (3 GS) (dB)	9,3	11,2	10,3	12,7
Margen (5 GS) (dB)	8,3	10,2	9,3	11,7

(1) La frecuencia especificada en el Cuadro 3 corresponde al centro de la banda 5 850-7 075 MHz. La utilización de esta frecuencia (específica) no tiene por objeto predisponer los trabajos del UIT-R con respecto a la identificación del espectro en la citada banda 5 850-7 075 MHz para su utilización en los enlaces de pasarela de las HAPS.

(2) La p.i.r.e. nominal se refiere al ajuste de potencia inicial. Tras el control automático de potencia (CAP), la potencia del TX se incrementa de 0 a 8 dB, dependiendo del nivel de portadora. Obsérvese que la p.i.r.e. anterior se aplica dentro de la UAC y pueden aplicarse límites reglamentarios y/o de protección contra la interferencia fuera de la UAC. La antena de la plataforma HAPS no deberá apuntar fuera de la UAC.

(3) Atenuación debida a la lluvia y pérdidas atmosféricas como describen las Recomendaciones UIT-R P.618 y UIT-R SF.1395, respectivamente. Se consideró una intensidad de lluvia durante el 0,01% del tiempo de 63 mm/h.

(4) $C/N = (E_b/N_0) \cdot (\text{eficacia espectral})^{(5)}$.

(5) La eficacia espectral es en este caso de 4 bit/s/Hz.

7 Utilización de la capacidad del enlace de pasarela de las HAPS

Los enlaces de pasarela proporcionarán capacidad de conectividad de reserva para soportar el tipo de servicio y la aplicación ofrecidos a los usuarios finales y la carga de tráfico de usuario final combinada correspondiente cursada a través de los enlaces de pasarela bidireccionales.

El mínimo requisito de capacidad de velocidad binaria del sistema de pasarela total de 2,67 Gbit/s⁷ se necesitará para soportar la máxima carga de tráfico de usuario del sistema prevista⁸. Ello exigirá una considerable reutilización de frecuencias de la identificación de espectro de 160 MHz (2×80 MHz o 4×40 MHz) actualmente contemplado para el enlace de pasarela utilizado por los sistemas de telecomunicaciones basados en HAPS en la banda 5 850-7 075 MHz. La capacidad de velocidad binaria para los 160 MHz de espectro en la referida banda 5 850-7 075 MHz es de 2,67 Gbit/s, utilizando cinco enlaces de pasarela de la misma frecuencia para cada HAPS, un método de modulación/codificación con una eficacia espectral de 4 bit/s/Hz⁹ y aproximadamente el 17% para las bandas de guarda. Ello significa que los 160 MHz de espectro se reutilizarán hasta cinco (5) veces para obtener la máxima capacidad del enlace de pasarela de esta utilización del espectro. Los enlaces de pasarela en esta banda están diseñados con esquemas de modulación y codificación que logran una elevada eficacia espectral (por ejemplo, MAQ-64 con una velocidad de codificación de 2/3) de manera que se maximice la capacidad de velocidad binaria de cada enlace. La capacidad disponible también debe tener en cuenta los posibles fallos de los enlaces individuales.

Es muy importante resaltar que en esta banda no se requerirá espectro adicional superior a los 160 MHz y el espectro se reutilizará hasta cinco veces a fin de obtener una notable eficacia de reutilización del espectro.

8 Diagrama de ganancia de antena

A continuación se describe el diagrama de ganancia de antena utilizado en los balances del enlace aquí indicados. Tanto en la estación (en tierra) de pasarela de las HAPS como en la plataforma (a bordo de aeronave) HAPS se utilizará el sistema de antenas controladas por fase descrito en la Resolución 221 (Rev.CMR-07) y que cumple con las características allí indicadas. A efectos de los estudios de compartición, la ganancia de cresta de las antenas de la plataforma y de la estación terrena es de 30 dBi y 47 dBi, respectivamente. A continuación se describe la ecuación del contorno del diagrama de radiación de la antena utilizada en la estación de pasarela de las HAPS y la plataforma HAPS y se ilustra en las Figs. 5 y 6, respectivamente, utilizando un valor L_N de -25 dB. Este contorno del diagrama de radiación se emplea para los enlaces ascendente y descendente y se basa en un tipo de sistema de antenas controladas por fase que se utilizará para los enlaces de pasarelas de las HAPS.

$$\begin{aligned}
 G(\psi) &= G_m - 3(\psi/\psi_b)^2 & \text{dBi} & \text{ para } 0^\circ \leq \psi \leq \psi_1 \\
 G(\psi) &= G_m + L_N & \text{dBi} & \text{ para } \psi_1 < \psi \leq \psi_2 \\
 G(\psi) &= X - 60 \log(\psi) & \text{dBi} & \text{ para } \psi_2 < \psi \leq \psi_3 \\
 G(\psi) &= L_F & \text{dBi} & \text{ para } \psi_3 < \psi \leq 90^\circ
 \end{aligned}$$

⁷ La velocidad binaria y la anchura de banda del canal son intercambiables utilizando la eficacia espectral de la codificación y la modulación de canal utilizadas, expresadas en bits por segundo y por hertzio.

⁸ El requisito mínimo de 2,67 Gbit/s se basa en el caso MAQ-64 2/3 y una capacidad de abonados total de 3 millones por HAPS con 300 000 abonados (el 10%) en línea durante la hora cargada. Se trata de un caso básico de acceso a la voz de usuario fundamentalmente, con un volumen modesto de tráfico de Internet y de datos combinado. Ello corresponde a una capacidad de usuario (no pasarela) de 300 K Erlang utilizando un modelo de tráfico Erlang B con un bloqueo del 1%.

⁹ MAQ-64 con velocidad de codificación 2/3 proporciona una eficacia espectral de 4 bit/s/Hz. Cada enlace de pasarela de 160 MHz con esta modulación proporcionará 533 Mbit/s de capacidad de velocidad binaria. Cinco enlaces de pasarela de la misma frecuencia proporcionan una capacidad de pasarela total de 2,67 Gbit/s (533 Mbit/s veces 5 estaciones de pasarela).

siendo:

$G(\psi)$: ganancia en el ángulo ψ con respecto a la dirección del haz principal (dBi)

G_m : máxima ganancia en el lóbulo principal (dBi)

ψ_b : mitad de la anchura de haz a 3 dB en el plano considerado (3 dB por debajo de G_m) (grados)

L_N : relación entre el nivel del lóbulo lateral más próximo al lóbulo principal (dB) y la ganancia de cresta nominal definida para el sistema, cuyo valor máximo es -25 dB

L_F : nivel del lóbulo lateral lejano, $G_m - 73$ dBi

$$\psi_1 = \psi_b \sqrt{-L_N / 3} \quad \text{grados}$$

$$\psi_2 = 3,745 \psi_b \quad \text{grados}$$

$$X = G_m + L_N + 60 \log(\psi_2) \quad \text{dBi}$$

$$\psi_3 = 10^{(X-L_F)/60} \quad \text{grados.}$$

La anchura de haz a 3 dB ($2\psi_b$) se calcula a partir de:

$$(\psi_b)^2 = 7442 / (10^{0,1G_m}) \quad \text{grados}^2.$$

De conformidad con el contorno de radiación de antena especificado en la Resolución 221 (Rev.CMR-07), para este sistema de antenas controladas por fase de alto rendimiento se utiliza un régimen de caída de antena de 60 dB por década.

FIGURA 5
**Diagrama de antena de referencia de la estación de pasarela HAPS
 para una antena de 47 dBi**

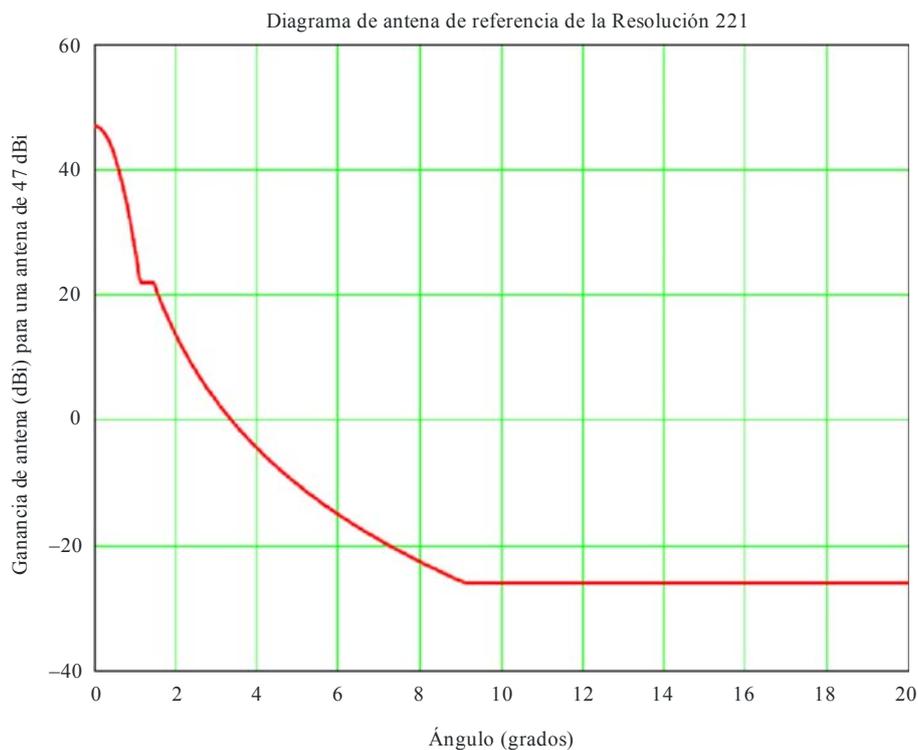
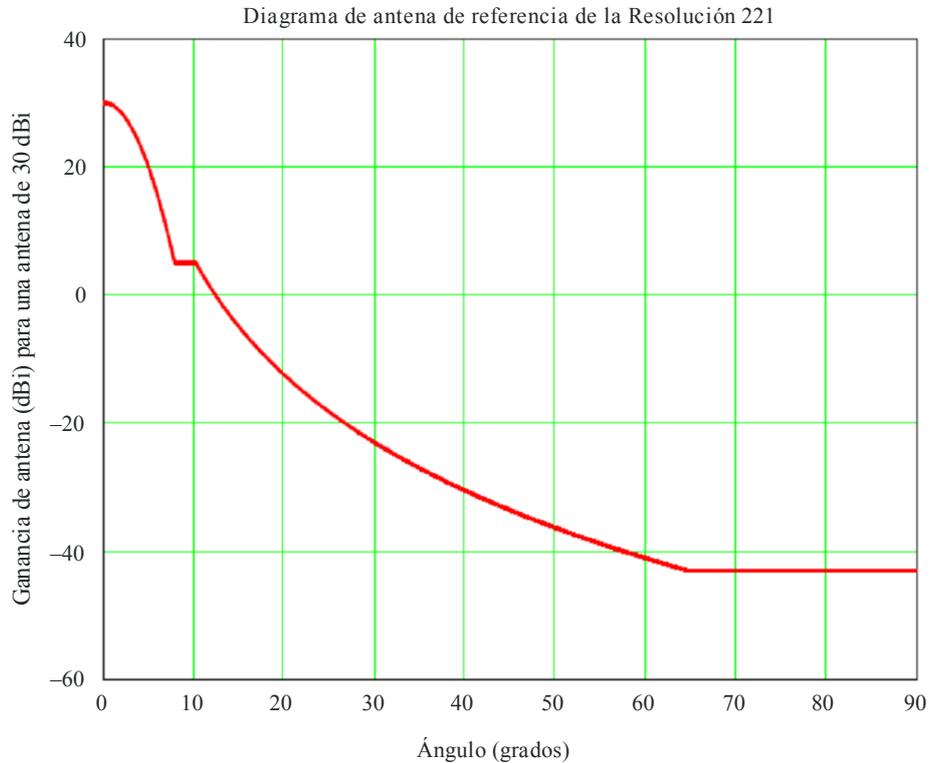


FIGURA 6

**Diagrama de antena de referencia de la estación en plataforma HAPS
para una antena de 30 dBi**



9 Modulación adaptativa para los enlaces de pasarela

Cada enlace de pasarela individual utiliza modulación adaptativa que proporciona capacidad de recuperación al reducir automáticamente el nivel de modulación si aparecen unos niveles más elevados de ruido y de interferencia intermitente. Cada enlace de pasarela puede ajustar su nivel de modulación independientemente de cada uno de los otros enlaces de pasarela y dependiendo del nivel $C/(N + I_{TOT})$ que recibe cada uno. El Cuadro 4 muestra el valor específico de $C/(N + I_{TOT})$ necesario para mantener un nivel de modulación de pasarela en particular y la capacidad de un solo enlace para un determinado espectro disponible para el enlace de pasarela. Cada uno de los cinco enlaces de pasarela reutiliza el mismo espectro de 160 MHz.

El valor de C/I_{EX} a corto plazo no debe ser inferior a 12 dB durante más del 0,001% del tiempo y dicho valor a largo plazo no debe ser menor de 27 dB durante más del 20% del tiempo. Un valor de $C/I_{EX} = 12$ dB corresponde a MAQ-16 con codificación 1/2, lo que reduce la capacidad de pasarela de la HAPS única a la mitad (el 50%), como muestra la Fig. 7.

La modulación adaptativa es una tecnología normalizada utilizada en muchos sistemas de comunicaciones a fin de optimizar y obtener disponibilidad y calidad de comunicaciones en canales que experimentan ciertos niveles de congestión intermitentemente a corto o largo plazo. Permite a los enlaces mantener un nivel reducido de comunicaciones cuando hay un considerable volumen de ruido y/o interferencia, mientras que sin modulación adaptativa el enlace no funcionaría por debajo de su mínimo particular requerido $C/(N + I_{TOT})$ necesario para explotar ese enlace con su único nivel de modulación designado.

CUADRO 4

Capacidad de la pasarela en función de la modulación y la codificación

Modulación del enlace de pasarela	Codificación del enlace de pasarela	$C/(N + I_{ToT})^{(1)}$ requerida dB	Capacidad de una pasarela ⁽²⁾ Mbit/s	Capacidad de pasarela ~ - %	Eficacia específica bit/s/Hz
MAQ-64	2/3	26,3	533	100	4
MAQ-16	3/4	20,2	396	75	3
MAQ-16	1/2	11,9	267	50	2
MDP-4	1/2	4,5	133	25	1

⁽¹⁾ $I_{ToT} = I_{nGW} + I_{EX}$.

I_{nGW} = autointerferencia procedente de las otras $n - 1$ estaciones de pasarela.

n toma el valor de 1 a 5 dependiendo del número de estaciones de pasarela de las HAPS.

I_{EX} = interferencia externa procedente de estaciones terrenas no HAPS y plataformas a bordo de aeronaves.

$I_{EX} = I_{ES} + I_{AS}$ = interferencia de estación terrena + interferencia de plataforma a bordo de aeronave.

⁽²⁾ Capacidad de cada uno de los cinco enlaces de pasarela.

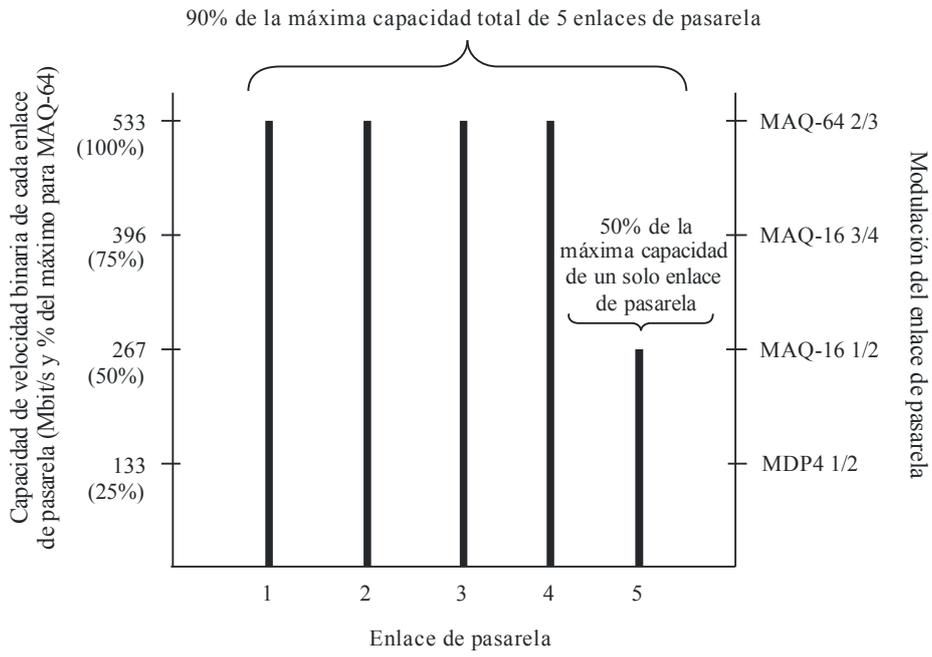
~ Comparado con el caso MAQ-64 2/3.

En el caso básico de cinco enlaces de pasarela ubicados simétricamente, y como muestra el Cuadro 4, un solo enlace de pasarela puede, por ejemplo, experimentar una caída real de $C/(N + I_{ToT})$ de 14 dB por debajo del nivel requerido para MAQ-64 y mantener aún el 50% de su capacidad funcionando con MAQ-16 1/2. En ese caso, la capacidad de pasarela total para las cinco estaciones de pasarela sería en efecto el 90% de la plena capacidad, incluso con una estación de pasarela funcionando temporalmente al 50% de su capacidad y las otras cuatro a plena capacidad. Esta adaptación de la modulación y la capacidad se ilustra en la Fig. 7. Si dos de los cinco enlaces de pasarela funcionan temporalmente con una capacidad del 25% (con MDP-4 1/2) la capacidad total de los cinco enlaces de pasarela sería el 70% de la capacidad total. Además, si uno de los cinco enlaces se pierde completamente (al 100%) por cualquier razón y los otros cuatro enlaces permanecen con su máxima capacidad, la capacidad total del enlace sería aún del 80%. Si esta reducción de la capacidad no se produce durante a la hora cargada, no sería necesario contar con plena capacidad durante ese periodo de tiempo. Si esto se produce de manera intermitente, pero durante la hora cargada¹⁰, los enlaces de pasarela afectados en particular tendrán que funcionar con una calidad de servicio inferior correspondiente a la menor capacidad hasta que el enlace de pasarela quede restaurado a su capacidad más elevada.

¹⁰ Se estima que la hora cargada aparece por término medio durante aproximadamente el 15% del tiempo total en un periodo de 24 horas. Se considera que el nivel de tráfico más bajo en cualquier instante del día es el 20% de la capacidad total.

FIGURA 7

Ejemplo de adaptación de modulación y capacidad de un enlace de pasarela



F.1891-07