

INFORME UIT-R F.2060

Utilización del servicio fijo en las redes de transporte de las IMT-2000

(Cuestión UIT-R 221/9)

(2005)

1 Introducción

Dado el aumento creciente de la demanda de tráfico de comunicaciones móviles representada por las IMT-2000, la utilización del servicio fijo (SF) en la red de transporte de la infraestructura móvil ha pasado a ser recientemente una aplicación importante.

La red de transporte de las IMT-2000 admite las conexiones entre las diferentes estaciones de base de la red así como las conexiones entre una estación de base y otras estaciones de la infraestructura IMT-2000, a fin de interconectar la red IMT-2000 a otras redes de telecomunicaciones.

2 Ámbito de aplicación

El presente Informe tiene por finalidad mostrar de qué manera el SF podría ser utilizado a diferentes niveles jerárquicos de la red de transporte de las IMT-2000 para garantizar las conexiones entre estaciones de base, y entre estaciones de base y estaciones de nivel superior dentro de esa red de transporte. En este Informe figura un ejemplo de utilización del SF en la red de transporte de las IMT-2000.

Para asegurar el funcionamiento de las redes IMT-2000 en la red de transporte, es necesario utilizar el SF. Según la evolución de dicha tecnología y las capacidades de transmisión requeridas a diferentes niveles de la red de transporte, podrían utilizarse distintas bandas de frecuencias del SF.

Este Informe indica posibles estructuras para las redes de transporte de las IMT-2000, y ofrece en especial una reseña de las necesidades de los sistemas celulares de la tercera generación (3G) (IMT-2000). También se examina en él la posible utilización de las bandas del espectro radioeléctrico ya atribuidas al SF. Independientemente de la capacidad de la red de transmisión, la selección de bandas de frecuencias depende de la situación local de los diferentes países (despliegue existente de bandas de frecuencias, número de operadores móviles (IMT-2000), y otros factores).

3 Referencias

Las referencias enumeradas a continuación facilitarán indicaciones suplementarias al lector:

- Recomendación UIT-R F.746: Disposiciones de frecuencias radioeléctricas para los sistemas del servicio fijo
- Recomendación UIT-R F.758: Consideraciones relativas a la elaboración de criterios para la compartición entre el servicio fijo terrenal y otros servicios
- Recomendación UIT-R F.1245: Modelo matemático de diagramas de radiación media y diagramas conexos para antenas de sistemas de radioenlaces punto a punto con visibilidad directa para aplicarlo en ciertos estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia en la gama de frecuencias de 1 GHz a unos 70 GHz
- Recomendación UIT-R F.1399: Terminología del acceso inalámbrico
- Recomendación UIT-R M.1224: Vocabulario de términos de las telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (IMT-2000)

- Recomendación UIT-R M.1390: Metodología para el cálculo de las necesidades de espectro terrenal de las telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (IMT-2000)
- Recomendación UIT-R P.530: Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa
- Recomendación UIT-R P.676: Atenuación debida a los gases atmosféricos
- Recomendación UIT-R P.837: Características de la precipitación para establecer modelos de propagación
- Manual sobre Implantación de sistemas IMT-2000: <http://www.itu.int/itudoc/qs/imt2000/84207.html>
- Informe 003 del ECC: Servicio fijo en Europa – Utilización actual y futuras tendencias posteriores a 2002

4 Lista de acrónimos

2G	Sistema móvil de segunda generación (<i>2nd generation mobile system</i>)
3G	Sistema móvil de tercera generación (IMT-2000) (<i>3rd generation mobile system (IMT-2000)</i>)
AAL	Capa de adaptación ATM (por ejemplo, AAL 0, AAL 2, AAL 5, ...) (<i>ATM adaptation layer (i.e. AAL 0, AAL 2, AAL 5,...)</i>)
ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
ATPC	Control automático de potencia de transmisión (<i>automatic transmission power control</i>)
BER	Proporción de bits erróneos (<i>bit error ratio</i>)
BS	Estación de base (<i>base station</i>)
BSC	Controlador de estación de base (<i>base station controller</i>)
BTS	Estación transceptora de base (<i>base transceiver station</i>)
C/I	Relación portadora/interferencia (<i>carrier-to-interference ratio</i>)
CBD	Distrito comercial central (<i>central business district</i>)
CBR	Velocidad binaria constante (<i>constant bit rate</i>)
CCDP	Doble polarización cocanal (<i>co-channel dual polarized</i>)
CS	Estación central (o estación de base central) (<i>central station (or central base station)</i>)
DSL	Línea digital de abonado (<i>digital subscriber line</i>)
FDCA	Atribución de capacidad dinámica rápida (<i>fast dynamic capacity allocation</i>)
FL	Pérdida de alimentación (<i>feeder loss</i>)
FM	Margen de desvanecimiento (<i>fade margin</i>)
IMT-2000	Sistema de telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (<i>international mobile telecommunication system-2000</i>)
IP	Protocolo Internet (<i>Internet protocol</i>)
LoS	Visibilidad directa (<i>line-of-sight</i>)
MAQ	Modulación de amplitud en cuadratura (<i>quadrature amplitude modulation</i>)

MDF	Modulación por desplazamiento de frecuencia (<i>frequency-shift keying</i>)
MDP	Modulación por desplazamiento de fase (<i>phase shift keying</i>)
MM	Multimedios (<i>multimedia</i>)
MSC	Centro de conmutación móvil (2G o 3G) (<i>mobile switching centre (2G or 3G)</i>)
OBQ	Cantidad de bits ofrecidos (<i>offered bit quantity</i>)
PDH	Jerarquía digital plesiócrona (<i>plesiosynchronous digital hierarchy</i>)
P-MP	Punto a multipunto (<i>point-to-multipoint</i>)
PoP	Punto de contacto (<i>point of presence</i>) (de un operador de fibra óptica)
P-P	Punto a punto (<i>point-to-point</i>)
RF	Frecuencia radioeléctrica (<i>radio frequency</i>)
RPE	Envolverte del diagrama de radiación (<i>radiation pattern envelope</i>) (de una antena)
SAP	Punto de acceso al servicio (<i>service access point</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SF	Servicio fijo (<i>fixed service</i>)
STM	Modo de transferencia síncrono (<i>synchronous transfer mode</i>)
Sub-CS	Subestación central (<i>sub-central station</i>) (o subestación de base central)
XPD	Discriminación por polarización cruzada (<i>cross-polarization discrimination</i>)
XPIC	Supresor de interferencia contrapolar (<i>crosspolar interference canceller</i>)

5 Estructura de la red de transporte de las IMT-2000

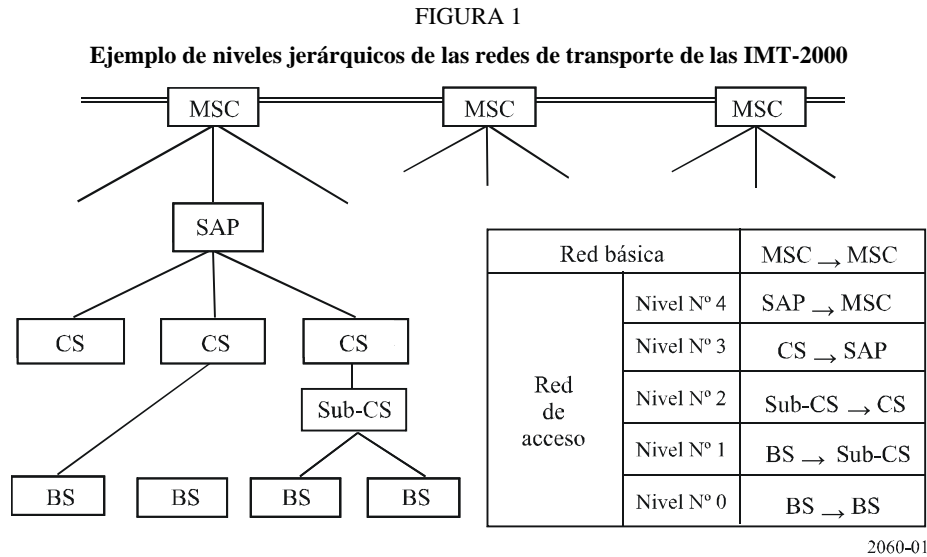
5.1 Ejemplo de niveles jerárquicos en la red de transporte de las IMT-2000

La red de transporte de las IMT-2000 consta de diferentes niveles jerárquicos que admiten las interfaces de transmisión de dicha red.

En principio, la red IMT-2000 consta de diferentes niveles jerárquicos y nodos de red. En el presente Informe, estos nodos se definen en la forma indicada a continuación, utilizando los términos expresados en las Recomendaciones UIT-R M.1224 y UIT-R F.1399:

- MSC: centros de conmutación móviles en la red IMT-2000 que organizan todo el flujo de tráfico y representan la interconexión a la red fija;
- SAP: punto de acceso al servicio – nodo básico en el interior de la red con funciones de conmutación para las estaciones de base subordinadas en la IMT-2000;
- CS: estación central (o estación de base central) – estación de base en la que convergen varios enlaces en modo P-P o P-MP para conectar las estaciones de base circundantes;
- Sub-CS; subestación central (o subestación de base central) – estación de base con función de transporte de tráfico intermedia entre la CS y otras estaciones de base;
- BS: estación de base – excepto las estaciones clasificadas entre los nodos indicados anteriormente, la estación de base es un nodo que constituye un extremo de la red de transporte.

En la Fig. 1 se observa la topología general de la red de transporte de las IMT-2000. Cada uno de los niveles jerárquicos que identifican los enlaces de conexión utilizados para varias jerarquías de la red de transporte serán examinados posteriormente desde el punto de vista de la utilización del servicio fijo.



En la fase inicial, es probable que la mayoría de las conexiones sean proporcionadas por enlaces inalámbricos fijos. A medida que evolucionan las redes IMT-2000, otras conexiones de gran capacidad (por ejemplo, fibras ópticas) podrán ser sustituidas.

En el Anexo 1 se describen ejemplos de topologías detalladas de los niveles jerárquicos de la red de transporte de las IMT-2000.

5.2 Requisitos de capacidad y de longitud de salto en la red de transporte

Para utilizar las redes IMT-2000 se necesita una gran variedad de interconexiones en función de la longitud de salto y la capacidad de transporte. En particular, la capacidad de transporte depende de las necesidades del usuario en materia de servicios de telecomunicaciones móviles para los cuales la Recomendación UIT-R M.1390 facilita una metodología de cálculo que permite determinar esos requisitos.

En el Cuadro 1 se enumeran las capacidades de transporte previstas para la interconexión entre las diferentes capas. En el Anexo 2 figuran más detalles sobre la manera en que se obtienen esas capacidades. Dado que se ha tenido en cuenta la evolución de las redes en ese sentido, las capacidades previstas se aplican a corto y largo plazo.

En el Cuadro 2 pueden observarse diversas longitudes de salto en distintos entornos de funcionamiento (rural y urbano) de la red celular. La información facilitada sobre la capacidad y la longitud de salto permite determinar el medio que responderá mejor a los requisitos de las diferentes capas de las redes IMT-2000.

CUADRO 1

Capacidades de enlace previstas para la interconexión de los diferentes niveles jerárquicos de las redes IMT-2000

Nivel jerárquico ⁽¹⁾	A corto plazo	A largo plazo
Nivel jerárquico N° 0	4-8 Mbit/s	4-34 Mbit/s
Nivel jerárquico N° 1	8-34 Mbit/s	8 Mbit/s – STM-1
Nivel jerárquico N° 2	34 Mbit/s – STM-1	$n \times 34$ Mbit/s – n STM-1
Nivel jerárquico N° 3	34 Mbit/s – 2 STM-1	n STM-1 – n STM 16
Nivel jerárquico N° 4	n STM-1	n STM1 – n STM-16

⁽¹⁾ Para las definiciones, ver la Fig. 1.

CUADRO 2

Longitudes de salto para la interconexión de los diferentes niveles jerárquicos de las redes IMT-2000

Nivel jerárquico ⁽¹⁾	Zonas urbanas (km)	Zonas rurales (km)
Nivel jerárquico N° 0	0,5-1,4	5-16
Nivel jerárquico N° 1	0,5-2,5	5-20
Nivel jerárquico N° 2	2,0-5,0	5,0-20
Nivel jerárquico N° 3	5-10	5,0-50
Nivel jerárquico N° 4	0-20	0-20

⁽¹⁾ Para las definiciones, ver la Fig. 1.

5.3 Medios de transporte utilizados en la red de transporte

En la red IMT-2000, la totalidad de esas conexiones no son necesariamente equipos radioeléctricos, lo cual depende de:

- la capa de red considerada;
- las instalaciones técnicas de ciertos operadores de redes;
- el marco económico.

En estas redes, un cierto porcentaje de interconexiones pueden funcionar por cable (por ejemplo, sistemas DSL) o por fibras ópticas.

Debido a sus funciones en la red, los diferentes niveles de red tienen requisitos diferentes en materia de capacidad de telecomunicación y de objetivos de disponibilidad. Estos niveles formarán una red de transporte de cinco niveles jerárquicos que pueden ser admitidos por diferentes medios de transporte:

- niveles jerárquicos N° 0, N° 1 y N° 2 (conexiones entre BS, acceso de la BS a la Sub-CS y/o CS) utilizando esencialmente cable o enlaces inalámbricos fijos P-P y/o P-MP;
- nivel jerárquico N° 3 (interconexión de la CS y del SAP) utilizando enlaces inalámbricos fijos P-P y fibras ópticas;

- nivel jerárquico N° 4 (interconexión entre SAP, de los MSC y posiblemente un punto de contacto (PoP) a las redes de fibra óptica) utilizando esencialmente fibras ópticas;
- red básica (interconexión entre MSC) utilizando esencialmente fibras ópticas.

Hay también otras posibilidades; por ejemplo, en la red de transporte, un cierto nivel jerárquico cursa el tráfico de capas inferiores de la red de transporte.

6 Aplicaciones del SF en las redes de transporte de las IMT-2000

En esta sección se examinan las bandas de frecuencias del servicio fijo y su aplicabilidad y conveniencia de utilización en el marco de las IMT-2000. Los aspectos que aquí se examinan son los siguientes: características técnicas y físicas de las bandas correspondientes, posibles densidades de los enlaces, necesidades relativas a los sistemas actuales o futuros, y también otros factores que influyen en la aplicabilidad y conveniencia de utilización de ciertas bandas. Además, se establecerá una comparación entre las topologías y los aspectos específicos de las bandas.

6.1 Características de las bandas del SF

En general, todas las bandas de frecuencias disponibles para el servicio fijo podrían ser utilizadas en las redes de transporte de las IMT-2000. En las secciones siguientes se examinarán características técnicas de ciertas bandas del servicio fijo tales como las capacidades de transmisión apropiadas, la separación entre canales, los niveles de modulación, el número disponible de canales y las longitudes típicas del enlace.

6.1.1 Información relativa a las posibles bandas de frecuencias para las redes de transporte de las IMT-2000

Conviene recordar que, en ciertos casos, la utilización en un país dado puede variar con respecto a las características generales que se describen a continuación. Por otra parte, también conviene no olvidar que, aparte de las características técnicas y físicas descritas en los Cuadros 3 y 4, hay que tener en cuenta otros numerosos factores que podrían tener una importante incidencia en la utilización de un cierto número de bandas. Estos factores se describen en el § 6.4, donde las características de los enlaces inalámbricos establecidos a partir de la topología de la red IMT-2000 se comparan con las características específicas de las bandas.

Dado que la estructura y la densidad de la red de transporte de las IMT-2000 exige un gran número de frecuencias, en particular para saltos cortos comprendidos entre unos pocos kilómetros y unas decenas de kilómetros, la mayoría de las bandas de frecuencias consideradas, especialmente para zonas de densa población, se sitúan en la gama de frecuencias superior a 11 GHz, aunque las bandas inferiores a ese valor también pueden ser utilizadas para ciertos enlaces en zonas de más escasa población de la red de infraestructura de las IMT-2000. Con todo, conviene reconocer que hace falta disponer de bandas del servicio fijo por debajo de 3,4 GHz para atender a las comunidades más aisladas, donde es necesario disponer de saltos de gran longitud para reducir al mínimo el número de emplazamientos. Este aspecto es importante para asegurar un acceso económico a la red en dichas zonas.

CUADRO 3

**Características de las bandas de frecuencias por encima de 3,4 GHz
para los sistemas P-P y P-MP**

Banda (GHz)	Recomendación UIT-R F.	Longitud típica del enlace en zonas de clima templado (km)
3,6	1488	5-15 (P-MP)
4	382 635	20-80
5	746 1099	20-80
Parte inferior de la banda de 6 GHz	383	20-80
Parte superior de la banda de 6 GHz	384	20-80
7	385	20-80
8	386	20-80
10	747	10-50
11	387	10-50
13	497	5-35
14	746	5-35
15	636	5-30
18	595	4-25
23	637	3-20
27	748	2-12
32	1520	1-10
38	749	1-6
52	1496	<2
57	1497	<2

En la Recomendación UIT-R F.746 puede hallarse más información sobre el Cuadro 3, por ejemplo con respecto a la separación entre canales para cada una de esas bandas de frecuencias.

CUADRO 4

**Capacidad de los enlaces inalámbricos fijos según
la anchura de banda y la modulación**

Anchura de banda (MHz)	Capacidad (Mbit/s)						
	2 × 2	8	2 × 8	34	51	155	2 × 155
3,5	4 estados	16 estados					
7		4 estados	16 estados				
13,75; 14			4 estados	16 estados	32 estados		
27,5; 28; 29,65				4 estados	16 estados	128 estados	128 estados (CCDP)
40						64 estados	64 estados (CCDP)
55; 56						16 estados	16 estados (CCDP)

NOTA 1 – La doble operación cocanal (CCDP) con cancelación por polarización cruzada se utiliza hasta 13 GHz pero también podrá utilizarse, en un futuro cercano, en bandas más altas. Con este modo de funcionamiento se puede duplicar la capacidad por canal transmitiendo simultáneamente en dos polarizaciones ortogonales (H y V) dentro del mismo canal.

NOTA 2 – Las modulaciones se designan por su número de estados digitales; por ejemplo, la modulación 4-PSK es una modulación en 4 estados.

6.1.2 Repercusión de la lluvia

Esta sección facilita ciertas indicaciones para saber de qué manera las condiciones climáticas podrían afectar la elección de bandas de frecuencias del SF en la red de transporte de las IMT-2000.

La elección de la banda más adecuada para una infraestructura del SF aplicada a las redes móviles depende de varios parámetros, tanto de carácter reglamentario (por ejemplo, bandas autorizadas o no para el SF, licencia del operador que limita el acceso a ciertas bandas) como técnico. En este último caso, convendría tener en cuenta la repercusión de la lluvia sobre los parámetros de carácter técnico y, por consiguiente, sobre la elección de la banda.

Evidentemente, esa elección dependerá en gran medida de la zona geográfica en la que se instalen las redes del SF.

Por ello, se ha efectuado una comparación entre la utilización de las bandas de 18, 23 y 38 GHz y su capacidad para cumplir los requisitos de las redes capilares del SF. En particular, se han realizado estudios sobre las longitudes de salto máximas para esas bandas de frecuencias, según ciertas zonas hidrometeorológicas geográficas. Para esos estudios, se ha tenido en cuenta la Recomendación UIT-R P.837-1.

A raíz de esos estudios, parece que en las zonas hidrometeorológicas M, N, P y Q, que abarcan varias zonas sujetas a condiciones climáticas tropicales o ecuatoriales, las características de la banda de 18 GHz en cuanto a la longitud máxima de salto son muy similares a las de las bandas de 23 ó 38 GHz en la zona hidrometeorológica E, que abarca otras zonas geográficas con condiciones climáticas diferentes, como ocurre, por ejemplo, en Europa. Los valores en materia de distancia facilitados en el Cuadro 3 ya no son válidos para las zonas hidrometeorológicas M, N, P y Q.

Las bandas de 23 GHz y 38 GHz, que en las condiciones climáticas de Europa son perfectamente indicadas para una utilización en la red de transporte de los sistemas móviles, pueden no presentar las mismas posibilidades en otras zonas con un nivel más elevado de precipitaciones. Pueden, por ejemplo, estar limitadas a enlaces muy cortos en zonas de densa población.

Por este motivo, se prevé que en áreas que pertenecen a las zonas hidrometeorológicas M, N, P y Q, la banda de 18 GHz podría desempeñar un papel importante en la red de transporte de los sistemas móviles, similar al que desempeñan las bandas de 23 y 38 GHz en Europa.

En el Anexo 3 puede hallarse información más detallada sobre las redes de transporte de sistemas móviles en Europa y el resultado de las estimaciones para las bandas de 18, 23 y 38 GHz.

6.2 Requisitos técnicos para sistemas P-P y P-MP

Los requisitos técnicos para sistemas P-P o P-MP dependen de la parte de la estructura de la red IMT-2000 examinada y también de la densidad del enlace.

6.2.1 Máxima utilización del espectro

En la red de transporte de las IMT-2000 pueden utilizarse tanto los sistemas P-P como los sistemas P-MP.

En ciertos casos, por motivos económicos, sólo los sistemas P-P pueden implantarse en las zonas rurales. En zonas urbanas y zonas urbanas densas puede utilizarse uno u otro sistema. La elección entre estas dos tecnologías en las zonas urbanas y zonas urbanas densas puede deberse a factores tales como los requisitos de capacidad en los nodos de acceso, la gestión del tráfico, la longitud del salto, los objetivos de disponibilidad y las restricciones inherentes a las zonas urbanas.

La utilización eficaz del espectro es una condición fundamental para que todos los operadores de red interesados puedan implantar su propia red utilizando bandas de frecuencias limitadas.

Es importante destacar que la aplicación del control automático de potencia de transmisión (ATPC), de un supresor de interferencia contrapolar (XPIC) (para sistemas SDH, cuando sea posible) y la utilización de antenas con una envolvente del diagrama de radiación (RPE) correcta y una discriminación por polarización cruzada (XPD) perfeccionada podrían reforzar la utilización eficaz del espectro.

6.2.1.1 Ventajas de combinar sistemas de baja y alta modulación en las redes P-P

En una red inalámbrica fija se deben utilizar a la vez sistemas de modulación de bajo nivel (por ejemplo, 4 estados) y de alto nivel (por ejemplo, 16 estados o más).

En una red IMT-2000 típica, la combinación de ambos sistemas de modulación optimiza las ventajas y los inconvenientes entre el costo y la eficacia del espectro, ya que no hay ninguna solución definitiva que dé respuesta a cada caso:

- los equipos con sistemas de modulación más alta son más costosos y, además, más sensibles a las degradaciones (por ejemplo, a una propagación multitrayecto) que los equipos con sistemas de modulación más baja;
- sin embargo, es más eficaz utilizar sistemas de modulación con mayor número de estados en los sistemas de capacidad más elevada (en general, sistemas SDH) para reducir el espectro necesario, para integrarse a anchuras de banda limitadas o, para todos los tipos de sistema, en las partes de la red en que hay una escasez de espectro o se prevé que pueda haberla.

Por otra parte, los sistemas de modulación adaptable pueden optimizar el caudal de tráfico de los sistemas P-MP utilizando el sistema de modulación más elevado admitido a todo instante según las condiciones del enlace (es decir, la influencia de las condiciones de propagación) y las demandas de

tráfico en el momento de la comunicación. De esta forma, cuando se combina con otros factores específicos de los sistemas P-MP, como las ganancias de multiplexación estadística, puede lograrse un incremento ventajoso en la utilización del espectro. Los sistemas de modulación adaptable se consideran un elemento corriente de las normas sobre interfaz radioeléctrica para el acceso inalámbrico fijo en banda ancha elaboradas por ciertas organizaciones de normalización. La aplicación de esta técnica a los sistemas P-P empieza también a despertar interés.

6.2.2 Capacidad relativa al tratamiento de tráfico

En los sistemas P-P, las interfaces necesarias para el equipo de transporte se definen por la capacidad de transporte entre la BS y el SAP: hasta 4×2 Mbit/s o 34 Mbit/s, o entre los SAP (que necesitan capacidades de transporte más elevadas): 34 Mbit/s, 2×34 Mbit/s o $n \times$ STM-1.

En los sistemas P-MP, el problema de la capacidad es aún más complicado debido a consideraciones vinculadas a la zona de cobertura. Muchos centros P-MP pueden transportar hasta 130 Mbit/s/28 MHz en cualquier zona de cobertura sectorial por canal. Las ganancias de multiplexación podrían aumentar las posibilidades de atribuir este recurso a un cierto número de nodos dentro de la zona de cobertura.

Aunque aumente el tráfico de datos, el tráfico vocal que tiene características simétricas y asimétricas seguirá siendo importante. Por este motivo, el equipo debe cursar con eficacia diferentes tipos de información brindando la posibilidad de transportar la capacidad máxima necesaria a tiempo para la conexión considerada con el nivel apropiado de servicio.

No obstante, la naturaleza del tráfico cambiará durante el curso de desarrollo de las IMT-2000. El posible paso de servicios vocales, que tienen gran difusión, a servicios de datos podría tener repercusiones en la naturaleza del tráfico que debe cursarse, por ejemplo con respecto a la asimetría del tráfico entre los sentidos ascendente y descendente de los enlaces. Convendría que los sistemas P-MP tuvieran la suficiente flexibilidad para tener en cuenta esta evolución de las necesidades, adaptando el sistema de modulación enlace ascendente/enlace descendente o la relación del recurso de tiempo de transmisión entre el enlace ascendente y el enlace descendente.

6.2.3 Mecanismos de transporte

Algunos mecanismos de transporte se basan en el modo de transferencia asíncrono (ATM). Las interfaces de transmisión están basadas principalmente en las interfaces PDH y SDH bien conocidas, como las de 2 Mbit/s, 34 Mbit/s, STM-0 y STM-1, que aprovechan en general las ventajas aportadas por las capas de adaptación ATM (AAL 1 para el tráfico 2G a velocidad binaria constante, AAL 2 y AAL 5).

Teniendo en cuenta la futura evolución de las IMT-2000, otras interfaces podrán alcanzar mayor preponderancia.

6.2.4 Disponibilidad y calidad

Tradicionalmente, los operadores han instalado sus redes de retorno móviles basándose en una combinación de enlaces inalámbricos fijos P-P y líneas arrendadas. El principal factor decisivo en la opción entre enlaces inalámbricos fijos y líneas arrendadas reside en las necesidades de cada operador en lo que concierne al control de la red y a la calidad de transmisión.

En redes con una elevada penetración de enlaces inalámbricos fijos, las conexiones entre las estaciones de base móviles y la central de conmutación se dimensionan para una disponibilidad igual o superior al 99,95%, lo cual corresponde a cuatro horas de falta de disponibilidad por año. La utilización de técnicas de codificación eficaces podría garantizar un funcionamiento prácticamente libre de errores durante los periodos de disponibilidad.

En esas condiciones, los enlaces inalámbricos fijos son aptos para el tipo de transporte ATM e IP. En conclusión, la disponibilidad de una red que utiliza enlaces inalámbricos fijos depende, en gran medida, de la planificación.

6.2.5 Protección

Lo más importante para el operador es el tráfico de los usuarios finales. Si el servicio prestado no es fiable, los usuarios cambiarán de proveedor. Con un equipo de elevada calidad y mecanismos de protección adicionales el operador dispondrá de los medios necesarios para ofrecer servicios de alta calidad.

Un sistema inalámbrico fijo cuenta con elementos que permiten asegurar la protección necesaria contra fallos del equipo y también contra anomalías en la propagación radioeléctrica. Se duplica una parte del material para admitir configuraciones protegidas situadas en uno o ambos extremos de la conexión radioeléctrica. El equipo de transmisión puede configurarse para el modo de transmisión con recuperación inmediata (hot stand-by) o para el modo de transmisión de recuperación independiente: diversidad de frecuencias $(1 + 1)$ o $(N + 1)$.

Un nodo de concentración inteligente asociado a una arquitectura adecuada de la red de transporte añade aún otro nivel de protección, es decir, la protección de la red. Con esta funcionalidad, el operador puede elaborar estructuras en anillo fiables utilizando cualquier capacidad inalámbrica fija de hasta 155 Mbit/s. Los mecanismos de protección en anillos funcionan a nivel primario y aseguran la protección de todos los afluentes primarios determinados con precisión en la totalidad de la carga útil.

6.3 Densidad de enlaces P-P en la red de transporte de las IMT-2000

En general, sería conveniente utilizar antenas omnidireccionales para aumentar la densidad de los enlaces P-P en la red de transporte. Por lo tanto, en redes densas habría que dar preferencia al diagrama de antena indicado en la Recomendación UIT-R F.1245.

Utilizando polarizaciones diferentes se incrementa considerablemente la densidad de los terminales (teniendo en cuenta la polarización cruzada de la antena, pero también el hecho de que, debido a las pérdidas de propagación causadas por precipitaciones atmosféricas desiguales, la utilización de la polarización horizontal a frecuencias más elevadas (por ejemplo, a 38 GHz) está restringida a enlaces muy cortos).

Para obtener resultados más realistas, deberían tenerse en cuenta otros elementos, por ejemplo el ATPC o parámetros como la influencia de canales adyacentes o cercanos.

En ciertos casos, para incrementar la densidad de los terminales en una instalación de redes densa podría aceptarse una degradación mayor del umbral, si todavía es posible cumplir los objetivos de calidad de funcionamiento y de disponibilidad y si el aumento de esa degradación puede ser compensada en el balance del enlace.

6.4 Comparación entre las topologías y las características de las bandas

En esta sección se hace hincapié en que se pueden crear topologías de la red considerando las características de las bandas así como otros factores de influencia para poder atribuir bandas de frecuencias a partes específicas de la red de transporte de las IMT-2000.

En el § 5.2 y en el Anexo 1 puede obtenerse más información sobre topologías de la red. Las características de la banda y otros factores de influencia se describen, respectivamente, en los § 6.1 y 6.4.2.

6.4.1 Comparación entre las topologías y las características de las bandas descritas en el § 6.1 (sin tener en cuenta otros factores)

En los Cuadros 5 y 6 se enumeran las posibles bandas de frecuencias para sistemas P-P y P-MP, respectivamente, en relación con las capas de red. Esta información sólo tiene en cuenta las características de las bandas y las Recomendaciones existentes y las normas aplicables a los equipos para esas bandas. En cambio, no tiene en cuenta ningún otro factor (por ejemplo, una utilización específica del espectro en un determinado país) que podrían tener repercusiones importantes en la disponibilidad y conveniencia de las bandas.

CUADRO 5

Posibles bandas de frecuencias para sistemas P-P en relación con diferentes niveles jerárquicos de la red IMT-2000

Nivel jerárquico ⁽¹⁾	Bandas de frecuencias (GHz)	Bandas de frecuencias adecuadas de más corto alcance (GHz)	Bandas de frecuencias adecuadas de más largo alcance (GHz)
Nivel jerárquico N° 0	11-64	27-32-38-52-57	11-13-15-18-23-27-32
Nivel jerárquico N° 1	11-57	27-32-38-52-57	11-13-15-18-23-27-32
Nivel jerárquico N° 2	11-38	27-32-38	11-13-18-23-27-32
Nivel jerárquico N° 3	4-32	13-18-23-27-32	4-L6-U6-7,5-11-13-18
Nivel jerárquico N° 4	< 18	13-18	<18

⁽¹⁾ Para las definiciones, ver la Fig. 1.

CUADRO 6

Posibles bandas de frecuencias para sistemas P-MP en relación con diferentes niveles jerárquicos de la red IMT-2000

Nivele jerárquico ⁽¹⁾	Posibles bandas de frecuencias (GHz)
Nivel jerárquico N° 0	26-28-32-38
Nivel jerárquico N° 1	26-28-32-38
Nivel jerárquico N° 2	3,5
Nivel jerárquico N° 3	3,5
Nivel jerárquico N° 4	No puede utilizarse en P-MP

⁽¹⁾ Para las definiciones, ver la Fig. 1.

6.4.2 Otros factores a tener en cuenta en el examen de bandas para la infraestructura IMT-2000

Cuando se examinan las bandas de frecuencias para la infraestructura IMT-2000, deben tenerse en cuenta otros numerosos factores, por ejemplo:

- problemas de compartición con otros servicios de radiocomunicaciones;
- congestión del espectro debido a las actuales asignaciones de frecuencias en cada país;
- asuntos en materia de reglamentación nacional.

6.5 Reclasificación de los enlaces 2G existentes a enlaces 3G

Es probable que, llegado el momento, las redes ya existentes admitan la presencia de enlaces 3G. Por consiguiente, debido al aumento de la capacidad necesaria, en comparación con la correspondiente a los enlaces 2G, incluidas las aplicaciones avanzadas que generalmente se ofrecen hoy en día en el marco de la tecnología 2G, será necesario modernizar los actuales enlaces P-P que admiten esas redes.

A raíz de las dificultades prácticas que supone pasar de los actuales enlaces PDH a enlaces SDH y del aumento de disponibilidad debida a la propagación (por regla general, entre 99,99% y 99,995%), se describe a continuación en detalle una solución posible para modernizar dichos enlaces haciendo especial hincapié en las atribuciones de bandas de frecuencias que podrían ser necesarias.

6.5.1 Evolución hacia las redes 3G

Las actuales redes 2G se han basado en gran medida en la infraestructura radioeléctrica P-P que conecta el MSC, el controlador de estación de base (BSC) y la estación transceptora de base (BTS). La enorme mayoría de enlaces son de tipo PDH con capacidades de 2-34 Mbit/s y, en muchos casos, se han utilizado bandas de frecuencias de 23 y 38 GHz. Esas bandas admiten longitudes de salto comprendidas entre <1-20 km.

Para admitir los servicios de 3G, se prevé que la capacidad del tráfico de datos aumentará en una proporción tal que no podrá ser cursado por la infraestructura 2G actual, en particular en las zonas urbanas de la red. Se prevé que un elevado porcentaje de enlaces PDH que transportan en la actualidad una capacidad de 16 a 34 Mbit/s adoptará las capacidades SDH, en especial el modo STM-1. Convendría recordar que la implantación de los enlaces PDH estaba prevista con una disponibilidad debida a la propagación del 99,99%. Con los enlaces SDH, esa disponibilidad aumentará, como mínimo, a 99,995%.

El tráfico móvil considerado para efectuar las estimaciones indicadas *supra* incluye el transporte de señales vocales de alta calidad, de paquetes a alta velocidad y de señales multimedios de anchura de banda media/alta. Se presume que en 2010 la capacidad requerida para cada estación se cuadruplicará en comparación con la del sistema 2G en términos de valor acumulativo al 90%. Tal vez sea necesaria una capacidad de 30 a 50 Mbit/s para responder a la mayor parte de la demanda de capacidad de los sistemas 3G.

6.5.2 Limitaciones de carácter tecnológico

La tecnología actual limita la ganancia global de los sistemas SDH STM-1, en comparación con la capacidad de un sistema PDH existente. Ello afectará la longitud máxima posible para un enlace P-P en una determinada banda de frecuencias. Teóricamente, el operador prefiere transformar un enlace PDH en enlace SDH en la misma banda de frecuencias. Sin embargo, cuando el enlace PDH se ha instalado utilizando la longitud máxima posible de la banda, a veces no es posible que el nuevo enlace SDH se mantenga en la misma banda.

6.5.3 Ganancia del sistema

En los Cuadros 7 y 8 se muestra en detalle el efecto de la «pérdida» de ganancia del sistema utilizando los parámetros de los sistemas inalámbricos fijos más recientes que funcionan en las bandas de frecuencias de 23 GHz y 38 GHz.

CUADRO 7

Ganancia del sistema a 23 GHz

Capacidad/anchura de banda	Potencia O/P tipo (dBm)	Ganancia del sistema ⁽¹⁾ (dB)	«Pérdida» de ganancia del sistema (dB)
16 Mbit/s/14 MHz	+17	94,5	–
34 Mbit/s/28 MHz	+17	91,5	–3
STM-1/28 MHz	+17	79	–15,5
STM-1/56 MHz	+18	84,5	–10

⁽¹⁾ En relación con una BER de 10^{-6} , para sistemas no protegidos.

CUADRO 8

Ganancia del sistema a 38 GHz

Capacidad/anchura de banda	Potencia O/P tipo (dBm)	Ganancia del sistema ⁽¹⁾ (dB)	«Pérdida» de ganancia del sistema (dB)
16 Mbit/s/14 MHz	+16	89,5	–
34 Mbit/s/28 MHz	+16	86,5	–3
STM-1/28 MHz	+15,5	74	–15,5
STM-1/56 MHz	+15	77,5	–12

⁽¹⁾ En relación con una BER de 10^{-6} , para sistemas no protegidos.

La pérdida de ganancia del sistema puede calcularse en términos de distancia máxima alcanzable para una capacidad dada y para una banda de frecuencias determinada. En las bandas de frecuencias más altas, la pérdida de ganancia del sistema tiene un efecto considerable en la longitud máxima de salto que puede obtenerse en sistemas de capacidad más elevada.

Una solución técnica que permite recuperar parte de la «pérdida» de ganancia del sistema consiste en aumentar el tamaño del reflector de la antena, aunque es posible que los comités locales de planificación no toleren los efectos causados en el medio ambiente por la instalación de antenas de mayor tamaño. Por otra parte, es también posible que las estructuras actuales de las torres no puedan soportar antenas de mayor tamaño debido a la presión ejercida por el viento.

Conviene recordar que esta medida podría afectar otras asignaciones de enlace al SF así como la compatibilidad con otros servicios que comparten la misma banda, como los servicios pasivos, y, por consiguiente, su aplicación debería tenerse en cuenta a la hora de planificar los enlaces.

En la etapa inicial de la implantación de las IMT-2000, es a la vez eficaz, económico y bueno para el medio ambiente utilizar el mismo emplazamiento que el de los sistemas 2G. Esto significa que las estaciones de base 3G se superponen a las estaciones de los sistemas 2G que utilizan los mismos emplazamientos. También en esos casos, la capacidad necesaria para la red de acceso radioeléctrico aumentará considerablemente debido a la conversión del sistema 2G en sistema 3G.

Es evidente que para modernizar los enlaces PDH existentes por el mismo trayecto habrá que considerar otras bandas de frecuencias. Ya que las redes 2G actuales se transformarán en redes 3G, no es realista esperar una reconfiguración total de la red en las primeras etapas de desarrollo.

6.5.4 Compartición del emplazamiento

Dado que los enlaces de capa más alta pueden transportar un caudal de tráfico de red inferior, una estación del MSC puede admitir los SAP. La misma relación podría aplicarse a los SAP y a la CS. La compartición del emplazamiento por instalaciones nodales con diferentes capas presenta la ventaja de facilitar un mantenimiento y funcionamiento eficaces.

En una zona metropolitana amplia y de alta densidad, se necesitan varios MSC y los SAP podrían concentrarse en el mismo edificio que dicho centros. Por consiguiente, debido a una jerarquía reducida, se simplificará la configuración de las redes.

6.6 Compartición de infraestructuras entre operadores de sistemas 3G

Si las autoridades encargadas de la gestión de frecuencias lo permiten o promueven, sería ventajoso que los operadores móviles compartieran su infraestructura. En el «Manual sobre implantación de sistemas IMT-2000» puede hallarse más información sobre compartición de infraestructuras.

7 Aspectos vinculados a la asignación de frecuencias

7.1 Utilización de asignaciones a sistemas 2G y su conversión en asignaciones a sistemas 3G

Las actuales asignaciones de enlaces del SF destinadas a la utilización en redes con infraestructura móvil 2G podrían aplicarse en una red con infraestructura combinada 2G/3G. No obstante, podría ser muy difícil (incluso a veces imposible) que la red de transporte de las IMT-2000 utilizara directamente las asignaciones existentes a sistemas 2G debido al aumento de las demandas de capacidad y a la congestión del espectro.

Esto supone que es necesario disponer de nuevas bandas de frecuencias para admitir redes 2G/3G combinadas. A medio (y largo) plazo, es posible efectuar en las bandas más bajas una adaptación de las antiguas asignaciones a las demandas de capacidad más alta necesarias. Según la situación de cada país, podría ser favorable una modificación sucesiva y completa de las asignaciones a bandas más altas, al menos en zonas de densa población, con miras a transformar una red 2G en una red 2G/3G combinada y disponer de una parte más importante de espectro en bandas más bajas. De esa forma, el espectro disponible en esas bandas puede ser utilizado para otras aplicaciones de gran capacidad, que las bandas más altas no podrían admitir debido a la pérdida de ganancia del sistema.

Con todo, los operadores deberían tener la opción de aplicar nuevas asignaciones de frecuencias enlace por enlace en zonas rurales y de volver a utilizar los equipos inalámbricos fijos existentes.

7.1.1 Posibles cambios en las necesidades de frecuencias de la red básica

Parte inferior de la banda de 6 GHz: esta banda seguirá siendo muy utilizada en los bucles SDH regionales. Una parte de los enlaces instalados utilizará fibra óptica pero, a nivel local, será necesario utilizar canales suplementarios en otras bandas de frecuencias como la parte superior de las bandas de 6 ó 4 GHz.

Banda 13 GHz: según se observa en la Fig. 3 del § 7.2.2.2, la asignación presenta una cierta similitud con la utilizada en las redes de transporte que necesitan una capacidad más alta. El espectro, marcado con una línea de puntos en esa figura, indica una disposición con canales intercalados y una separación de 40 MHz, que podría utilizarse para una transmisión hasta el modo STM-1. Por consiguiente, sería posible una gestión armonizada del espectro entre enlaces de retorno de estaciones de base y de redes de transporte de largo y corto alcance.

En la banda de 13 GHz, un gran número de enlaces a 34 Mbit/s quedarán saturados. Para afrontar este aumento de tráfico, será importante utilizar otras bandas de frecuencias con condiciones de propagación equivalentes (como la banda de 11 GHz) o transformar esos enlaces en enlaces de capacidad SDH, en función de la atribución nacional de enlaces SDH en los canales de 28 MHz, con lo cual se cuadruplicará la velocidad binaria de numerosos enlaces existentes.

Banda de 18 GHz: esta banda es muy importante para los enlaces SDH urbanos y para la conexión de emplazamientos al bucle de fibra óptica en las zonas rurales. Esta banda también es importante para los enlaces PDH de velocidad binaria media. Además, se utilizará para aliviar la banda de 13 GHz y absorber parte del aumento previsto de tráfico en la banda de 23 GHz.

7.1.2 Posibles cambios en las necesidades de frecuencias de la red de acceso

Las velocidades binarias necesarias en la red de acceso aumentarán rápidamente con la llegada de nuevos servicios móviles de alta capacidad. Para estimar las necesidades de frecuencias a que darán lugar, puede efectuarse una simulación de la red partiendo del supuesto de que existen volúmenes diferentes de tráfico por estación de base en una zona urbana.

Para responder a este aumento de la capacidad del bucle local, se prevén varias soluciones:

- utilizar una modulación más eficaz, como la 16-QAM, ya que la reducción de la distancia máxima del salto admitida sigue siendo aceptable en zonas urbanas de densa población;
- utilizar mayores anchuras de banda (14 MHz, o incluso 28 MHz) en las bandas de frecuencias de 23 GHz y 38 GHz ya existentes;
- utilizar nuevas bandas de frecuencias entre 23 GHz y 38 GHz, dado que, debido a la ocupación actual de esas bandas, será difícil responder a las necesidades de disponer de frecuencias adicionales en ambas bandas. Es razonable estimar que en las bandas comprendidas entre 23 y 38 GHz cada operador necesita como mínimo 2×112 MHz;
- utilizar nuevas bandas de frecuencias por encima de 50 GHz para enlaces muy cortos entre picocélulas, por ejemplo de 52 GHz o 57 GHz.

7.2 Asignación de bloques de frecuencias/medidas de protección entre operadores

La densidad de estación de base necesaria en zonas metropolitanas determina las necesidades de espectro de los enlaces del servicio fijo para las IMT-2000. Es probable que en los primeros años de implantación de esta tecnología se necesite un gran número de estaciones de base, principalmente en zonas de gran densidad. Por ejemplo, para una cobertura de población del 50% (8,5% de la zona) son necesarias en Alemania 10 000 estaciones de base por operador. El despliegue de esta red deberá finalizar cuanto antes. Pasados esos primeros años, se necesitarán otras 10 000 ó 20 000 estaciones de base para ampliar la cobertura a ciertas zonas rurales y aumentar la capacidad en zonas de gran densidad. Para responder a la demanda de un rápido aumento de estaciones de base y de una infraestructura de SF, se necesita un procedimiento rápido de asignaciones, que puede aplicarse por diversos medios:

- asignaciones enlace por enlace informatizadas con respuesta rápida por parte del regulador;
- asignaciones de bloques de frecuencias;
- combinación de ambos métodos.

La mayoría de enlaces inalámbricos fijos para la conexión de las estaciones de base tiene una capacidad baja y media con distancias cortas entre los saltos. Teniendo en cuenta el gran número de enlaces necesarios, el método de asignación de bloques de frecuencias parece ser un método rápido y viable para las administraciones que tienen recursos limitados. Dadas las características de esos enlaces, ese tipo de asignaciones puede ser más favorable que otros métodos, según las frecuencias disponibles en cada país y los procedimientos de planificación de frecuencias.

Se prevé que las administraciones que desean aplicar el procedimiento de asignación de bloques de frecuencias tengan en cuenta la posibilidad de determinar la anchura apropiada y la cantidad de frecuencias de cada bloque que debe asignarse.

7.2.1 Ventajas y desventajas de la asignación de bloques de frecuencias

Para lograr un despliegue rápido y fácil de la red, podría considerarse que la asignación de bloques de frecuencias atribuidas a los operadores corresponde al menos a las conexiones de la estación de base.

Las ventajas de la asignación de bloques de frecuencias son las siguientes:

- despliegue rápido que permite cumplir las condiciones fijadas en la licencia;
- planificación eficaz del espectro sobre la base de parámetros típicos del sistema;
- planificación eficaz del espectro con aceptación de posibles interferencias causadas por los propios sistemas;
- rentabilidad con respecto al tratamiento de las piezas de recambio y a la subcontratación;
- independencia con respecto a la tecnología (pueden utilizarse igualmente sistemas P-P como sistemas P-MP).

Además de las ventajas mencionadas, también puede haber ciertos riesgos y desventajas como, por ejemplo:

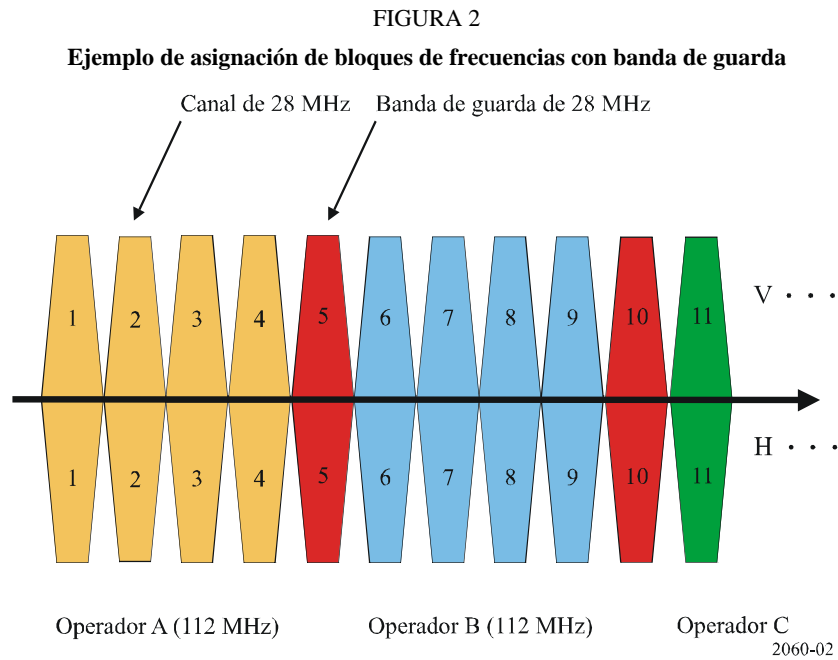
- conflictos más o menos importantes (que pueden dar lugar a la necesidad de una coordinación entre los operadores);
- bandas de guarda no utilizadas (que dan lugar a una utilización ineficaz del espectro);
- asignación de bloques de frecuencias no utilizados (que dan lugar a una utilización ineficaz del espectro).

7.2.2 Medidas de protección entre los operadores en casos hipotéticos de asignación de bloques de frecuencias

7.2.2.1 Caso hipotético de asignación con banda de guarda

Si se aplican los procedimientos de asignación de bloques de frecuencias, las bandas de guarda deberán separar esas asignaciones de frecuencias para evitar interferencias entre los diferentes operadores. Dentro de los bloques asignados, los operadores pueden elegir libremente la polarización y la anchura de banda de los canales hasta una anchura de banda máxima utilizable (es decir, 28 MHz).

En la Fig. 2 se muestra un ejemplo de este caso hipotético.



Como forma de protección contra los riesgos indicados en el § 7.2.1, deben aplicarse ciertas medidas para evitar una utilización ineficaz del espectro. Esas medidas serán necesarias, en particular, cuando los diferentes operadores comparten el mismo emplazamiento en que están situadas sus estaciones de base.

Con objeto de evitar conflictos más o menos importantes, al menos en los nodos centrales de las configuraciones en estrella, podría definirse por anticipado una cierta sub-banda en función de la utilización del sistema P-MP (esto es, una subestación central con más de tres enlaces por banda). Con suficientes bandas de guarda, pueden surgir menos conflictos y muchos de ellos podrán ser evitados si se intercambian las posiciones de los grandes nodos centrales entre dos frecuencias vecinas. Según la experiencia adquirida con las redes 2G, los operadores suelen mantenerse en estrecho contacto y conocer la existencia de los nodos importantes que cada uno de ellos dispone.

Por ejemplo (ver la Fig. 2), para reducir al mínimo las bandas de guarda, es necesario que el tamaño del bloque sea adecuado y que no esté por debajo de 56 MHz dentro de una banda. Los tamaños de bloque de 84 MHz o 112 MHz son más convenientes pero más difíciles de obtener. Dado que la banda de guarda debería tener el tamaño de la anchura de banda máxima utilizable del canal, esa anchura de banda tiene que estar restringida a los operadores, al menos en los extremos de un bloque. Una vez terminada la parte principal del despliegue, los operadores podrían utilizar las bandas de guarda con fines de optimización si se aplica un procedimiento de planificación de frecuencias entre los operadores. En este sentido, las bandas de guarda no se desaprovechan, tan sólo se aplaza su utilización hasta que termine la fase de despliegue, lo cual podría ocurrir incluso en el caso de los sistemas P-MP. No obstante, en los límites de utilización de sistemas P-MP y sistemas P-P, las posibilidades de hallar una solución adecuada son relativamente escasas.

Para garantizar una utilización eficaz de las bandas y evitar que partes del espectro no sean utilizadas para cada enlace (P-P), convendría enviar a las autoridades informaciones provenientes de las estaciones centrales respectivas (P-MP) por medio de informes mensuales o anuales. Las partes no utilizadas o raramente utilizadas del espectro podrían quedar disponibles para otros operadores o para futuras aplicaciones.

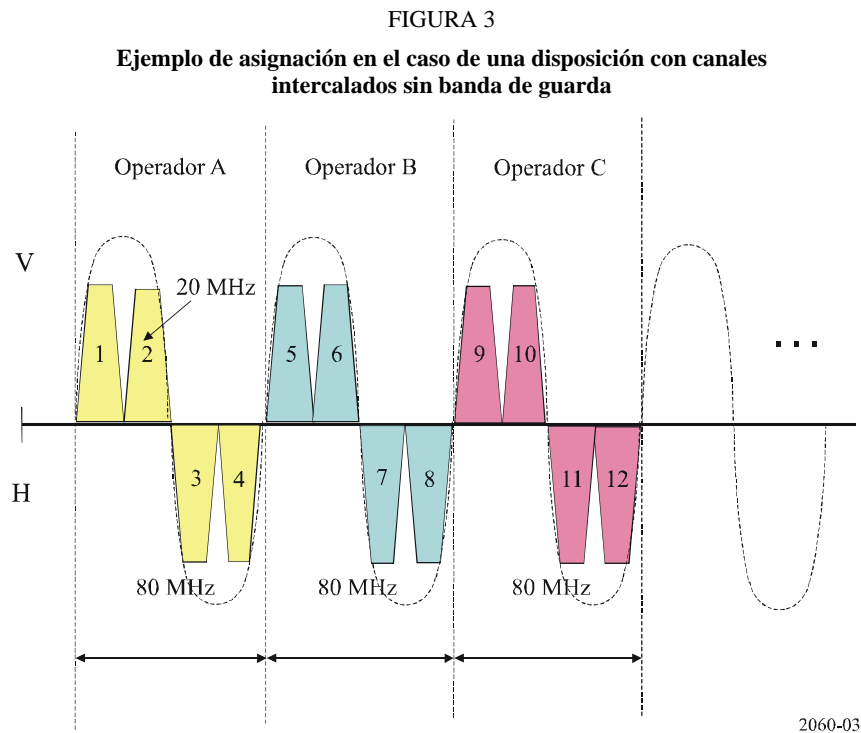
7.2.2.2 Caso hipotético de asignación sin banda de guarda

En la Fig. 3 se observa un ejemplo de este caso hipotético.

Este tipo de asignación tiene las siguientes ventajas:

- se admiten cuatro canales RF en una anchura de banda de 80 MHz asignada a un operador;
- los canales RF adyacentes entre dos operadores (por ejemplo, canales número 4 y número 5) tienen diferentes polarizaciones, lo cual contribuirá a reducir la interferencia entre los operadores;
- un operador podría utilizar los canales de frecuencias más bajas (por ejemplo, canales número 1 y número 2) por medio de una antena con una sola polarización para incrementar a continuación la capacidad del enlace empleando la alimentación de polarización opuesta o una antena separada de polarización opuesta.

Según se observa en la Fig. 3, la asignación presenta una cierta similitud con la utilizada en las redes de transporte que necesitan una capacidad más alta. El espectro, marcado con una línea de puntos en esa figura, indica una disposición con canales intercalados y una separación de 40 MHz, que podría utilizarse para una transmisión hasta el modo STM-1. Por consiguiente, es posible una gestión armonizada del espectro entre enlaces de retorno de estaciones de base y de redes de transporte de largo y corto alcance.



7.2.3 Ejemplos de métodos de asignación

En el Anexo 4 figuran ejemplos de métodos de asignación utilizados en algunos países.

7.2.4 Resumen de aspectos relativos a la asignación

Convendría señalar que además de una utilización totalmente exclusiva de las asignaciones de bloques de frecuencias y de una asignación enlace por enlace, existen otras soluciones posibles. La asignación de bloques de frecuencias puede ser útil para la capa más baja de la red de infraestructura en bandas de frecuencias por encima de unos 20 GHz. Por otra parte, ese método puede ser conveniente ya que permite la utilización exclusiva de la parte pertinente del espectro

sólo durante un cierto periodo de tiempo hasta que se complete la fase principal del despliegue de la red y se realice un nuevo examen más adelante.

Para la parte superior de las capas de la red en las que el número de enlaces con demandas de gran capacidad (STM-1 y más) será probablemente menor, el procedimiento más apropiado es, al parecer, la asignación enlace por enlace.

8 Resumen general

Debido a las diferentes necesidades de cada país, no se puede estimar con precisión la cantidad de espectro necesario ni determinar en qué bandas puede asignarse espectro a tal fin.

Esta decisión debe adoptarse a nivel nacional. Sin embargo, pueden tenerse en cuenta ciertos principios:

- la anchura de banda total necesaria correspondiente al SF para las redes con infraestructura IMT-2000 se determinará a largo plazo, básicamente según la evolución de las IMT-2000. Dadas las necesidades actuales, conviene orientarse hacia una solución a medio plazo que permita garantizar la suficiente seguridad en materia de planificación para los proveedores de servicios en términos económicos y también el rápido despliegue de la red IMT-2000, sin olvidar de tener también en cuenta la utilización eficaz del espectro y las necesidades de otros servicios y aplicaciones.
- Aunque la cantidad necesaria de espectro y el número absoluto de enlaces inalámbricos fijos puede variar según los países y los operadores, las densidades de enlace en las zonas urbanas determinará la cantidad de espectro del servicio fijo necesaria para las redes de infraestructura IMT-2000. Teniendo esto en cuenta, se puede calcular el espectro de servicio fijo necesario para las diferentes capas de la red de infraestructura de las IMT-2000 para un operador (las estimaciones numéricas se aplican a un operador con 2 a 3 bloques de frecuencias IMT-2000 de 5 MHz cada uno, esto es con una cantidad global de espectro IMT-2000 de 10 a 15 MHz). La cantidad de espectro adoptado por las diferentes administraciones depende de las necesidades de su país con respecto a:
 - el número de operadores;
 - los casos hipotéticos de evolución de las necesidades de los usuarios;
 - la futura densidad de la parte inalámbrica fija de las redes de infraestructura;
 - la utilización de otras redes de sustitución para proporcionar la infraestructura (por ejemplo, cables o fibras ópticas);
 - las condiciones climáticas y la situación topográfica;
 - la política en materia de reglamentación.
- Al considerar las bandas del SF para la infraestructura IMT-2000, también pueden tenerse en cuenta los siguientes factores:
 - características técnicas tales como velocidades de datos factibles, longitud del salto, etc.;
 - problemas de compartición y/o subdivisión de la banda y/o prioridad acordada a diferentes servicios de radiocomunicación (ver las Recomendaciones del UIT-T pertinentes);
 - congestión del espectro debida a las asignaciones existentes.

- Con respecto a la asignación de frecuencias por parte de las autoridades nacionales, debe considerarse un despliegue rápido y flexible de la red de infraestructura, lo cual exige:
 - el suministro de espectro para sistemas P-P y P-MP con una estrategia de asignación adecuada;
 - la incorporación/adaptación de las actuales redes de infraestructura (por ejemplo, 2G a 3G) si es posible llegado el caso;
 - la posible compartición de infraestructura (por ejemplo, entre las infraestructuras 2G y 3G de un operador, o entre diferentes operadores de servicios móviles) si es posible llegado el caso.

Anexo 1

Topología detallada de la red de transporte de las IMT-2000

1 Conexión entre la estación de base y la estación central

Si es necesario que el SAP atienda un gran número de estaciones de base (BS), convendría crear subredes para disponer de una mayor concentración de interconexión nodal en la red. Esta concentración se obtiene si se incluyen estaciones centrales (CS) con funciones de conmutación ATM en la red de transporte, como puede observarse en la Fig. 1. Las conexiones entre la BS y la CS pueden lograrse con arquitecturas P-P y P-MP, o con una combinación de ambas.

1.1 Aplicaciones P-P

Los enlaces inalámbricos P-P del servicio fijo constituyen un medio de transporte muy importante en la arquitectura de la red de acceso radioeléctrico en el marco de las IMT-2000. La interconexión entre las estaciones de base y los centros de conmutación dentro de la red es uno de los principales aspectos de estas aplicaciones. El modo P-P desempeña un papel principal en el acceso desde el establecimiento de las células hasta la red. Según las necesidades, entre ellas:

- la longitud de salto;
- la capacidad necesaria;
- el objetivo de disponibilidad,

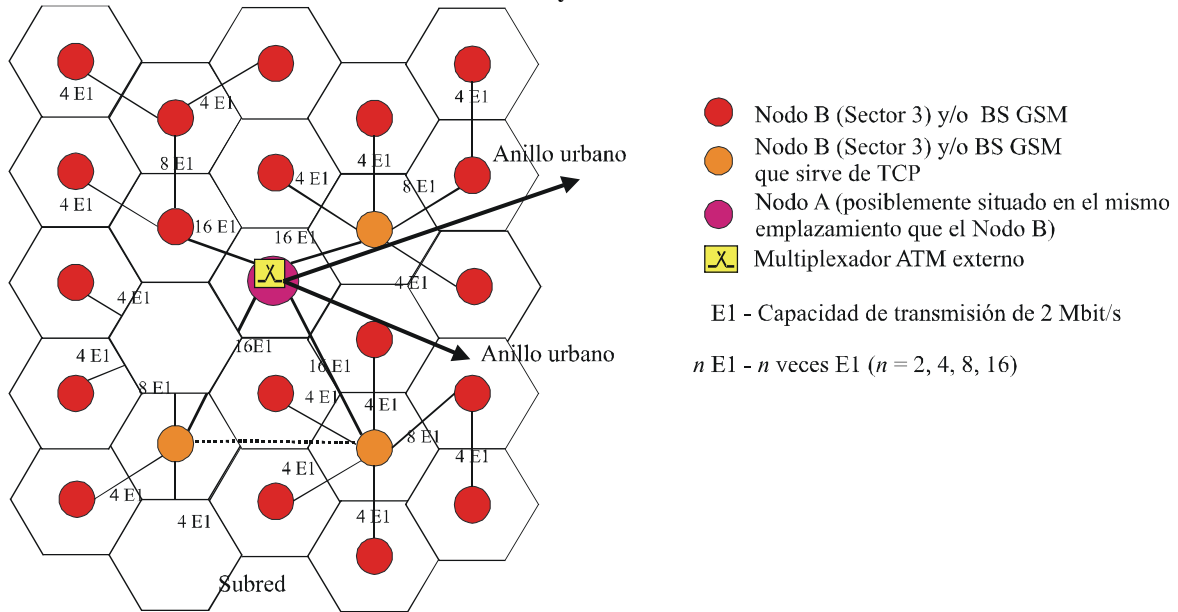
pueden hallarse bandas de frecuencias adecuadas para los enlaces inalámbricos.

Sin embargo, el acceso directo a la BS de una cierta célula podría dar lugar a una longitud de salto que exigirá la instalación de grandes antenas. Pueden plantearse serios problemas debido a la instalación, especialmente en los principales puntos de concentración de la red. Por consiguiente, en lugar de interconexiones directas, convendría utilizar cadenas de enlaces P-P y, en especial, añadir capacidades a lo largo de la cadena de enlaces entre la BS de células y el centro de conmutación, sobre todo en zonas suburbanas y rurales.

En zonas urbanas y urbanas densas, la densidad de las BS permite la utilización eficaz de redes en estrella y en subestrella con una concentración previa o, al menos, una función de reagrupamiento con la introducción de una Sub-CS. Con todo, una posible solución sigue siendo la estructura clásica ya que el elemento motor de las redes móviles es siempre la cobertura radioeléctrica del sistema móvil en condiciones no óptimas de la red de transporte. Para ello, la red de transporte deberá tener siempre una cierta flexibilidad que, a veces, dará como resultado una mayor demanda en materia de espectro. La Fig. 4 representa una posible estructura de configuración secundaria de red en estrella con cadenas de enlaces P-P.

FIGURA 4

Ejemplo de estructura de subred para el acceso a la BS, con configuración secundaria de red en estrella y cadenas de enlaces SF



2060-04

En esta arquitectura basada en enlaces fijos P-P, cada CS está equipada con antenas direccionales, cada una de las cuales apunta hacia una determinada BS. Las BS también tienen antenas direccionales que apuntan a una CS, o a otra BS, formando así una configuración secundaria en forma de estrella o una cadena de enlaces SF.

Esta solución tiene las siguientes ventajas:

- número limitado de enlaces en un determinado emplazamiento;
- longitudes de salto cortas;
- pequeñas antenas debido a la utilización de frecuencias altas;
- reducción de la concentración extrema de capacidades a lo largo de las cadenas de enlaces;
- flexibilidad con respecto a las modificaciones o los incrementos de la capacidad de transporte necesaria y al añadido de nuevas BS.

En el Anexo 2 puede hallarse un ejemplo de estimación de las necesidades de espectro aplicables a la subred descrita en la Fig. 4.

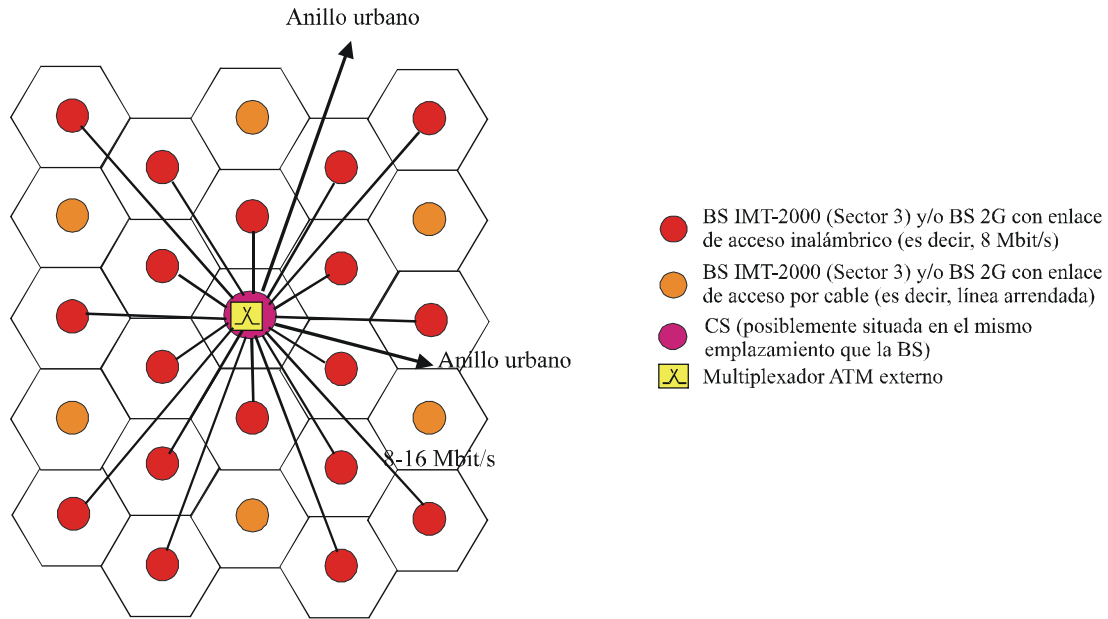
Cuando la situación lo permite, un método de acceso directo para establecer enlaces a partir de la CS (conmutación ATM) a tantas BS circundantes como sea posible, tiene las siguientes ventajas:

- la división de carga útil o la interconexión a otro sistema de acceso radioeléctrico en la estación de base no son necesarias;
- la visibilidad directa hacia numerosas estaciones de base puede asegurarse fácilmente si la CS posee una torre alta.

La Fig. 5 muestra un ejemplo de instalación de enlaces de acceso directo de la CS a las BS.

FIGURA 5

Ejemplo de estructura de enlace directo para el acceso a las BS



2060-05

En esta arquitectura basada en enlaces fijos P-P, cada CS está equipada con antenas direccionales, cada una de las cuales apunta a una determinada BS. También las BS tienen antenas direccionales que apuntan a una CS.

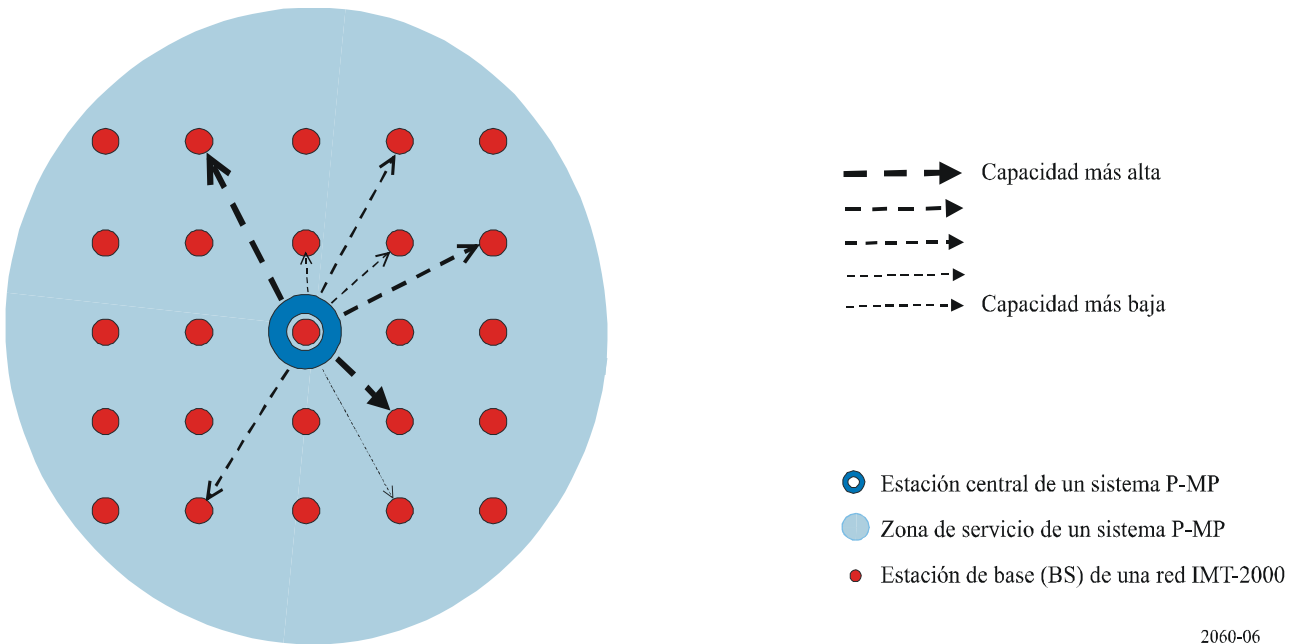
En los dos casos hipotéticos de implantación de enlaces de acceso a las estaciones de base, es decir los que se observan en las Figs. 4 y 5, debe tenerse debidamente en cuenta la existencia de condiciones de visibilidad directa (LoS) entre estaciones. En el Apéndice 1 al Anexo 1 se muestran ejemplos de estudios efectuados sobre la probabilidad de que existan esas condiciones entre una CS y la BS circundante, así como entre las BS.

1.2 Aplicaciones P-MP

En zonas donde se observa una alta densidad de células en el interior de las IMT-2000, la utilización de aplicaciones P-MP del servicio fijo podría constituir una solución para responder a las necesidades de capacidad de la interconexión de las estaciones de base con el centro de conmutación. Las aplicaciones P-MP podrían tener la capacidad de atender un gran número de células, especialmente si se dispone de sistemas P-MP que utilizan antenas por sectores.

En la Fig. 6 se observa la estructura de esa red P-MP. Según las necesidades de cada BS, se pueden proporcionar diferentes capacidades de transporte para atender las CS del sistema P-MP.

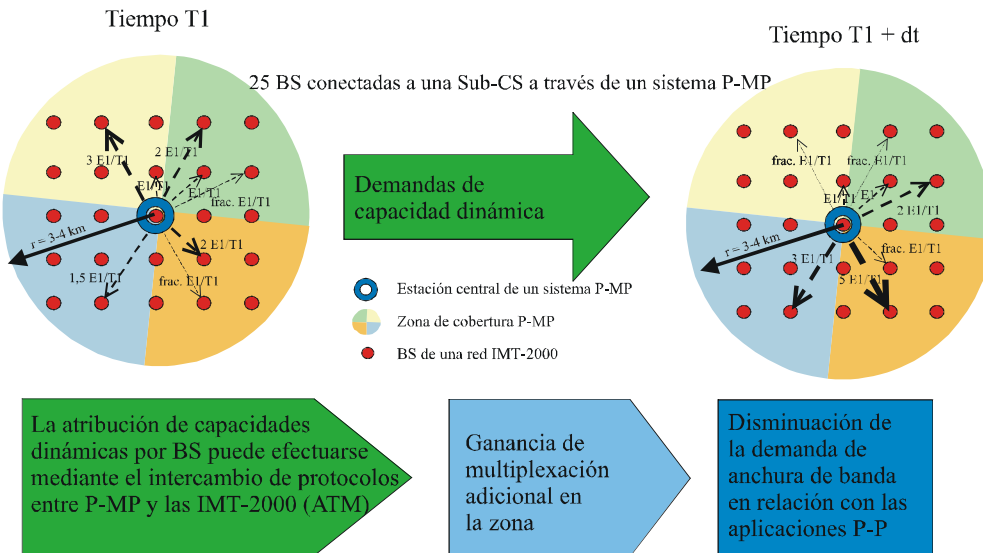
FIGURA 6
Ejemplo de una estructura de red P-MP del servicio fijo



2060-06

Además, la atribución de capacidades dinámicas en el sistema P-MP es posible y podría aumentar la eficacia de dicho sistema. El comportamiento dinámico de los sistemas P-MP debería adaptarse a las demandas actuales de tráfico de la BS atendida. El tiempo de reacción es en general inferior a 1 s. En la Fig. 7 se observan los principios de la atribución de capacidades dinámicas.

FIGURA 7
Asignación de capacidades dinámicas en sistemas P-MP del servicio fijo



2060-07

Los sistemas P-MP pueden ser más eficaces si se utilizan los métodos siguientes:

- Ganancia de granularidad ATM;
- FDCA (atribución de capacidad dinámica rápida);
- Multiplexación ATM.

Por otra parte, los sistemas P-MP pueden tener la ventaja de reducir al mínimo el impacto visual.

1.3 Combinación de soluciones P-MP/P-P

Hay varios motivos para utilizar enlaces P-P teniendo en cuenta las limitaciones de las redes en las que se despliegan numerosos enlaces P-MP:

- ninguna LoS de la estación de base a la estación central del sistema P-MP;
- condiciones desfavorables de la relación C/I en algunas BS conectadas al sistema P-MP;
- una sola BS con demandas constantes de alta capacidad;
- enlaces troncales para conectar la estación central P-MP al SAP.

El agrupamiento de ATM a través de enlaces P-MP es, en general, más adecuado en las grandes centrales donde el número de BS conectadas es elevado y la eficacia del espectro es indispensable (ya que determina las necesidades de asignación de frecuencias del operador).

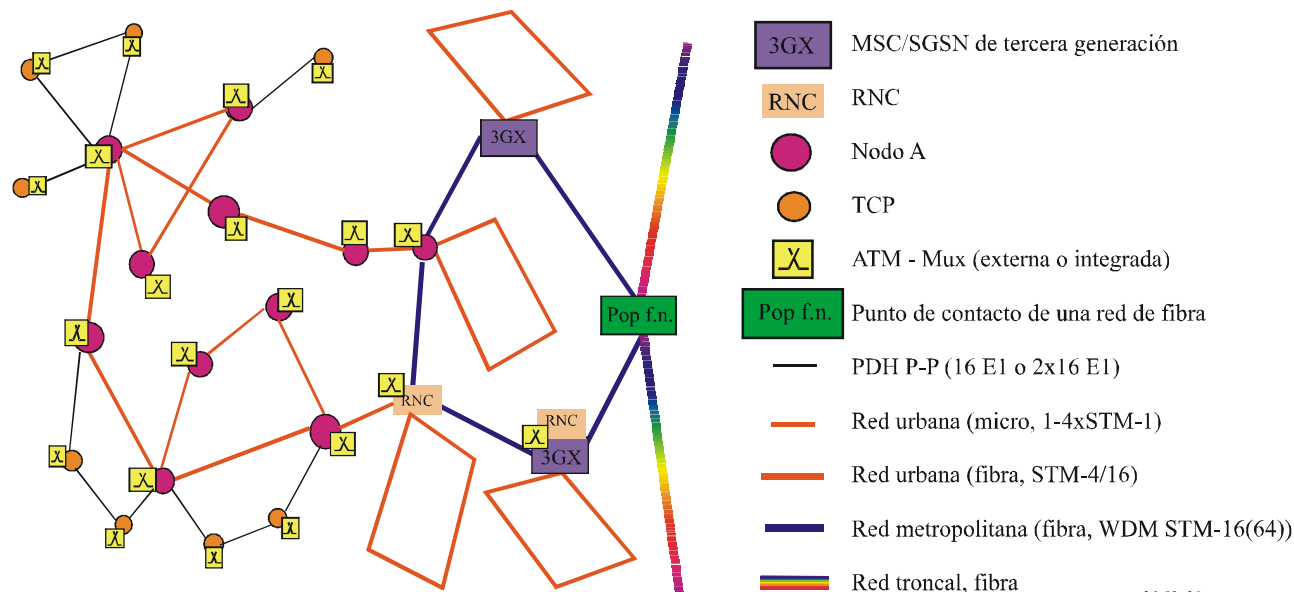
2 Estructuras de la red de transporte entre la CS y la red básica

En la red IMT-2000, la red de transporte de la CS y del SAP debe organizar y administrar la concentración de la información en dirección del SAP y también hacia la red básica (MSC), tal como se indica en la Fig. 1 del texto principal del presente Informe. En la Fig. 8 se muestra una posible estructura de esta parte de la red.

Un cierto número de CS podrían estar conectadas, mediante una estructura en anillo, al emplazamiento siguiente del SAP. En las estructuras de nivel jerárquico N° 3 se puede prever un número razonable de enlaces SDH P-P, al menos durante los primeros años de utilización de la red. Por otra parte, se puede utilizar sólo un pequeño número de emplazamientos SAP dado que la función de conmutación/multiplexación ATM ya ha permitido la concentración de tráfico en los puntos correspondientes. La concentración de tráfico en el SAP es casi imperceptible. Por encima del nivel del SAP también se pueden aplicar enlaces SDH P-P pero es preferible utilizar desde el principio conexiones de fibra óptica.

FIGURA 8

Possible estructura de una red de transporte de orden superior para las IMT-2000



Apéndice 1 al Anexo 1

Simulaciones de la probabilidad de visibilidad directa entre estaciones de nodo en la estructura de la subred

En las Figs. 4 y 5 de la Sección 1 del Anexo 1 se muestran dos ejemplos de estructuras con enlaces P-P:

- estructura de configuración secundaria en estrella con cadenas de enlaces (Fig. 4), y
- estructura de acceso directo (Fig. 5).

El Cuadro 9 que figura a continuación indica que la probabilidad media de visibilidad directa (LoS) de las estaciones centrales con respecto a las estaciones de base situadas en un radio de 5 km es de aproximadamente 92%. Esto indica que se podría establecer un enlace de acceso directo hacia un cierto número de BS desde una CS cuya altura de antena es superior a 40 m.

CUADRO 9

Ejemplo de probabilidad de visibilidad directa entre una CS y las BS

CS (altura de la antena)	Número de BS en un radio de 5 km	Probabilidad de visibilidad directa a las BS en un radio de 5 km (%)
N° 1 (82 m)	52	96,2
N° 2 (98 m)	71	83,1
N° 3 (71 m)	63	90,5
N° 4 (99 m)	60	93,3
N° 5 (49 m)	38	97,4
N° 6 (54 m)	24	95,8
N° 7 (43 m)	26	100
N° 8 (43 m)	31	87,1
N° 9 (96 m)	31	93,6
Media (70 m)	44,5	92

Por otra parte, teniendo en cuenta la estructura de acceso a la BS indicada en la Fig. 4, se ha efectuado otro estudio de la probabilidad de LoS entre las BS. Los resultados de este estudio, indicados a título de ejemplo en el Cuadro 10, muestran que incluso en antenas de poca altura (de 20 a 40 m), se puede obtener una probabilidad elevada de LoS.

CUADRO 10

Ejemplo de probabilidad de visibilidad directa entre estaciones de base

	Altura de la antena (m)	Número de estaciones elegidas en la muestra	Probabilidad media de visibilidad directa para las 5 estaciones más cercanas (%)	Distancia media a las 5 estaciones más cercanas (m)
Grupo de pequeñas antenas	20-40	35	94	1 294
Grupo de antenas medias	40-60	52	95	1 067
Grupo de grandes antenas	Más de 60	13	97	944

Anexo 2

Ejemplos de estimación de las necesidades de espectro del SF para redes IMT-2000 en zonas urbanas

1 Glosario de notaciones y acrónimos

Símbolo	Unidad	Descripción
A_M	km ²	Superficie por microcélula
B_A	Mbit/s/km ²	Velocidad binaria por unidad de superficie y por operador
B_{AN}	Mbit/s/km ²	Velocidad binaria por unidad de superficie para N_O operadores
β_B	Mbit/s	Velocidad binaria bruta teórica necesaria por emplazamiento de célula
B_B	Mbit/s	Velocidad binaria bruta reducida para la jerarquía PDH estándar
B_Q	kbit/h/km ²	Cantidad total de bits ofrecidos por enlace descendente
B_S	Mbit/s	Velocidad binaria por emplazamiento de célula
B_T	MHz	Anchura de banda total del espectro de frecuencias necesario
B_U	MHz	Anchura de banda unitaria
C_M	---	Número de portadoras por microcélula
D	km	Longitud del salto
D_S	Mbit/s	Velocidad de datos por sector
N_C	---	Número total de canales RF necesarios en el nodo
N_O	---	Número total de operadores
O_A	---	Tara ATM
O_H	---	Tara de traspaso con continuidad
O_S	---	Tara de señalización
O_T	---	Tara acumulada
R_M	M	Radio de microcélula
S_M	---	Número de sectores por microcélula

2 Introducción

Este Anexo contiene algunas líneas directrices para estimar las necesidades de espectro SF con miras a que las redes de transmisión IMT-2000 formen interconexiones entre los emplazamientos de célula (BS) y las subestaciones centrales (Sub-CS).

En él se describe el conjunto de datos de entrada, se formulan algunas hipótesis y se define el procedimiento para calcular el radio de la célula utilizado para el diseño de una agrupación de células. Teniendo en cuenta esas estimaciones, se ha optado por diferentes estructuras de las redes de transmisión (ver el § 6) para evaluar el espectro necesario, especialmente en la banda de 38 GHz. Los resultados obtenidos pueden aplicarse a otras bandas como, por ejemplo, las de 27 GHz y 32 GHz. Se ha dado prioridad a las zonas urbanas y a las microcélulas.

La estructura de cada red de transmisión se caracteriza por:

- la situación de las interconexiones en la agrupación de células;
- el plan de frecuencias propuesto;
- las principales características.

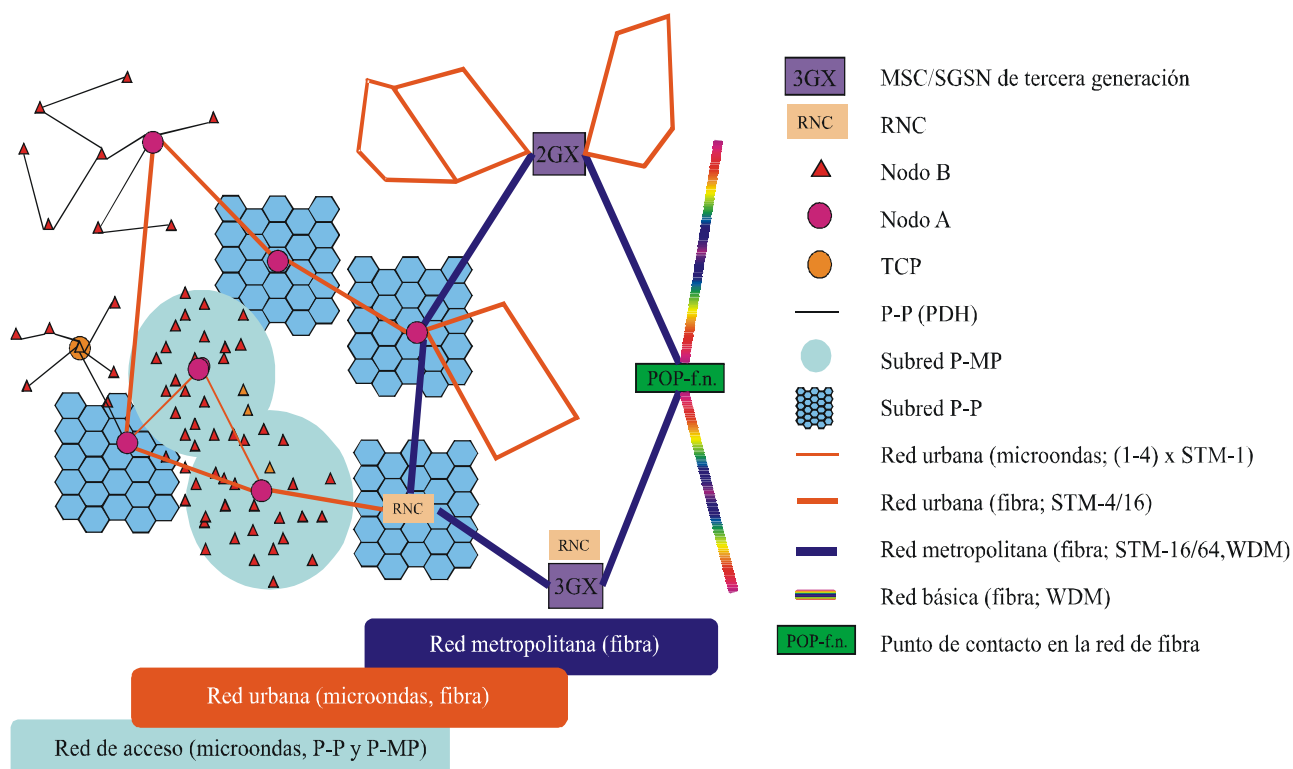
Se ha tenido en cuenta la calidad técnica del equipo de transmisión disponible y se efectuó el cálculo de los niveles de interferencia a efectos de verificación. Finalmente, se hizo una comparación de todas las versiones con respecto a la anchura de banda necesaria y al espectro disponible. Se observó que la relación entre el caso más desfavorable y el caso más óptimo se sitúa entre 2 y 3.

3 Panorama general de una red IMT-2000

La red de transporte de las IMT-2000 representa la interconexión entre el usuario móvil y la red básica. Esa infraestructura móvil debe ser admitida por una red de transporte que organiza el transporte de la información entre los usuarios móviles concentrados en la BS y también la interconexión a la red fija.

En la Fig. 9 se observa un panorama general de una red IMT-2000. Las interconexiones entre la red de acceso radioeléctrica y la red de transporte, así como las interfaces de la red de transporte determinan las necesidades relativas a la capacidad así como los medios de transporte utilizados para la interconexión de todos los niveles de la jerarquía de la red.

FIGURA 9
Panorama general de una red IMT-2000



2060-09

4 Estimación del radio de una microcélula

En primer lugar, se hace una estimación del tamaño de una célula. En el Cuadro 11 se facilita un ejemplo de estimación en el marco de la CEPT para la cantidad total de bits ofrecidos por enlace descendente (kbit/h/km²) durante 2005.

CUADRO 11

Cantidad total de bits ofrecidos (OBQ) por enlace descendente (kbit/h/km²) durante 2005

Servicios	CBD/zona urbana (en edificios)	Zona suburbana (en edificios o en la calle)	Hogares (en edificios)	Zona urbana (peatones)	Zona urbana (vehículos)	Zona rural interior y exterior
MM interactivo de alta velocidad	$3,78 \times 10^8$	$4,73 \times 10^5$	$5,37 \times 10^3$	$8,69 \times 10^6$	$2,17 \times 10^6$	$1,66 \times 10^4$
MM de alta velocidad	$2,76 \times 10^8$	$5,24 \times 10^6$	$2,77 \times 10^5$	$7,86 \times 10^7$	$1,35 \times 10^5$	$1,72 \times 10^3$
MM de velocidad media	$2,21 \times 10^7$	$2,62 \times 10^5$	$1,38 \times 10^4$	$6,42 \times 10^6$	$1,10 \times 10^4$	$8,62 \times 10^1$
Datos conmutados	$9,58 \times 10^7$	$2,99 \times 10^5$	$9,22 \times 10^3$	$4,76 \times 10^6$	$3,66 \times 10^5$	$5,61 \times 10^3$
Mensajería simple	$2,76 \times 10^6$	$5,53 \times 10^4$	$2,92 \times 10^3$	$8,29 \times 10^5$	$1,42 \times 10^3$	$1,82 \times 10^1$
Vocal	$3,52 \times 10^8$	$1,29 \times 10^6$	$5,98 \times 10^4$	$8,20 \times 10^7$	$3,56 \times 10^6$	$3,46 \times 10^4$
Total	$1,13 \times 10^9$	$7,62 \times 10^6$	$3,68 \times 10^5$	$1,81 \times 10^8$	$6,24 \times 10^6$	$5,86 \times 10^4$

Si se comparan los resultados correspondientes al «Total», se observa que los únicos dos servicios que revisten interés para nuevas estimaciones con respecto a la capacidad de transporte del sistema SF son los siguientes:

- distrito comercial central (CBD), que necesita un total de $1,13 \times 10^9$ kbit/h/km²; y
- zona urbana (peatones) con un total de $1,81 \times 10^8$ kbit/h/km².

El resto de las categorías está muy por debajo del total indicado y, por consiguiente, no se tienen en cuenta para la estimación de la capacidad de transporte necesaria. No se consideraron los totales de OBQ por enlace ascendente porque se trata de valores más bajos; en cambio, la carga de los enlaces inalámbricos fijos está generalmente equilibrada en el sentido de ida y vuelta.

La OBQ total en la zona CBD es diez veces superior a la de las zonas urbanas (peatones) pero, dado que será atendido principalmente por picocélulas, no se considera en la estimación del radio de la microcélula.

CUADRO 12

Hipótesis para nuevos cálculos

Asunto	Notación	Valor	Unidad	Observaciones
OBQ total por enlace descendente	B_Q	$1,81 \times 10^8$	kbit/h/km ²	Extraído del Cuadro 11
Número total de operadores	N_O	4	---	Según las hipótesis de evolución
Número de portadoras por microcélula	C_M	2	---	Hipótesis
Número de sectores por microcélula	S_M	2	---	Hipótesis
Velocidad de datos por sector	D_S	0,9	Mbit/s	Hipótesis

CUADRO 13

Cálculo del radio de una microcélula a partir de los valores del Cuadro 11

Asunto	Notación	Cálculo	Resultado	Unidad
Velocidad binaria por emplazamiento de microcélula, neta	B_S	$C_M \times S_M \times D_S$	3,6	Mbit/s por emplazamiento de célula
Velocidad binaria para número de operadores y por unidad de superficie (valor redondeado)	B_{AN}	$B_Q/3600$	52	Mbit/s/km ²
Velocidad binaria por operador y por unidad de superficie	B_A	B_{AN}/N_O	13	Mbit/s/km ²
Superficie por microcélula	A_M	B_S/B_A	0,277	km ²
Radio de la microcélula (valor redondeado)	R_M	$620 \times A_M^{1/2}$	330	M

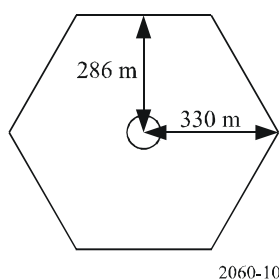
5 Modelo de agrupamiento de células

5.1 Aspectos generales

Se deben considerar los siguientes elementos:

- en la primera ejecución sólo se utilizan las microcélulas;
- para interconectar el emplazamiento de la célula a un nodo se utilizan enlaces P-P del SF. Se tiene en cuenta una tara adicional para determinar la capacidad de transporte por el enlace P-P, como se indica en el Cuadro 14;
- el objetivo principal son las zonas urbanas (si los resultados obtenidos con respecto al espectro de frecuencias necesario para los enlaces P-P del SF corresponden al espectro de frecuencias disponible, no habrá escasez de espectro en zonas suburbanas ni rurales).

FIGURA 10
Dimensiones de la microcélula



CUADRO 14

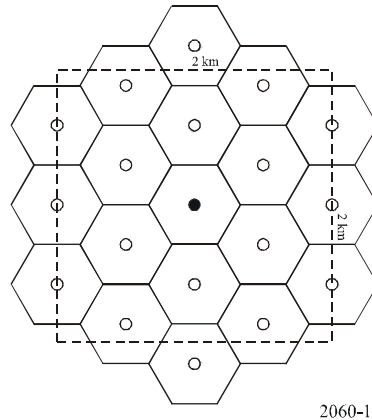
Determinación de la capacidad de transporte necesaria por emplazamiento de microcélulas para el enlace inalámbrico fijo

Asunto	Notación	Cálculo	Valor	Unidad
Velocidad binaria por emplazamiento de microcélulas, neta	B_S	$C_M \times S_M \times d_S$	3,6	Mbit/s por emplazamiento de célula
Tara de señalización	O_S		1,15	---
Tara de traspaso con continuidad	O_H		1,40	---
Tara ATM, que va del 20% hasta el 70%, según el servicio	O_A		1,45	---
Tara acumulada	O_T	$O_S \times O_H \times O_A$	2,33	---
Capacidad de transporte necesaria (velocidad binaria bruta por emplazamiento de microcélula)	β_B	$O_T \times B_S$	8,4	Mbit/s por emplazamiento de célula
Velocidad binaria bruta reducida adaptada a la jerarquía PDH estándar	B_B		8	Mbit/s por emplazamiento de célula

5.2 Diseño de la agrupación

En este contexto, una agrupación está formada por un cierto número de microcélulas de tamaño similar (como se indica en la Fig. 10) dispuestas de tal manera que constituyen una zona de forma cuadrada (Fig. 11). Cada una de las BS está conectada a una Sub-CS mediante enlaces P-P.

FIGURA 11
Estructura de una agrupación de células de 2×2 km con una Sub-CS en el centro



En el Cuadro 15 se indican las redes de transmisión en estudio.

CUADRO 15

Parámetros considerados para el cálculo de redes de transmisión

Parámetro	Red de transmisión
Radio de microcélula (m)	330
Portadoras por microcélula	2
Sectores por microcélula	2
Tamaño de la agrupación	2×2 km
Número aproximado de microcélulas/grupaciones	14
Enlaces FS por agrupación	13
Detalles de la configuración	§ 6.3
Resumen de resultados	§ 6.4

6 Configuración de una red de transmisión

6.1 Aspectos generales

Para evaluar las diferentes estructuras de una configuración de red de transmisión, las microcélulas son interconectadas a un nodo de la agrupación. La estimación de la cantidad total de espectro de frecuencias necesario se basa en los cálculos de la interferencia. A fin de obtener una simulación de varias configuraciones, se han utilizado las características de equipos reales (equipo radioeléctrico y antena).

6.2 Definiciones relativas a los trabajos de simulación

6.2.1 Unidad de anchura de banda B_U

Se utilizó el indicador de unidad de anchura de banda (B_U) para medir el espectro de frecuencias ocupado en función de la velocidad binaria bruta necesaria por enlace (o capacidad de transporte). Este valor está basado en el sistema de modulación de cuatro niveles (MDF-4 o MAQ-4) y representa también, en casos especiales, la disposición de canales del plan de frecuencias correspondiente. Si se utilizan diferentes capacidades de transporte, el indicador B_U tiene el valor más pequeño.

CUADRO 16
Capacidad de transporte en relación con la unidad de anchura de banda (B_U)

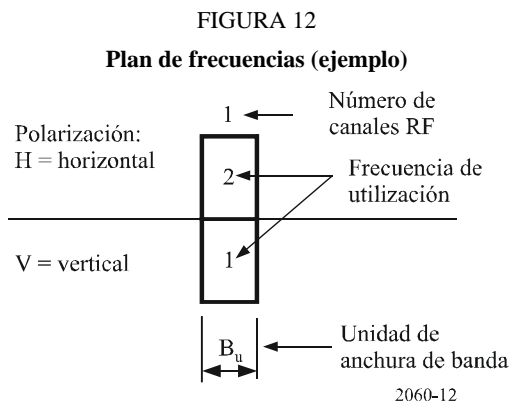
Capacidad de transporte (Mbit/s)	B_U (MHz)
4×2 u 8	7
2×8	14
16×2 ó 34	28

6.2.2 Anchura de banda del espectro de frecuencias necesario B_T

La anchura de banda del espectro total de frecuencias necesario depende de la configuración de la red de interconexión y se define para la realización de una agrupación (y para un operador) como:

$$B_T = N_C \times B_U$$

donde N_C representa el número de canales RF consecutivos en una o varias Sub-CS, con los canales «de guarda» (si es necesario obtener un valor C/I definido previamente). Por consiguiente, sólo se debe evaluar N_C para cada tipo de configuración de la red de transporte. Las agrupaciones adyacentes con diferente configuración tienen poca incidencia en la agrupación considerada.



6.2.3 Banda de frecuencias

La asignación de la banda de frecuencias se elige, según el caso, en función de la longitud de salto d .

CUADRO 17

Banda de frecuencias en relación con la longitud de salto d (ejemplo)

Longitud de salto d (km)	Banda de frecuencias (GHz)
hasta 0,7	52 ó 56 ó 58
hasta 5	38

6.2.4 Nivel en la entrada del receptor

En todos los casos, el nivel en la entrada del receptor será -40 dBm con una tolerancia de ± 1 dB. Por consiguiente:

- la potencia de salida del transmisor correspondiente se ajustará en consecuencia; y/o
- las antenas se elegirán de forma adecuada.

6.2.5 Relación C/I necesaria

La selección de un canal RF está basada en los resultados del cálculo de interferencias y de la relación $C/I \geq 55$ dB.

6.2.6 Polarización

Se utiliza la polarización horizontal o vertical según la longitud de salto (o para mejorar el desacoplamiento).

6.3 Configuración de una red de transmisión

Para un agrupamiento cuyo tamaño es de 2×2 km, se evalúan diferentes configuraciones de la red de transporte. Para cada una de las estructuras siguientes se examinan dos versiones:

- Versión x.1 – Todos los enlaces funcionan en la misma banda de frecuencias (por ejemplo, 38 GHz);
- Versión x.2 – Se eligen todos los enlaces con una longitud de $< 0,7$ km en una banda > 38 GHz (por ejemplo, 58 GHz);

donde x designa la clasificación de las estructuras, según lo indicado en los § 6.3.1 a 6.3.3 (por ejemplo, x = 1 para la estructura 1).

6.3.1 Estructura 1

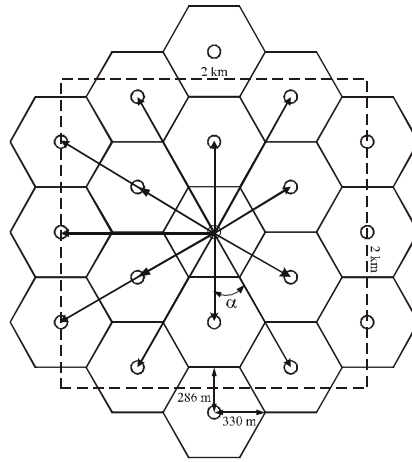
Para esta estructura, la Sub-CS está ubicada, aproximadamente, en el centro de la agrupación y cada BS está conectada por un enlace P-P (Fig. 13).

Las principales características son las siguientes:

- la longitud de salto mínima es de aproximadamente 0,6 km;
- la longitud de salto máxima es de aproximadamente 1,2 km;
- la capacidad por enlace del SF es de 8 Mbit/s ($B_U = 7$ MHz).

FIGURA 13

Configuración de interconexiones para la estructura 1



2060-13

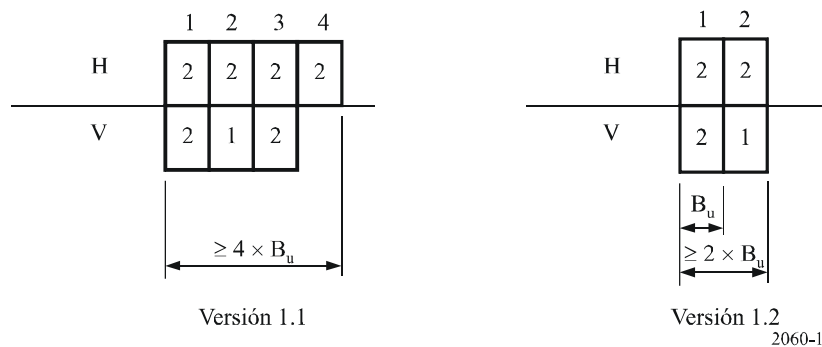
CUADRO 18

Principales características de la estructura 1

Versión	Banda de frecuencias (GHz)	Número de enlaces	Canales RF necesarios	Longitud de salto d (km)
1.1	38	13	$N_C \geq 4$	$> 0,6$
1.2	38	7	$N_C \geq 2$	> 1
	58	6	$N_C \geq 2$	$< 0,7$

FIGURA 14

Planes de frecuencias de 38 GHz para la estructura 1

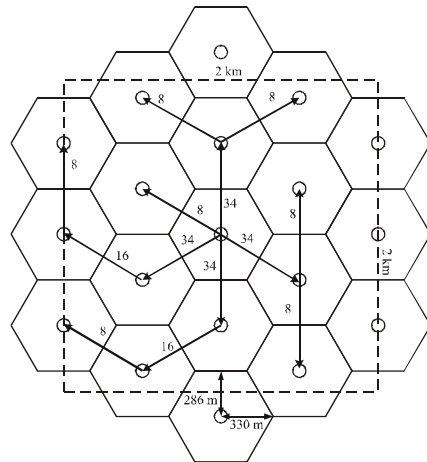


2060-14

6.3.2 Estructura 2

En este caso, tres células como máximo están conectadas en serie al nodo. La longitud de salto de todos los enlaces es de aproximadamente 0,6 km. El ángulo formado entre dos conexiones vecinas es más elevado que en la estructura 1 ya que hay menos conexiones a la Sub-CS.

FIGURA 15
Configuración de interconexiones para la estructura 2

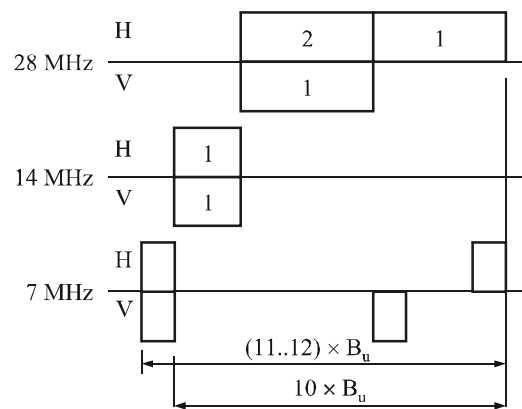


2060-15

CUADRO 19
Principales características de la estructura 2

Capacidad de transporte Mbit/s	Banda de frecuencias (GHz)	Modulación	Separación entre canales (MHz)	Número de enlaces
8	38	MDF-4, MAQ-4	7	7
16	38	MDF-4, MAQ-4	14	2
34	38	MDF-4, MAQ-4	28	4

FIGURA 16
Plan de frecuencia de 38 GHz para la estructura 2



2060-16

Si todos los enlaces funcionan en la banda de 38 GHz, la anchura de banda necesaria es $(11..12) \times B_U$ (Versión 2.1); si todos los enlaces de 8 Mbit/s funcionan en la banda de 58 GHz, la anchura de banda necesaria es $10 \times B_U$ (Versión 2.2).

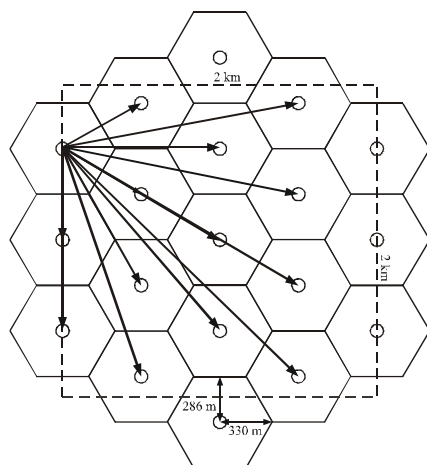
6.3.3 Estructura 3

Se trata de una variación de la estructura 1. La Sub-CS se desplaza del centro a un extremo de la agrupación. Cada célula está conectada por un enlace distinto. Esta estructura suele utilizarse en Suiza.

Las características de esta configuración son las siguientes:

- el ángulo total formado es de aproximadamente 90° ;
- el ángulo medio formado entre dos enlaces adyacentes es $\alpha \geq 7^\circ$;
- la longitud de salto mínima d es de aproximadamente 0,6 km;
- la longitud de salto máxima d es de aproximadamente 2,1 km; y
- la capacidad por enlace del SF es de 8 Mbit/s ($B_U = 7$ MHz).

FIGURA 17
Configuración de interconexiones para la estructura 3



2060-17

CUADRO 20

Principales características de la estructura 3

Versión	Banda de frecuencias (GHz)	Número de enlaces	Canales RF necesarios	Longitud de salto d (km)
3.1	38	13	$N_C \geq 11..13$	$> 0,6$
3.2	38	10	$N_C \geq 6$	$> 0,7$
	58	7	$N_C \geq 2$	$< 0,7$

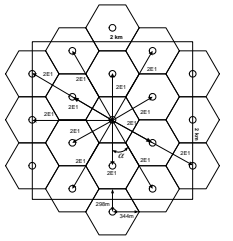
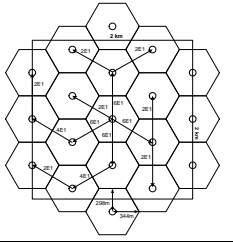
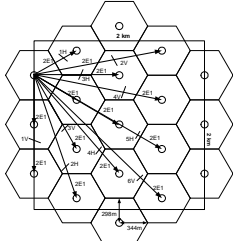
En la Versión 3.1, algunos enlaces están en paralelo. En cuanto a la Versión 3.2, en la mayoría de los casos, los enlaces no funcionan en paralelo ya que todos los enlaces tienen longitudes de salto inferiores a 0,7 km en la banda de 58 GHz.

6.4 Resumen de las diferentes estructuras

En el Cuadro 21 se comparan las principales características de las diferentes estructuras y las versiones en estudio, así como los principales resultados en la materia.

CUADRO 21

Comparación de las diferentes estructuras de una red de transmisión

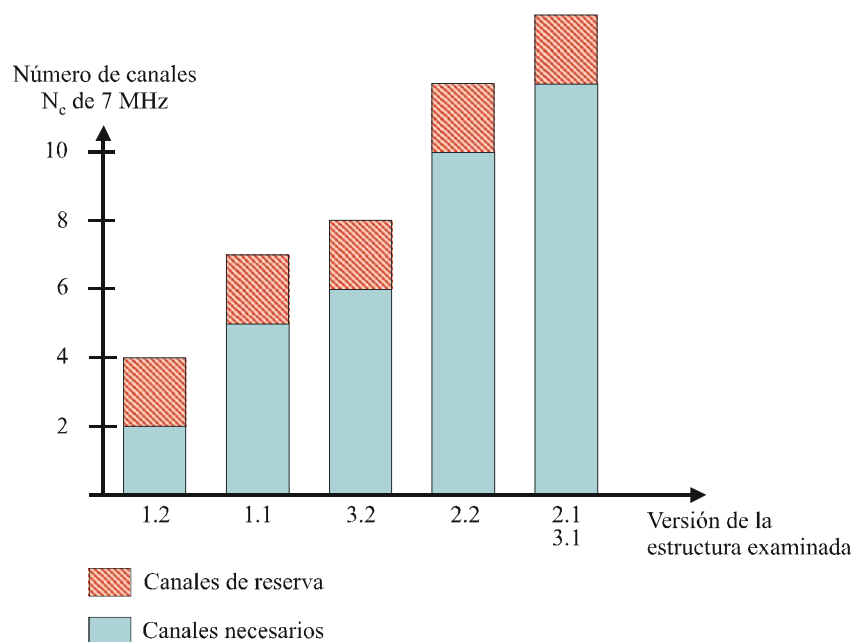
Estructura de la red de transmisión		Versión	Anchura de banda total necesaria B_T	Enlaces «paralelos» al nodo	Capacidad de transporte diferente	58 GHz para enlaces de $d < 1$ km
Fig. 13		1.1	$\geq 4 \times B_U$	Sí	No	No
		1.2	$\geq 2 \times B_U$	No	No	Sí
Fig. 15		2.1	$\geq (11...12) \times B_U$	No	Sí	No
		2.2	$\geq 10 \times B_U$	No	Sí	Sí
Fig. 17		3.1	$\geq (11...13) \times B_U$	Sí	No	No
		3.2	$\geq 6 \times B_U$	No	No	Sí

En la Fig. 18 se presenta un gráfico con las necesidades de espectro del SF estimadas. Para cada estructura y versión de la red de transmisión se compara la anchura de banda necesaria en la banda de 38 GHz.

Como resultado de este estudio, puede estimarse que la demanda de frecuencias por operador es de aproximadamente 70 MHz, es decir en la banda de 38 GHz. A cada una de esas necesidades debería añadirse una demanda adicional de dos canales de 7 MHz. Estos canales de reserva son necesarios para reducir al mínimo la interferencia entre agrupaciones adyacentes, a lo que se añade una reserva de 7 MHz para la interconexión de picocélulas.

FIGURA 18

Anchura de banda total necesaria en la banda de frecuencias de 38 GHz; «zona urbana»



2060-18

Anexo 3

Repercusión de la lluvia en la red de transporte de las IMT-2000

En este Anexo se presentan los resultados de un estudio sobre la repercusión de la lluvia en la red de transporte de las IMT-2000. En ese estudio se tuvieron particularmente en cuenta las bandas de frecuencias más utilizadas en Europa, a saber las bandas de 18, 23 y 38 GHz.

De los resultados obtenidos en este estudio se infiere que las condiciones climáticas de una determinada zona pueden incidir notablemente en la elección de las bandas de frecuencias para la red de transporte de las IMT-2000. Ello se ilustra con un ejemplo basado en la experiencia de un operador francés en zonas con características climáticas muy distintas.

1 Redes de transporte móviles en Europa

En febrero de 2002, se publicó el Informe 003 del ECC, «Servicio fijo en Europa - Utilización actual y futuras tendencias posteriores a 2002». En ese Informe, realizado por un cierto número de administraciones, se indica que las dos principales bandas de frecuencias utilizadas en Europa en las redes de la infraestructura del SF son las bandas de 23 y 38 GHz. En el Cuadro 22 se observa el número de enlaces aplicables a dichas bandas, y también los correspondientes a las bandas de 18 y 24,5-26,5 GHz.

CUADRO 22

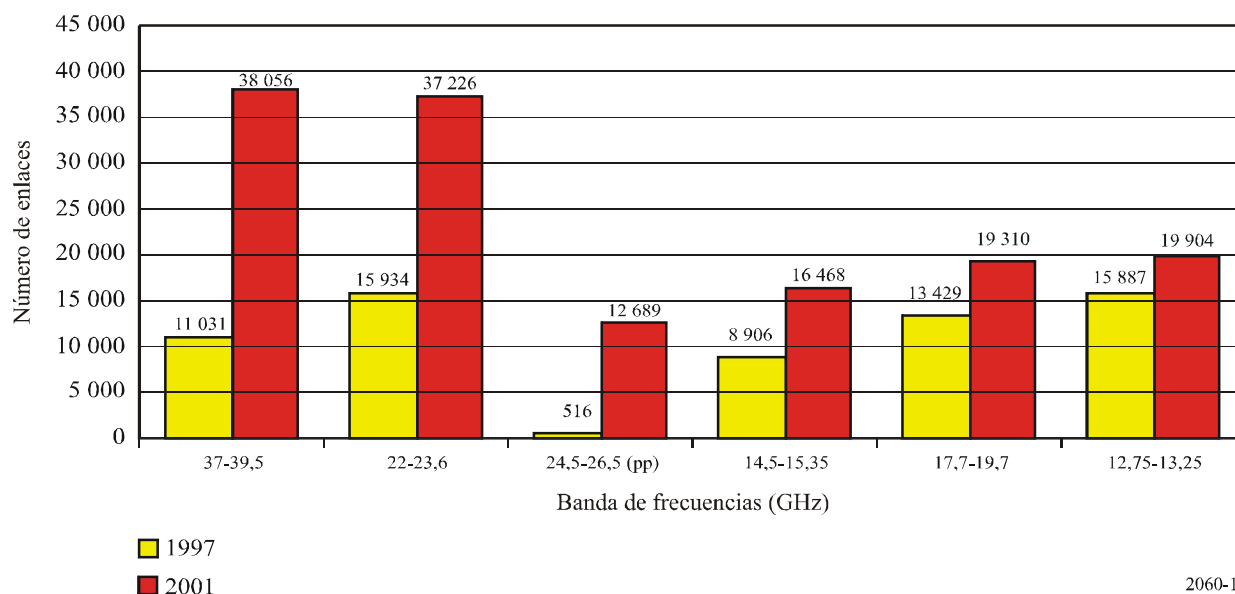
Número de enlaces del SF en Europa en 2001 en diferentes bandas

Banda de frecuencias (GHz)	Número de enlaces en Europa
17,7-19,7	19 310
22-23,6	37 226
24,5-26,5 (Nota)	12 689
37-39,5	38 056

NOTA – Es una de las bandas mencionadas como «bandas de 27 GHz» en el Cuadro 3.

Como se observa en el histograma de la Fig. 19, las bandas de 37-39,5 GHz y 22-23,6 GHz son evidentemente las dos bandas más utilizadas en las redes de infraestructura en Europa.

FIGURA 19

Comparación de la utilización de las diferentes bandas de frecuencia en Europa: 1997 y 2001 (extraído del Informe 003 del ECC)

2060-19

2 Comparación de las repercusiones de la lluvia en la utilización del SF

Para efectuar la comparación de las repercusiones de la lluvia en la utilización del SF en las diferentes bandas, se ha estimado el margen de desvanecimiento disponible en distintas zonas hidrometeorológicas geográficas en las bandas de 18, 23 y 38 GHz, en función de la longitud del enlace.

2.1 Cálculo del margen en función de la longitud del enlace

Este cálculo está basado en las Recomendaciones UIT-R P.530, con una disponibilidad mínima de 99,99%, y en la Recomendación UIT-R P.676. Los sistemas del SF considerados son del modo P-P y sus características son las indicadas en la Recomendación UIT-R F.758. En algunos casos, se han utilizado las características de sistemas que funcionan actualmente en ciertos países con climas templados o tropicales.

El margen de desvanecimiento FM se calcula del modo siguiente:

$$FM = P_r - P_{r,min}$$

o:

$$FM = G_e + G_r + P_e - L_T(p) - FL - P_{r,min}$$

en el cual:

- FM : margen de desvanecimiento
- P_e : potencia de entrada en la emisión (potencia de transmisor) (dBm)
- $L_T(p)$: pérdida total (lluvia en p%, gas, difracción) (dB)
- FL : pérdida de alimentación (total: en la emisión y la recepción) (dB)
- $P_{r,min}$: nivel mínimo en la recepción (generalmente para una BER de 10^{-6}) (dBm)
- G_e : ganancia de antena en emisión (transmisor) (dBi)
- G_r : ganancia de antena en recepción (receptor) (dBi).

NOTA 1 – Dado que sólo se consideran sistemas P-P del SF, en los cálculos siguientes $G_e = G_r = G$.

2.2 Resultado de los cálculos en las zonas E, M, N, P y Q

En todos los casos, el ángulo de elevación es 0° y $p = 0,01\%$.

Sobre la base de los cálculos presentados en el § 2.1, se propone a continuación una comparación directa entre la gama disponible de longitudes de salto en las bandas de 18 GHz en la zona Q y de 23 y 38 GHz en la zona E.

Se han utilizado las características indicadas en el Cuadro 23:

CUADRO 23

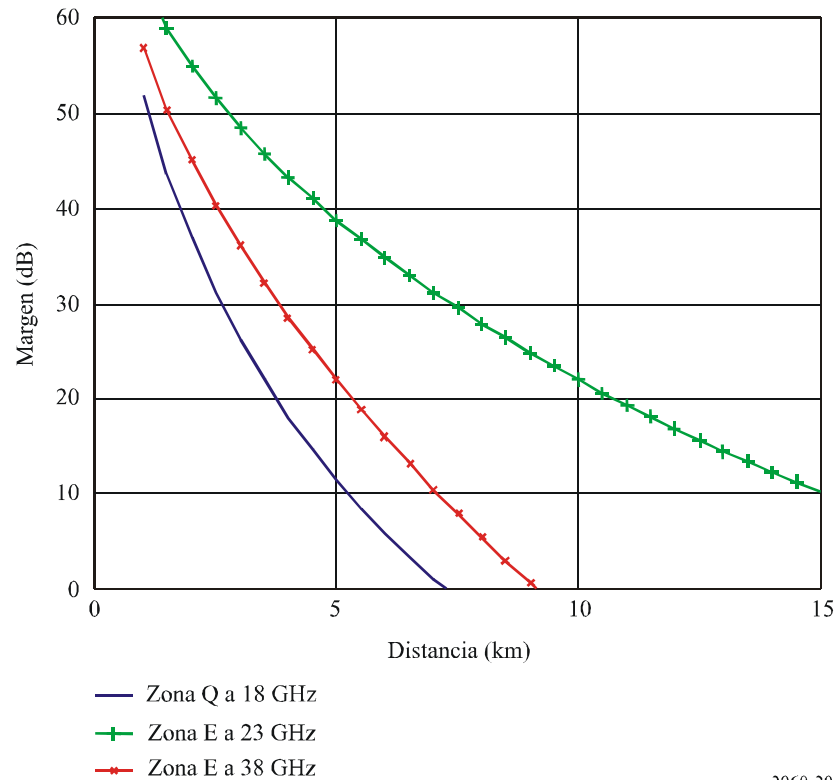
Características de sistemas para los cálculos presentados en la Fig. 20

Frecuencia (GHz)	18	23	38
FL (dB)	3	4	4
P_e (dBm)	+25	-25	-25
G (dBi)	45	46	46
$P_{r,min}$ (dBm)	-72,4	-78	-78

En la Fig. 20 se observan los resultados de esta comparación. Al parecer, hay una gran similitud entre la gama de longitudes de salto obtenida en la banda de 38 GHz en la zona climática E y la obtenida en la banda de 18 GHz en la zona climática Q. En esta zona, la banda de 18 GHz cumple la misma función (concretamente, para la red de infraestructura) que la banda de 38 GHz en la zona climática.

FIGURA 20

Comparación entre la gama disponible de longitudes de salto en las bandas de 18 GHz en la zona Q y de 23 y 38 GHz en la zona E



2060-20

3 Situación existente en los departamentos franceses de ultramar

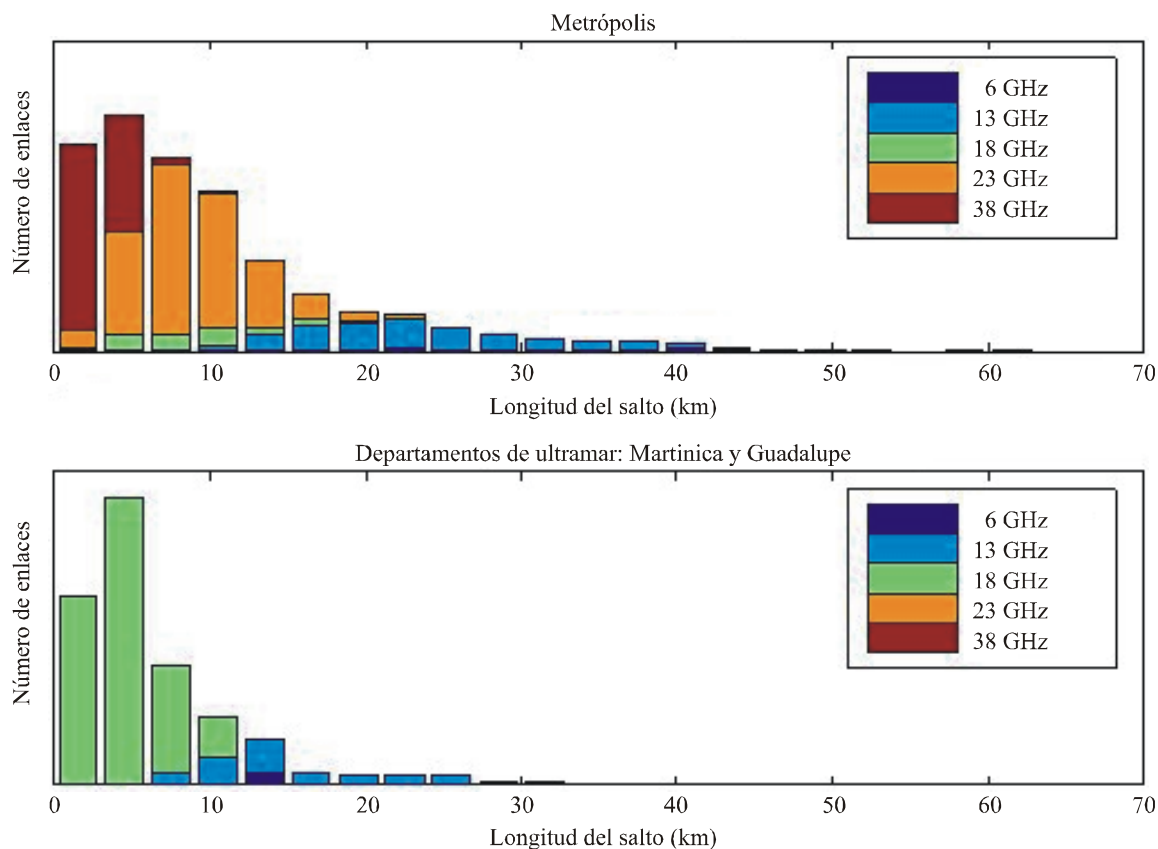
A raíz de la atenuación debida a la lluvia, un operador francés no utiliza las bandas de 23 y 38 GHz en los departamentos franceses de ultramar del Caribe, Guadalupe y Martinica. La banda de frecuencias de 18 GHz es la banda más alta utilizada en el SF para la red de infraestructura de las IMT-2000.

En la Fig. 21 puede compararse la distribución de las bandas de frecuencia en función de la longitud de salto entre la metrópoli y los departamentos franceses de ultramar Martinica y Guadalupe.

NOTA 1 – A título informativo, el número total de enlaces considerados en el histograma que figura a continuación son los siguientes: 5 460 en los departamentos de la metrópoli y 241 en los departamentos franceses de ultramar.

FIGURA 21

Distribución de enlaces para la infraestructura de redes móviles en Francia, incluidos los departamentos de ultramar



Anexo 4

Ejemplos de asignaciones de frecuencias en algunos países

1 Noruega: Método de asignación de bloques de frecuencias

En Noruega se han asignado bloques de frecuencias en las bandas de 23, 24,5-26,5 GHz y 38 GHz. Debido a la gran demanda y a los recursos limitados de las autoridades encargadas de conceder licencias, los bloques de frecuencias fueron asignados a los operadores aplicando el principio «por orden de llegada». Asimismo, se concedió la licencia de dichos bloques a nuevos operadores con las siguientes condiciones:

- Las licencias se otorgan sin una reglamentación técnica muy estricta. Los operadores son responsables de las interferencias causadas por sus sistemas. Si se planteara un conflicto entre dos operadores, tiene prioridad el operador cuyo sistema haya sido puesto en servicio en primer lugar.
- Al final de cada año, los operadores deben enviar a la autoridad encargada de conceder la licencia una información detallada de los enlaces que han establecido.
- Puede evaluarse en cualquier momento la utilización del espectro asignado a un operador. Si la autoridad competente considera que no es necesario un bloque completo de frecuencias, puede retirar la licencia correspondiente a ese bloque y sustituirla por licencias individuales.

2 Reino Unido: Método de asignaciones enlace por enlace

El sistema de asignaciones de enlaces fijos, un sistema limitado en ruido que ha sido concebido por el Organismo de Radiocomunicaciones (RA) del Reino Unido, que forma parte ahora de la Oficina de Comunicaciones (OFCOM), permite responder a la demanda de los usuarios. Cada banda de frecuencias del servicio fijo es administrada por OFCOM y el sistema de asignaciones se actualiza según criterios pertinentes en materia de asignación de frecuencias (por ejemplo, longitud mínima del salto, clases de antenas autorizadas, etc.). Mediante dicho sistema, todas las asignaciones se efectúan enlace por enlace.

Al solicitar una licencia, el usuario facilita detalles sobre las ubicaciones de preferencia así como sobre las características técnicas del enlace requerido como, por ejemplo, equipos, polarización y disponibilidad. En la mayoría de los casos, a excepción de la banda de 57-59 GHz, exenta de licencia, y de la banda de 64-66 GHz, cuya licencia se concede con un proceso de registro, los canales son atribuidos en la banda de frecuencias compatible más alta con el fin de responder a las necesidades del usuario.

Antes de asignar el enlace, la solicitud es validada por el sistema, que verifica los siguientes elementos:

- si los emplazamientos son identificables o conocidos; se crean nuevos emplazamientos, si es necesario;
- existencia de una configuración Hi/Lo y de una visibilidad directa (LoS);
- aprobación de la utilización de antenas para la banda considerada, según las especificaciones de los fabricantes;
- aprobación del equipo para la banda;
- longitudes del enlace apropiadas.

Si la solicitud es válida, se llevan a cabo otras verificaciones técnicas, entre ellas:

- los ángulos de elevación y de acimut correctos de la antena;
- si la disponibilidad requerida es superior a 99,99%.

Una vez efectuadas estas verificaciones, el programa de asignación identifica el tipo de terreno alrededor de los extremos del enlace y entre ellos, por ejemplo, las zonas rurales y urbanas, las superficies de agua, los bosques, etc.; por otra parte, se calcula el despegamiento de la Zona de Fresnel, el margen de desvanecimiento y las p.i.r.e. requeridas.

En el marco del proceso de asignación, se determinan a continuación todos los enlaces de la misma banda dentro de la zona de coordinación. Entre todos los canales disponibles, el ingeniero a cargo de la asignación selecciona luego un canal/una serie de canales. Dentro de la zona de coordinación, se calculan y evalúan todas las señales de interferencia recibidas de los otros usuarios o transmitidas a ellos para determinar las posibles interferencias. Se asigna entonces el primer canal libre de interferencias disponible. En casos especiales, este sistema puede ser anulado manualmente.

Las frecuencias para cada enlace se asignan en forma provisoria tras la coordinación con los enlaces terrenales fijos (P-P) existentes y otros servicios. La notificación de frecuencias provisorias no permite explotar el enlace terrenal fijo (P-P) sino que sirve de ayuda al solicitante en las etapas previas de compra y configuración del equipo. La licencia se concede en forma oficial únicamente cuando todas las autorizaciones han sido recibidas y confirmadas por todas las partes interesadas.