

INFORME UIT-R F.2086*

**Características técnicas y operativas y aplicaciones del acceso
inalámbrico en banda ancha en el servicio fijo**

(2006)

ÍNDICE

Página

1	Introducción.....	3
2	Cometido	3
3	Referencias	3
4	Lista de acrónimos y abreviaturas	4
5	Aplicaciones y servicios	6
6	Características.....	6
6.1	Gamas de frecuencias operativas.....	7
6.2	Eficacia de utilización del espectro (EUE).....	7
6.3	Estructuras topológicas.....	9
6.3.1	Topología de implantación P-P.....	9
6.3.2	Topología de implantación P-MP.....	10
6.3.3	Topología de implantación MP-MP.....	10
6.3.4	Combinación de topologías de implantación P-P, P-MP y MP-MP....	11
6.4	Antenas	12
6.5	Duplexación.....	12
6.6	Tipos de implantación.....	12
6.6.1	Funcionamiento con visibilidad directa (LoS).....	12
6.6.2	Funcionamiento sin visibilidad directa (NLoS)	12
6.6.3	Implantación planar.....	13
6.6.4	Implantación puntual.....	15
6.6.5	Implantación en red de retroceso	15
6.6.6	Implantación combinada.....	16

	<i>Página</i>
6.7 Características de transporte	16
6.7.1 Independencia de servicio	16
6.7.2 Soporte de servicio	16
6.7.3 Asimetría flexible.....	16
6.7.4 Adaptación de velocidad por abonado	17
6.7.5 Caudal	17
6.7.6 Escalabilidad	17
6.7.7 Seguridad específica de las radiocomunicaciones	18
6.8 Función de gestión del sistema	18
6.9 Reducción de la interferencia	18
6.9.1 Tipos de interferencia.....	18
6.9.2 Técnicas de reducción de la interferencia	18
6.9.3 Aplicación de técnicas de reducción de la interferencia	20
6.10 Soporte de nuevas tecnologías.....	20
Anexo 1 – Ejemplo de aplicación BWA específica.....	22

1 Introducción

En este Informe se presentan las características y aplicaciones de los sistemas de acceso inalámbrico en banda ancha (BWA) del servicio fijo que utilizarán los administradores y operadores que implanten sistemas BWA. Los sistemas BWA, incluidas las aplicaciones del servicio fijo de las redes radioeléctricas de área local (RLAN), se utilizan ampliamente en equipos transportables, nómadas y fijos, y para diversos servicios. Existen normas que determinan la compatibilidad y funcionamiento de estos sistemas. Las normas relativas a interfaces radioeléctricas para sistemas BWA fijos pueden encontrarse en las Recomendaciones UIT-R F.1763 y UIT-R F.1499, donde se especifican detalladamente las interfaces para la compatibilidad de los equipos de radiocomunicaciones que funcionan por debajo de 66 GHz.

2 Cometido

Este Informe resume las características técnicas y operativas necesarias para la utilización por parte de los usuarios extremos de sistemas BWA del servicio fijo, incluidas las RLAN. Se incluye un análisis técnico de la gama de frecuencias, así como de las características de propagación relacionadas con la implantación de BWA. También puede encontrarse información sobre los requisitos técnicos y operativos necesarios para evitar la interferencia.

3 Referencias

- [1] Recomendación UIT-R F.1490 – Requisitos genéricos para los sistemas de acceso inalámbrico fijo
- [2] ETSI TR 101 856 V1.1.1 (2001-03) – *Broadband Radio Access Networks (BRAN) – Functional Requirements for Fixed Wireless Access systems below 11 GHz: HIPERMAN*
- [3] IEEE 802.16.3-00/02r4, 22.09.2000 – *Functional Requirements for the 802.16.3 Interoperability Standard*
- [4] Recomendación UIT-R F.1704 – Características de los sistemas inalámbricos fijos multipunto a multipunto con topología de red en malla que funcionan en bandas de frecuencias superiores a unos 17 GHz
- [5] Recomendación UIT-R F.1401 – Consideraciones sobre la identificación de posibles bandas de frecuencias para el acceso inalámbrico fijo y estudios de compartición relacionados
- [6] Recomendación UIT-R F.755 – Sistemas punto a multipunto en el servicio fijo
- [7] Recomendación UIT-R F.1400 – Requisitos y objetivos de calidad de funcionamiento y de disponibilidad para sistemas de acceso inalámbrico fijo a la red telefónica pública con conmutación
- [8] Recomendación UIT-R M.1450 – Características de las redes radioeléctricas de área local de banda ancha
- [9] Recomendación UIT-R F.1763 – Normas de interfaz radioeléctrica para sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha que funcionan en el servicio fijo por debajo de 66 GHz
- [10] Recomendación UIT-R F.1399 – Terminología del acceso inalámbrico
- [11] Recomendación UIT-R F.1499 – Sistemas de transmisión radioeléctrica para el acceso inalámbrico fijo en banda ancha basado en normas de módem por cable
- [12] Recomendación UIT-R SM.1046 – Definición de la eficacia en la utilización del espectro por un sistema de radiocomunicaciones

- [13] ETSI TS 101 999 V1.1.1 (2002-04) – *Broadband Radio Access Networks (BRAN); HiperACCESS; PHY (Physical Layer) protocol specification*
- [14] ETSI TS 102 000 V1.4.1 (2004-07) – *Broadband Radio Access Networks (BRAN); HiperACCESS; DLC (Data Link control) protocol specification*
- [15] Proyecto ETSI EN 302 326 (V0.0.8 2004-10) – *Fixed Radio Systems; Multipoint equipment and antennas*
- [16] ARIB STANDARD STD-T59 – *Fixed Wireless Access System using quasi-millimeter-wave and millimeter-wave band frequencies, Point-to-multipoint System*
(http://www.arib.or.jp/english/html/overview/st_e.html)
- [17] Informe UIT-R F.2060 – Utilización del servicio fijo en la red de transporte IMT-2000
- [18] Recomendación UIT-R F.746 – Configuración de radiofrecuencias para los sistemas del servicio fijo
- [19] Informe UIT-R F.2058 – Técnicas de diseño aplicables a los sistemas de acceso inalámbrico fijo en banda ancha que transportan paquetes de protocolo Internet o células del modo de transferencia asíncrono
- [20] Informe UIT-R F.2047 – Desarrollos tecnológicos y tendencias de las aplicaciones en el servicio fijo
- [21] Manual UIT-R – Servicio móvil terrestre (incluso acceso inalámbrico) Volumen 1: Acceso inalámbrico fijo

4 Lista de acrónimos y abreviaturas

AMDC	Acceso múltiple por división de código (<i>code division multiple access</i>)
AMDFO	Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (<i>orthogonal frequency-division multiple access</i>)
AP	Punto de acceso (<i>access point</i>)
APS	Conformación del diagrama de antena (<i>antenna pattern shaping</i>)
ARIB	Asociación de industrias y empresas de radiocomunicaciones (<i>association of radio industries and businesses</i>)
ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
BEM	Máscara de borde de bloque (<i>block edge mask</i>)
BER	Proporción de bits erróneos (<i>bit error ratio</i>)
BRAN	Red de acceso radioeléctrico de/en banda ancha (ETSI) (<i>broadband radio access network (ETSI)</i>)
BS	Estación de base (<i>base station</i>)
BWA	Acceso inalámbrico de/en banda ancha (<i>broadband wireless access</i>)
C/I	Portadora/interferencia (<i>carrier-to-interference</i>)
Diffserv	Servicios diferenciados (<i>differentiated services</i>)
DL	Enlace descendente (<i>downlink</i>)
DLC	Control de enlace de datos (<i>data link control</i>)

ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (<i>European Telecommunications Standards Institute</i>)
FDD	Dúplex por división de frecuencia (<i>frequency division duplex</i>)
FSK	Modulación por desplazamiento de frecuencia (<i>frequency shift keying</i>)
FWA	Acceso inalámbrico fijo (<i>fixed wireless access</i>)
GPS	Sistema mundial de determinación de posición (<i>global positioning system</i>)
H-FDD	FDD semidúplex (<i>half duplex FDD</i>)
HipeRMAN	Red radioeléctrica de área metropolitana de alta calidad de funcionamiento (<i>High Performance radio metropolitan area network</i>)
IEEE	Instituto de Ingenieros en Electricidad y en Electrónica
ISI	Interferencia entre símbolos (<i>inter-symbol-interference</i>)
IP	Protocolo Internet (<i>Internet protocol</i>)
ISP	Proveedor de servicio Internet (<i>Internet service providers</i>)
LAN	Red de área local (<i>local area network</i>)
LoS	Visibilidad directa (<i>line-of-sight</i>)
MA	Acceso múltiple (<i>multiple access</i>)
MAN-RAM	Red de área metropolitana (<i>metropolitan area network</i>)
MDFO	Múltiplex por división de frecuencia ortogonal (<i>orthogonal frequency division multiplex</i>)
MIMO	Entrada múltiple salida múltiple (<i>multiple input multiple output</i>)
MPEG4	Grupo de Expertos de imágenes en movimiento 4 (<i>moving picture experts Group 4</i>)
MP-MP	Multipunto a multipunto (<i>multipoint-to-multipoint</i>)
MPLS	Conmutación por etiquetas multiprotocolo (<i>multi-protocol label switching</i>)
MUD	Detección de múltiples usuarios (<i>multi-user detection</i>)
NLoS	Sin visibilidad directa (<i>non-line-of-sight</i>)
PoI	Puntos de interfaz (<i>points of interface</i>)
P-P	Punto a punto (<i>point-to-point</i>)
P-MP	Punto a multipunto (<i>point-to-multipoint</i>)
MAQ	Modulación de amplitud en cuadratura (<i>quadrature amplitude modulation</i>)
QoS	Calidad de servicio (<i>quality of service</i>)
RLAN	Red radioeléctrica de área local (<i>radio local area network</i>)
RSVP	Protocolo de reserva de recursos (<i>resource reservation protocol</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SLA	Acuerdo de nivel de servicio (<i>service level agreement</i>)
PYME	Pequeña y mediana empresa
SINR	Relación entre la señal y el ruido de la interferencia (<i>signal and interference to noise ratio</i>)

SNMP	Protocolo simple de gestión de red (<i>simple network management protocol</i>)
SOHO	Oficina pequeña/en la vivienda (<i>small office home office</i>)
ST	Terminal de abonado (<i>subscriber terminal</i>)
SU	Unidad de abonado (<i>subscriber unit</i>)
TCP/IP	Protocolo de control de transmisión/protocolo Internet (<i>transmission control protocol/Internet protocol</i>)
TDD	Dúplex por división en el tiempo (<i>time division duplex</i>)
UL	Enlace ascendente (<i>uplink</i>)
VoIP	Voz sobre protocolo Internet (<i>voice over Internet protocol</i>)
WAN	Red de área extensa (<i>wide area network</i>)
WAS	Sistemas de acceso inalámbrico (<i>wireless access systems</i>)

5 Aplicaciones y servicios

Los sistemas BWA que funcionan en el servicio fijo deben soportar una amplia variedad de aplicaciones utilizadas hoy en día y han de poder ampliarse para soportar otros servicios en el futuro. Las principales aplicaciones de usuario que pueden preverse al día de hoy son las siguientes:

- Acceso a Internet (por ejemplo, IP versiones 4 y 6)
- Punteo LAN y acceso LAN a distancia

Los protocolos pueden soportar el servicio LAN puenteado y las capacidades de acceso LAN a distancia.

- Videotelefonía y videoconferencia
- Juegos informáticos
- Vídeo y audio en tiempo real
- Telemedicina; teleenseñanza
- Servicios de telefonía/voz (por ejemplo, VoIP)
- Módem y fax en banda de voz

El sistema puede facilitar la unidifusión, la multidifusión y los servicios de radiodifusión.

Los sistemas BWA fijos también pueden utilizarse como red de retroceso para redes de área local (LAN), redes de área metropolitana (MAN) y redes móviles celulares, así como para los anillos de la jerarquía digital síncrona (SDH).

6 Características

En este punto se presentan algunas características para la implantación de sistemas BWA en el servicio fijo. Las bandas de frecuencias utilizadas pueden variar de un país a otro, por lo que habrá que contar con un adecuado plan de bandas y con equipos para reutilizar las frecuencias y determinar la escala adecuada de producción de equipos.

Para la implantación de sistemas BWA habrán de tenerse en cuenta otras características, principalmente para fomentar la utilización eficiente del espectro, la garantía de calidad de servicio (QoS) y la utilización de nuevas tecnologías.

6.1 Gammas de frecuencias operativas

Los sistemas BWA fijos deben poder funcionar en una amplia gama de frecuencias para adaptarse a las distintas bandas disponibles en cada país. La Recomendación UIT-R F.1401 puede emplearse como orientación para identificar las posibles bandas de frecuencias para el BWA y para los estudios de compartición correspondientes.

En el Cuadro 1 se presentan más detalles sobre las bandas de frecuencias utilizadas por algunas administraciones para los sistemas de acceso inalámbrico (WAS), incluidos el BWA y las RLAN. Los sistemas BWA pueden emplear diversas técnicas de modulación y acceso múltiple.

CUADRO 1
Ejemplos de gammas de frecuencias utilizadas por algunas administraciones para WAS, incluidos BWA y RLAN*

Frecuencia	Gammas/bandas de frecuencias
Ondas decimétricas (300-3 000 MHz)	800/900 MHz 902-928 MHz 1 800/1 900 MHz 2 400-2 483,5 MHz
Ondas centimétricas (3-30 GHz)	3,3-3,9 GHz 4,9-5,0 GHz 5,150-5,250 GHz 5,250-5,350 GHz 5,470-5,725 GHz 5,725-5,850 GHz 18 GHz 24/25/28/29 GHz
Ondas milimétricas (30-300 GHz)	32 GHz 38 GHz 40 GHz

* Estas bandas no están necesariamente atribuidas por el Artículo 5 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) al servicio fijo, y pueden comprender, por ejemplo, aplicaciones fijas del servicio móvil.

Normalmente cada sistema BWA está diseñado para utilizar un(os) espaciamento(s) de canal y una(s) anchura(s) de banda específicos, dependiendo de las normas empleadas o del diseño propio de cada fabricante. No obstante, es posible diseñar distintos sistemas BWA con espaciamientos de canal diferentes y para su implantación en diversas sectorizaciones de estación de base a fin de utilizar eficientemente el espectro dentro de los bloques o bandas de frecuencias con licencia.

También pueden utilizarse otras Recomendaciones UIT-R (por ejemplo, la Recomendación UIT-R F.746) como orientación para la configuración de radiofrecuencias para el acceso inalámbrico fijo (FWA), incluidos los sistemas BWA.

6.2 Eficacia de utilización del espectro (EUE)

Puede encontrarse información sobre la EUE, incluidos los criterios generales de evaluación y comparación de eficacias de espectro, en la Recomendación UIT-R SM.1046. Los estudios llevados a cabo por la Comisión de Estudio 1 (CE 1) de Radiocomunicaciones, que se mencionan en la Recomendación UIT-R SM.1046, indican que la EUE debe medirse en términos de la relación entre la cantidad de información transferida a lo largo de una determinada distancia y el factor de

utilización del espectro. Entre los factores que determinan la EUE se cuentan el aislamiento obtenido de la directividad de la antena, la separación geográfica, la compartición de frecuencias o la utilización de frecuencias ortogonales y la compartición del tiempo o la división en el tiempo.

Uno de los factores que determinan la anchura de banda ocupada¹ son las características de conformación/filtrado del espectro. Los equipos deben poder utilizar eficazmente el espectro sin apenas degradación de la capacidad cuando los puntos de acceso están coubicados y se utilizan canales adyacentes.

Para ello, cuando a distintos operadores se les asignan canales o bloques adyacentes, se necesita una determinada banda de guarda desde la frecuencia frontera. Aplicando este método se consigue regular la anchura de banda (BW) de separación de portadora que puede utilizarse en cada banda con licencia y exigir que sea igual para todas las bandas con licencia.

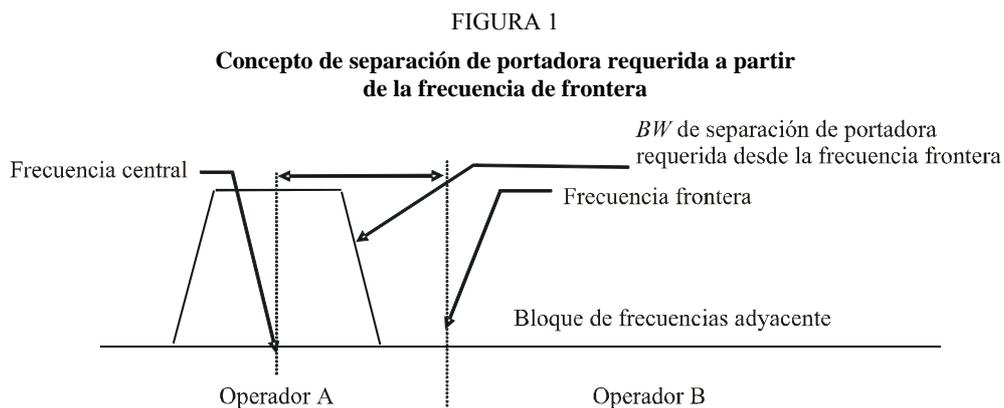
A continuación se muestra un ejemplo de la separación de frecuencia requerida a partir de la frecuencia de frontera para los sistemas P-MP. En la Fig. 1, la frecuencia central de las portadoras transmitidas debe tener la separación requerida en anchura de banda desde la frontera del bloque de frecuencias adyacente, que está asignado a un operador distinto.

En este ejemplo, anchura de banda (BW) se define de la siguiente manera:

$$BW = 1,25 \times BW_0$$

donde BW_0 es la frecuencia más cercana a la central, en la que el nivel relativo del espectro medido es -23 dB inferior al nivel máximo de espectro.

En principio, el operador, en su bloque asignado, debe utilizar en primer lugar los canales radioeléctricos más cercanos al centro del bloque de frecuencias. En los sistemas multiportadora, estos requisitos deben aplicarse a la portadora más exterior desde el centro del bloque de frecuencias.



¹ Anchura de la banda de frecuencias tal que, por debajo de su frecuencia límite inferior y por encima de su frecuencia límite superior, se emitan *potencias medias* iguales cada una a un porcentaje especificado, $\beta/2$, de la *potencia media* total de una *emisión* dada (definida en el número 1.153 del RR).

También se utiliza otro método, conocido como máscara de borde de bloque (BEM), para la asignación de bloques de espectro adyacentes a operadores en la misma zona geográfica. Se asignan bloques contiguos sin banda de guarda y los equipos tienen que cumplir los requisitos de la BEM. Este método permite a los operadores implantar sistemas con cualquier anchura de banda de separación de portadora, incluidas distintas anchuras de banda de separación de portadora en bloques adyacentes, siempre y cuando sus emisiones en el borde del bloque se encuentren por debajo de la BEM.

6.3 Estructuras topológicas

Hay cuatro topologías básicas:

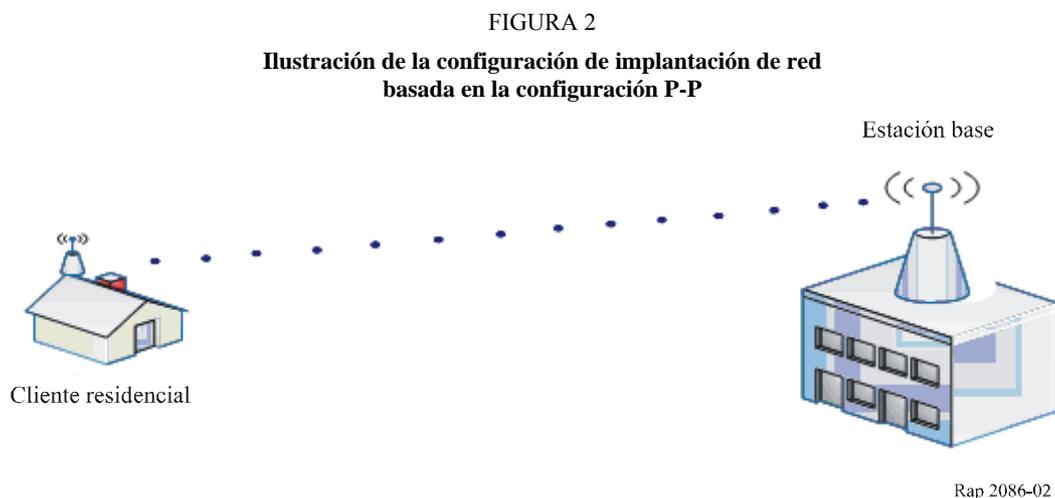
- topología punto a punto (P-P) convencional, donde una estación se comunica directamente con otra estación;
- topología punto a multipunto (P-MP) convencional, donde cada unidad de abonado (SU) se comunica directamente con una estación de base (BS);
- topología multipunto a multipunto (MP-MP) con red en malla, donde las unidades de abonado se comunican con sus vecinos más cercanos y la información se transmite por una malla de manera análoga a lo que ocurre con el tráfico Internet;
- combinación de topologías P-P, P-MP y MP-MP.

La principal diferencia entre las topologías P-MP y MP-MP es que en el modo P-MP el tráfico sólo existe entre la estación de base y las unidades de abonado, mientras que en la topología MP-MP el tráfico puede existir directamente entre las unidades de abonado y también puede seguir encaminándose por otras unidades de abonado. Hay que tener en cuenta que una aplicación P-P puede emplearse como enlace de una topología P-MP o MP-MP, y que algunas redes de retroceso con infraestructura móvil también pueden emplear la aplicación P-P.

Cuando se estudie la implantación, habrán de evaluarse las cuatro topologías expuestas: P-P, P-MP y MP-MP, o una combinación de ellas.

6.3.1 Topología de implantación P-P

En los sistemas P-P, el tráfico se transmite directamente de una estación a otra. Los sistemas P-P también pueden emplearse como redes de retroceso para LAN, MAN y redes móviles celulares.



6.3.2 Topología de implantación P-MP

En los sistemas P-MP, todo el tráfico de datos (datos, voz o multimedios) debe pasar por la estación de base (BS), que actuará como supervisor de los recursos radioeléctricos.

En la Fig. 3 se muestra un ejemplo de esta configuración. La estación de base puede dar servicio a edificios independientes, a múltiples abonados en múltiples edificios (utilizando múltiples radioenlaces) o a múltiples abonados en un solo edificio empleando un único radioenlace y otros sistemas de distribución dentro del edificio. Se muestra la utilización de un repetidor optativo y la diversidad de rutas a fin de ampliar la cobertura y dar cobertura a zonas difíciles, lo que no implica que todos los sistemas tengan estas características.

Las estaciones de base BWA se implantan de manera que formen células contiguas o para dar cobertura puntual.

6.3.3 Topología de implantación MP-MP

El sistema puede soportar la topología MP-MP con red en malla.

En la Fig. 4 se muestra un ejemplo de sistema MP-MP con red en malla. La red en malla inalámbrica está formada por nodos inalámbricos, que son emplazamientos de cliente, nodos de retransmisión sin tráfico de origen/destino, o puntos de interfaz (PoI) con otras redes, como las redes Proveedor de servicio Internet (ISP). Toda la red de la Fig. 4 puede considerarse como un sistema MP-MP. Cuando en la red se dispone de al menos una ruta de diversidad, el sistema se denomina específicamente «sistema MP-MP con topología de red en malla» (véase la Recomendación UIT-R F.1704).

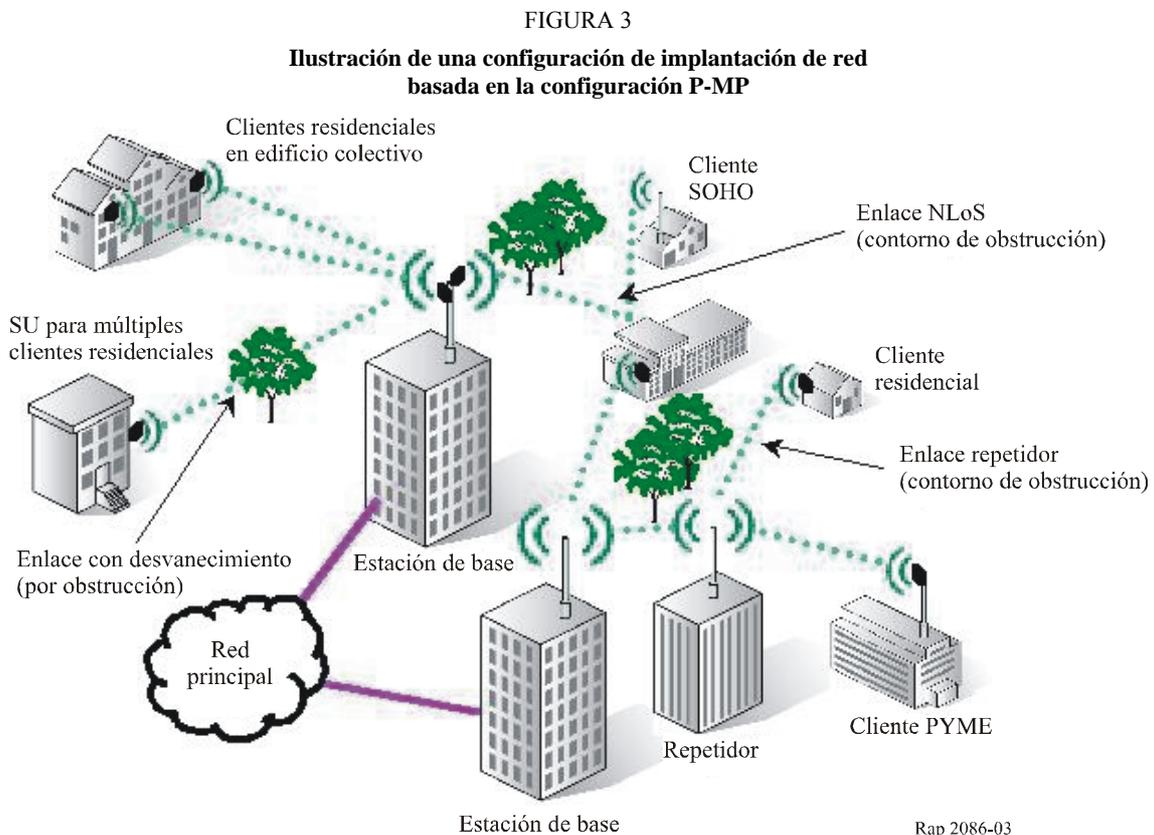
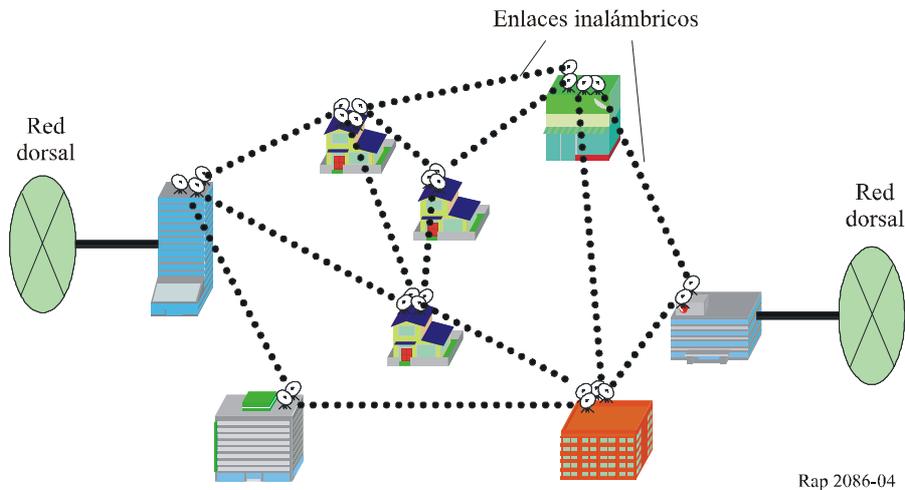


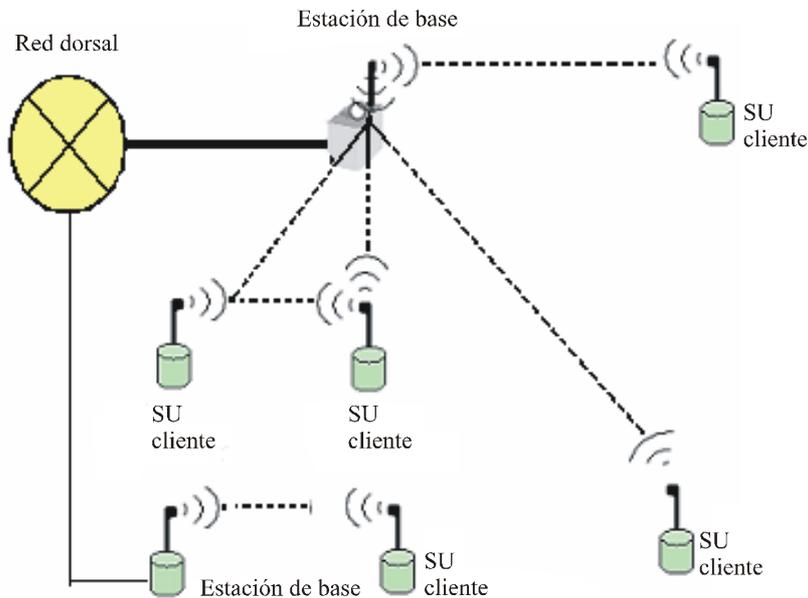
FIGURA 4
Ilustración de una configuración de implantación de red basada en la configuración MP-MP



6.3.4 Combinación de topologías de implantación P-P, P-MP y MP-MP

En la Fig. 5 se muestra un ejemplo de topología mixta. En este caso, la red inalámbrica puede tener enlaces tanto P-MP como MP-MP y la estación de base que soporta la unidad de abonado puede estar conectada a otras redes a través de la red principal.

FIGURA 5
Ilustración de la implantación de red basada en una combinación de configuraciones P-P, P-MP y MP-MP



6.4 Antenas

La calidad de funcionamiento de la antena se especifica de diversas maneras. En lo que respecta a la interferencia, si bien la supresión general del lóbulo lateral es importante, la relación anterior-posterior es uno de los parámetros fundamentales en una topología celular. La relación anterior-posterior de una antena indica la relación de la ganancia en el sentido del haz principal de la antena con respecto al sentido opuesto (véase el § 6.9.2.2).

6.5 Duplexación

El BWA en el servicio fijo puede lograrse empleando la FDD o la TDD o una combinación de ambas.

En el modo FDD, la estación base debe soportar la FDD dúplex completo. La unidad de abonado puede optar por trabajar en modo FDD dúplex completo o FDD semidúplex (H-FDD). Para soportar que las unidad de abonado trabajen en modo H-FDD, la estación de base debe asegurarse de no programar una unidad de abonado H-FDD para transmitir y recibir al mismo tiempo.

En el modo TDD, el sistema puede soportar la duración variable dinámica del enlace ascendente (UL) y el enlace descendente (DL), de acuerdo con el tráfico asimétrico existente y con la requerida sincronización en las zonas donde se utilicen sistemas TDD a fin de poder soportar más de un sistema.

El esquema de duplexación debe seleccionarse al tiempo que la modulación preferida, así como las técnicas de acceso múltiple (MA). Hay diversas combinaciones de técnicas de MA/modulación que se han determinado como normas BWA, y que pueden encontrarse en los siguientes textos del UIT-R:

- Informe UIT-R F.2058 – Técnicas de diseño aplicables a los sistemas de acceso inalámbrico fijo en banda ancha que transportan paquetes de protocolo Internet o células del modo de transferencia asíncrono
- Recomendación UIT-R M.1450 – Características de las redes radioeléctricas de área local de banda ancha (para los sistemas BWA basados en aplicaciones RLAN en el servicio fijo).

6.6 Tipos de implantación

6.6.1 Funcionamiento con visibilidad directa (LoS)

El sistema BWA debe poder funcionar en condiciones de visibilidad directa con distintas polarizaciones, independientemente de la banda de frecuencias operativa.

6.6.2 Funcionamiento sin visibilidad directa (NLoS)

La capacidad de funcionar sin visibilidad directa puede facilitar o eliminar algunos de los requisitos de instalación de la antena y permitir la utilización de terminales instalables por el usuario, que pueden reducir significativamente los costes de implantación.

En bandas de frecuencias inferiores, por ejemplo, por debajo de 6 GHz, el sistema BWA puede funcionar en condiciones NLoS. Dado el carácter multitrayecto inherente a las bandas de frecuencias objetivo, el sistema BWA puede soportar una dispersión de retardo de varios μ s sin apenas degradación de la calidad de funcionamiento.

El funcionamiento NLoS requiere resistencia a los trayectos múltiples y una mayor ganancia del sistema. Los sistemas BWA que soportan este funcionamiento generalmente sirven para aumentar el presupuesto del enlace ascendente sin afectar a la complejidad del terminal de abonado (ST).

6.6.3 Implantación planar

Se escogen implantaciones planares cuando los proveedores de servicio desean dar servicio BWA ubicuo a una zona grande. La ventaja de la implantación planar reside en que toda la zona quedará cubierta de manera uniforme. El inconveniente es que se necesita una mayor planificación y diseño iniciales.

En los Manuales de la UIT, como el Manual sobre acceso inalámbrico fijo y otras publicaciones ajenas a la UIT, pueden encontrarse orientaciones en materia de técnicas de diseño de implantaciones planares. A continuación se presentan algunos ejemplos.

En la Fig. 6 se muestran ejemplos de planificación de frecuencias en la implantación planar. A fin de evitar la interferencia, las frecuencias utilizadas en cada célula deben ajustarse estrictamente a las directrices de implantación. Se determinan los patrones de reutilización de frecuencias de acuerdo con la relación C/I requerida y los canales de frecuencias disponibles. En la Fig. 6a), que representa una implantación planar de células hexagonales típica, se utilizan siete canales en toda la red. La Fig. 6b) representa una implantación celular con seis sectores por punto de acceso (AP) típica donde sólo se utilizan tres canales en toda la red. En este caso, el grupo de puntos de acceso se sincroniza para garantizar que transmiten y reciben en los ciclos adecuados, de manera que se puedan reutilizar las frecuencias como se muestra.

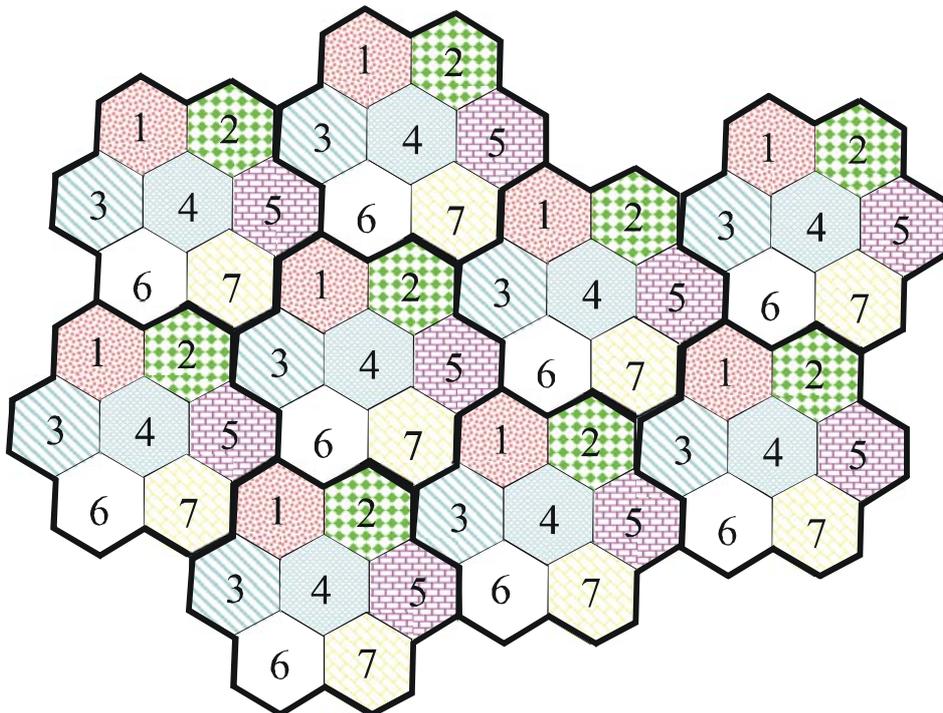
Para los sistemas con esquemas de modulación menos robustos, los requisitos de C/I generalmente determinan los patrones de reutilización de frecuencias, porque, antes de que pueda volver a utilizarse un canal de frecuencias determinado en una segunda célula, ésta debe estar lo suficientemente lejos como para satisfacer el requisito de relación C/I .

El alcance de un determinado sistema con un trayecto LoS claro puede calcularse de la siguiente manera. En primer lugar, se determina el «presupuesto de enlace» disponible y se localiza en los cuadros siguientes. En los Cuadros 2 y 3 se presentan ejemplos de presupuestos de enlace para el funcionamiento en las bandas de 2,4 GHz y 5,8 GHz, respectivamente. Hay que indicar que el trayecto de retorno suele ser el factor limitante y se sugiere utilizarlo para determinar el alcance.

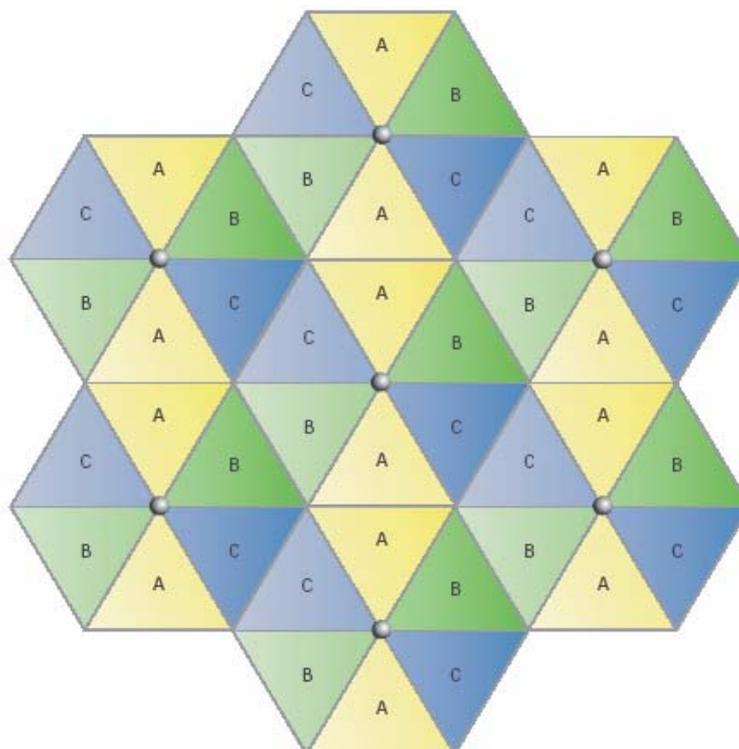
- Presupuesto del enlace (dB) = Potencia de transmisión (dBm)
- + Ganancia de la antena transmisora (dBi)
- + Ganancia de la antena receptora (dBi)
- Sensibilidad del receptor (–xxdBm)
- Pérdida de cable de la antena
- Margen de desvanecimiento RF
- Margen de interferencia

FIGURA 6

Ejemplos de planificación de frecuencias en la implantación planar



a) Implantación planar en células hexagonales



b) Implantación planar en células triangulares de seis sectores

CUADRO 2

Ejemplo de presupuesto de enlace a 2,4 GHz

Presupuesto del enlace (dB)	100	103	106	109	112	115	118	121	124	127	130
Distancia (km)	1	1,5	2	3	4	6	8	11	16	23	32

CUADRO 3

Ejemplo de presupuesto de enlace a 5,8 GHz

Presupuesto del enlace (dB)	101	104	107	110	113	116	119	122	125	128	131	134	137	139
Distancia (km)	0,4	0,6	0,8	1	1,7	2,5	3,5	5	7	10	14	20	27	32

La consecuencia directa de emplear la implantación planar con un sistema que utilice modulaciones de orden superior es que se necesitan más canales para satisfacer los requisitos de *C/I*.

6.6.3.1 Sincronización

Al implantar un sistema TDD en una topología planar, es preferible poder utilizar la misma frecuencia en cada célula, incluso cuando es posible que se encuentren a kilómetros de distancia. Así, puede ocurrir interferencia cocanal entre los mismos sectores de canal de las estaciones de base adyacentes. En este caso, se necesita una sincronización intercelular para garantizar que todos los sectores de todas las células están adecuadamente temporizados y sincronizados en términos de comunicaciones en sentido descendente y ascendente.

Lograr una sincronización ajustada a lo largo de superficies que pueden llegar a tener cientos de kilómetros cuadrados puede ser problemático. Para un sistema diseñado para implantaciones de red densa a gran escala, la sincronización TDD es un requisito fundamental. Este problema se ha resuelto gracias a la utilización de una señal GPS. Estas señales de satélite precisas se emplean para la temporización y, en último término, la sincronización de transmisión/recepción, vinculando todos los sectores de una red al mismo «reloj». Cabe señalar que esta sincronización sólo se aplica a los sistemas de modulación digital.

6.6.4 Implantación puntual

Muchas implantaciones de BWA comienzan con una instalación siguiendo lo que se denomina modelo de «implantación puntual». Con ello se identifica una sola célula o, posiblemente, varias que no son geográficamente contiguas, pero se eligen para dar servicio a zonas necesitadas. Se trata de una implantación opuesta a la planar, cuyo objetivo es dar cobertura BWA a toda una región y donde, por tanto, las células se implantan de manera que no hay huecos de LoS en la cobertura.

Cuando se implanta un sistema BWA fijo siguiendo el método puntual, asumiendo que cada «punto» está suficientemente lejos de los demás «puntos», la coordinación y planificación de frecuencias no suele representar un problema para la interferencia intrasistema y cada célula se instala de la manera más adecuada para esa zona de cobertura.

6.6.5 Implantación en red de retroceso

En muchos casos, las redes P-MP se ubican en zonas donde la infraestructura alámbrica no está bien desarrollada. La ubicación de la célula se escoge de acuerdo con la situación de los clientes potenciales, si puede utilizarse una torre o edificio altos, etc.

Cuando se ubica una estación base allí donde no hay conexiones de cobre o fibra importantes hacia la red principal, también se necesitará una configuración P-P como red de retroceso para que la conexión de retroceso del sistema BWA sea eficaz. Además, una de las ventajas de los sistemas BWA es que pueden emplearse para proporcionar conectividad de retroceso a otros sistemas de LAN radioeléctrica que funcionen dentro de la zona de cobertura del sistema BWA.

6.6.6 Implantación combinada

Los sistemas BWA fijos suelen implantarse en combinación con otros tipos de BWA, es decir, sistemas móviles y nómadas que proporcionan servicios BWA integrados. Estas aplicaciones son especialmente útiles en entornos que aún no cuentan con infraestructura de cable.

Si el diseño de los equipos de radiocomunicaciones para BWA se basa en especificaciones compatibles, como las que se indican en la Recomendación UIT-R F.1763, puede reducirse notablemente el coste total de las instalaciones inalámbricas. En el Anexo 1 se presenta un ejemplo específico de aplicación BWA convergente.

6.7 Características de transporte

6.7.1 Independencia del servicio

Un sistema BWA fijo debe proporcionar servicio sin necesidad de tener información sobre el tipo de aplicación.

6.7.2 Soporte del servicio

6.7.2.1 Calidad de servicio (QoS)

El sistema debe poder garantizar la QoS de los servicios transportados. Por tanto, las normas de protocolo deben definir las interfaces y procedimientos que cumplen los requisitos de los servicios con respecto al establecimiento de prioridades de los recursos de radiocomunicaciones. Las aplicaciones actuales y sus relaciones se muestran en la Fig. 7.

6.7.2.2 Correspondencia de QoS de las aplicaciones

El mecanismo básico de los sistemas para soportar los requisitos de QoS/clase de servicio debe poder atribuir diversas anchuras de banda a distintas aplicaciones. Algunos protocolos incluyen un mecanismo que soporta canales y trayectos con anchura de banda dinámicamente variable (como los definidos para los entornos IP).

Dado que las unidades de cliente competirán unas con otras por la capacidad desde/hacia una o más estaciones de base, habrán de resolverse adecuadamente las cuestiones de contención y atribución de anchura de banda.

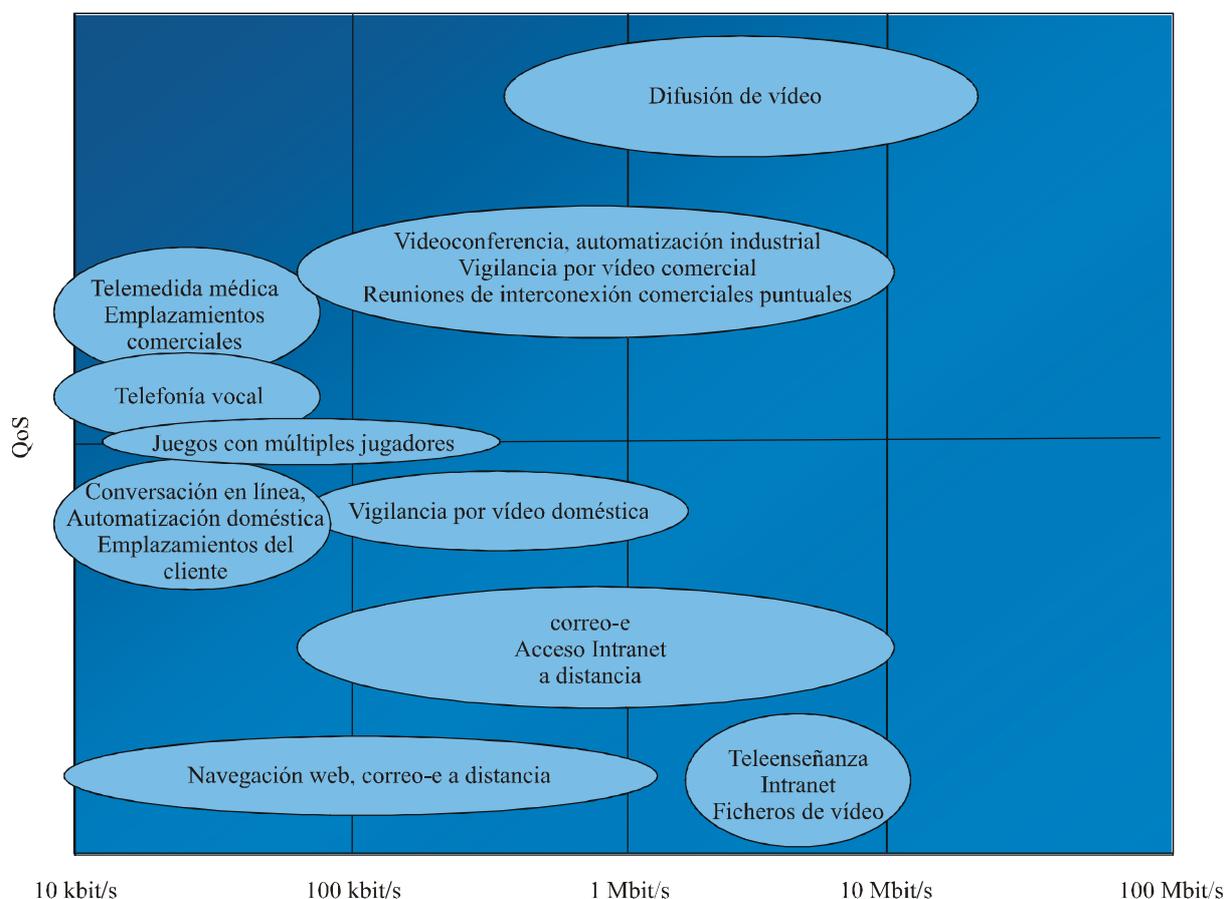
6.7.3 Asimetría flexible

En un periodo corto de tiempo (por ejemplo, unos segundos), el tráfico generado desde y hacia un usuario determinado puede ser muy asimétrico en cualquiera de los dos sentidos. Algunos sistemas BWA soportan satisfactoriamente este tipo de tráfico asimétrico. En periodos más largos, un usuario puede necesitar de media más anchura de banda en un sentido que en el contrario.

El tráfico total generado desde y hacia todos los usuarios que comparten el mismo recurso radioeléctrico puede ser instantáneamente asimétrico e, incluso, asimétrico durante un largo periodo de tiempo, dependiendo del tipo de usuarios conectados al recurso compartido.

FIGURA 7

Algunas aplicaciones disponibles actualmente y sus requisitos de anchura de banda y QoS típicos



Rap 2086-07

6.7.4 Adaptación de velocidad por abonado

Pueden utilizarse diversos tipos de modulación y/o codificación para las estaciones de abonado cercanas y lejanas. De este modo, la velocidad de datos desde/hacia abonados relativamente cercanos puede ser superior, aumentando la capacidad global del sistema. Además, los abonados lejanos pueden experimentar diversos tipos de interferencia, por lo que se beneficiarían de la adaptación de velocidad. La mayoría de los sistemas BWA soportan múltiples velocidades.

Es conveniente equilibrar los problemas de capacidad del canal y los cambios de la misma para garantizar el nivel de servicio acordado con los clientes. Por ejemplo, suelen emplearse tipos de modulación flexibles, ajustes del nivel de potencia y esquemas de reserva de anchura de banda.

6.7.5 Caudal

Aunque el caudal depende de la anchura de banda, el esquema de modulación etc., para que sea competitivo frente a los sistemas alámbricos, conviene que el sistema soporte una velocidad de datos en el punto de acceso superior de varios 10 Mbit/s, que es la velocidad binaria global instantánea (en sentido ascendente y descendente), y que esté compartida entre los usuarios.

6.7.6 Escalabilidad

Los protocolos de escalabilidad permiten que los sistemas tengan distintas capacidades y calidades de funcionamiento. Los sistemas BWA suelen soportar características que maximizan la escalabilidad de una implantación.

6.7.7 Seguridad específica de las radiocomunicaciones

Los sistemas BWA suelen contar con medios seguros de autenticación, autorización y criptación adecuada para garantizar la privacidad.

6.8 Función de gestión del sistema

El sistema debe definir una interfaz de gestión de red basada en los protocolos normalizados abiertos existentes (por ejemplo, SNMP), que permitan realizar las siguientes funciones de gestión:

- **Gestión de fallos y calidad de funcionamiento**

Los protocolos deben permitir la supervisión de fallos y calidad de funcionamiento y proporcionar un medio para la realización de pruebas locales y a distancia de cada unidad de abonado. La funcionalidad de gestión debe incluir la reiniciación, la reactivación y el cierre.

- **Gestión de configuración y actualización de software**

Los protocolos deben permitir la configuración local y a distancia, además de la actualización del software, en cualquier dispositivo de la red sin que se interrumpa el servicio.

- **Seguridad**

El sistema debe facilitar los servicios de autenticación y autorización centralizados.

- **Gestión de servicio**

Los protocolos deben permitir que los operadores apliquen los acuerdos de nivel de servicio (SLA) contraídos con los abonados, restringiendo el acceso al enlace aéreo, descartando datos, controlando dinámicamente la anchura de banda disponible para cada usuario o utilizando cualquier otro método adecuado.

6.9 Reducción de la interferencia

6.9.1 Tipos de interferencia

La interferencia en un sistema BWA puede dividirse en interferencia intrasistema e interferencia intersistema. Además, la interferencia intrasistema se subdivide en interferencia intracélula e interferencia intercélula.

6.9.2 Técnicas de reducción de la interferencia

En los siguientes puntos se exponen algunas técnicas de reducción de la interferencia que pueden emplear los sistemas BWA.

6.9.2.1 Situación del emplazamiento en la planificación de red

Se puede reducir el nivel de interferencia en los receptores separando los transmisores interferentes de los receptores víctima.

6.9.2.2 Mejora de la calidad de funcionamiento de la antena

Mejorando la calidad de funcionamiento de la antena se puede reducir la interferencia hacia otros sentidos y reducir la interferencia causada a otras células. Con las siguientes técnicas se puede mejorar sensiblemente la calidad de funcionamiento de las antenas:

- supresión del lóbulo lateral
- mejora de la relación anterior-posterior
- conformación del diagrama de antena (APS)

La combinación de una antena omnidireccional en la BS y una antena de haz estrecho en la unidad de abonado conviene a los sistemas P-MP para dar eficazmente cobertura a toda la zona de servicio. El haz de la antena de la unidad de abonado se diseña para ser tan estrecho que se suprimen la mayoría de las señales reflejadas a excepción de las que proceden de reflectores tales como los edificios ubicados cerca de la estación de base.

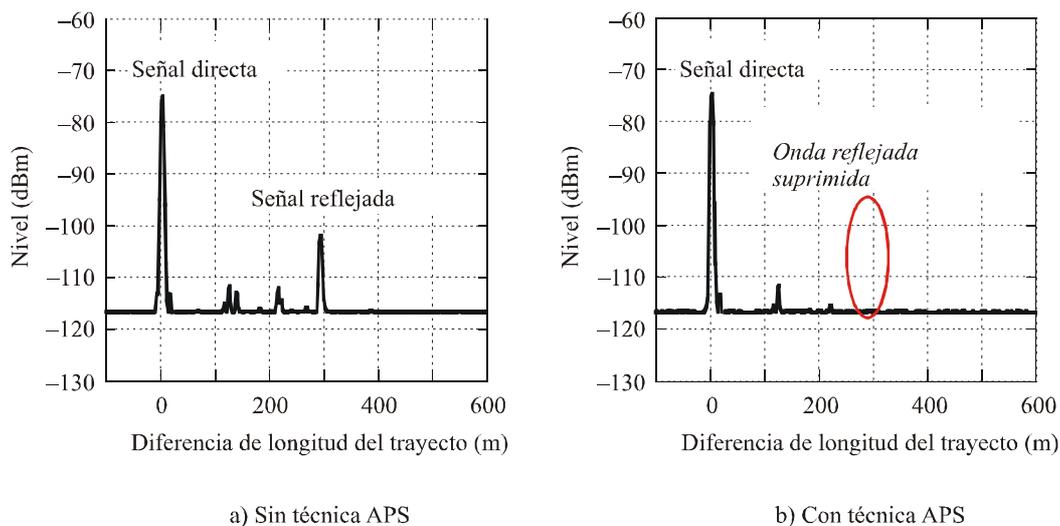
La conformación del diagrama de antena (APS), empleando materiales que absorben las ondas radioeléctricas, es una solución simple y económica para contrarrestar este tipo de interferencia. La APS se logra anexando al radomo de la antena de la estación de base material que absorbe las ondas radioeléctricas de manera que se suprime la intensidad de la señal hacia los reflectores y, por consiguiente, se reduce la intensidad de las señales reflejadas que llegan a la unidad de abonado.

El ángulo de supresión se ajusta de manera flexible de acuerdo con la ubicación del reflector.

En la Fig. 8 se muestra un ejemplo de esta técnica. Como se muestra en la Fig. 8a), sin la técnica APS aparece una señal reflejada en una diferencia de longitud del trayecto de 300 m. Tras la aplicación de la técnica APS, como se ve en la Fig. 8b), la señal reflejada se suprime por debajo del nivel de ruido.

FIGURA 8

Ejemplo del efecto de la técnica APS



Rap 2086-08

6.9.2.5 Control de potencia

La potencia de transmisión es un recurso importante de los sistemas BWA. A fin de reducir la interferencia, la mayor aportación del control de potencia, especialmente el control automático de la potencia de transmisión (ATPC), es que se evita malgastar la potencia y se reduce el nivel de interferencia en la célula.

6.9.2.6 Detección de múltiples usuarios (MUD) en un sistema AMDC

En un sistema AMDC, las técnicas de detección de múltiples usuarios (MUD) pueden comprimir efectivamente la interferencia entre símbolos (ISI) y la interferencia de acceso múltiple (MAI). Uno de los problemas que presenta la MUD es su complejidad de cálculo.

6.9.2.7 Mejora del filtrado en el transmisor/receptor

Mejorando el filtrado se pueden reducir las emisiones fuera de banda de señales no deseadas del transmisor y reducir la interferencia en banda que sufre el receptor.

6.9.2.8 Modulación adaptativa y codificación

La modulación adaptativa y la codificación permiten equilibrar el nivel de interferencia y la eficacia.

6.9.3 Aplicación de técnicas de reducción de la interferencia

CUADRO 4

Aplicación de técnicas de reducción de la interferencia

Técnica de reducción de la interferencia	Interferencia		
	Intracélula	Intercélula	Intersistema
Situación del emplazamiento		√	√
Mejora de la calidad de funcionamiento de la antena	√	√	√
Aislamiento de polarización		√	
Sincronización	√	√	
Control de potencia	√	√	√
MUD en sistema AMDC	√ ⁽¹⁾	√*	
Mejora de filtrado en el transmisor/receptor		√	√
Modulación adaptativa y codificación	√	√	√

⁽¹⁾ Sólo para el sistema AMDC.

6.10 Soporte de nuevas tecnologías

Las siguientes tecnologías mejoran la calidad de funcionamiento de los sistemas BWA del servicio fijo. En el Informe UIT-R F.2047 puede encontrarse más información sobre éstas y otras tecnologías.

– Mejora de la eficacia de utilización del espectro

Los esquemas de modulación multiestados avanzada y/o la técnica MIMO permiten la prestación de más aplicaciones en banda ancha. Además, la conformación del espectro y el empleo de la polarización doble también contribuyen a mejorar la eficacia de utilización del espectro.

– Convergencia con otros sistemas inalámbricos y alámbricos

No sólo los sistemas FWA proporcionan servicios de banda ancha, sino también otros sistemas inalámbricos, móviles y de satélite. Además, también pueden proporcionarse servicios en banda ancha con sistemas alámbricos. La prestación de servicios sin interrupción entre estos sistemas resulta mucho más cómoda para los usuarios.

– Sistema en banda multifrecuencia

Hay que tener en cuenta diversas condiciones, como el trayecto de propagación, el tráfico, etc., por lo que la selección del sistema de banda de frecuencias más adecuado da como resultado siempre en la mejor conexión.

– **Sistemas de antena adaptativa (AAS, *adaptive antenna systems*)**

AAS se refiere a una matriz de antenas y el correspondiente procesamiento de la señal que, en conjunto, puede cambiar dinámicamente el diagrama de radiación de la antena para ajustar el entorno de ruido, la interferencia y los trayectos múltiples. Las matrices adaptativas forman un número infinito de diagramas (según los casos) que se ajustan en tiempo real, lo que significa que, mientras se realiza la transmisión, la señal puede limitarse a la dirección del receptor, como un foco de luz. Inversamente, cuando se está recibiendo, puede emplearse el AAS para centrarse sólo en la dirección de donde procede la señal deseada. La ventaja de utilizar un sistema de antena adaptativa es que se puede reducir la interferencia efectiva dentro de una célula concentrando la energía entre la estación base y los abonados activos y, al eliminarse completamente la interferencia de otras fuentes, se puede aumentar la capacidad de la célula. También se puede suprimir la interferencia cocanal procedente de otros emplazamientos. Estas propiedades permiten que se utilice el espectro de manera más eficaz.

– **Radiocomunicaciones definidas por software (SDR, *software defined radio*)**

Equipo de radiocomunicaciones donde los parámetros operativos de RF, incluidos, aunque no únicamente, la gama de frecuencias, el tipo de modulación o la potencia de salida pueden configurarse o alterarse con un software, y/o la técnica mediante la cual se realiza esta operación.

NOTA 1 – Se excluyen las modificaciones de los parámetros operativos que pueden realizarse durante el funcionamiento preinstalado y predeterminado de un equipo de radiocomunicaciones de conformidad con la especificación o norma de un sistema.

NOTA 2 – SDR es una técnica de implementación aplicable a muchas tecnologías y normas de radiocomunicaciones.

NOTA 3 – Dentro del servicio móvil, las técnicas SDR pueden aplicarse tanto a transmisores como a receptores.

– **Modulación adaptativa**

Con la tecnología de modulación adaptativa y codificación, se adapta la velocidad de datos del usuario como una función de las condiciones del canal (por ejemplo, SINR, tasa de desvanecimiento, etc.). El número de niveles de modulación se modifica dinámicamente.

– **Múltiplex por división de frecuencia ortogonal (MDFO)**

La MDFO es una técnica de multiplexación en la que la anchura de banda del canal se subdivide en múltiples portadoras perpendiculares unas a otras en el dominio de frecuencias. El tren de datos entrante se divide entonces en múltiples subtrenes paralelos con una velocidad de datos reducida (y, por tanto una mayor duración de símbolo) y cada subtren se modula y transmite por una subportadora ortogonal distinta. La técnica MDFO distribuye los datos entre un gran número de portadoras espaciadas a frecuencias exactas. Este espaciamiento es el que da la «ortogonalidad» a esta técnica, que impide a los demoduladores ver otras frecuencias distintas de la suya. Las últimas muestras de porciones de datos del tren de datos se suelen anexionar como una repetición al principio de la cabida útil de datos formando lo que se denomina prefijo cíclico (CP, *cyclic prefix*). El prefijo cíclico puede eliminar completamente la ISI siempre y cuando su duración sea mayor a la dispersión del retardo del canal. La MDFO aprovecha la diversidad de frecuencias del canal multitrayecto codificando e intercalando la información en las subportadoras antes de la transmisión. Puede realizarse la modulación MDFO con la transformada rápida de Fourier inversa (IFFT, *inverse fast Fourier transform*), que permite la existencia de un gran número de subportadoras con poca complejidad. Las ventajas de emplear la MDFO son la gran eficacia espectral, la resistencia a la interferencia RF, la mayor robustez ante la dispersión del retardo y una menor distorsión por trayectos múltiples, por lo que resulta una solución atractiva en las frecuencias inferiores a 10 GHz.

– **Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (AMDFO)**

El AMDFO es un esquema de acceso múltiple para los sistemas MDFO. Con este esquema, múltiples usuarios pueden transmitir/recibir simultáneamente en diversas portadoras por símbolo MDFO. La tecnología AMDFO permite agrupar subportadoras MDFO en subcanales y atribuir cada subcanal o subcanales a distintos abonados. Es posible utilizar un esquema de modulación y velocidad de codificación, nivel de potencia, mecanismo de conformación de haz, MIMO, etc., diferente para cada subcanal. Las mayores ventajas del AMDFO son la escalabilidad, la granularidad y la calidad de capacidad.

– **Utilización de bandas de frecuencias superiores a 57 GHz**

Los sistemas FWA que utilizan frecuencias por encima de 57 GHz y los sistemas ópticos en el espacio libre podrán proporcionar más aplicaciones en banda ancha.

Anexo 1

Ejemplo de aplicación BWA específica

1 Introducción

En este Anexo se presenta un ejemplo de los aspectos técnicos de la aplicación BWA mencionada en el § 6.6.6. Este sistema BWA está compuesto por aplicaciones fijas, móviles y nómadas, incluidas las RLAN, y, en conjunto, proporciona servicio de acceso inalámbrico integrado sin interrupción. Este sistema ya se ha puesto en servicio en los trenes que recorren los 58 km de vías que unen la zona metropolitana de Tokio con la ciudad de Tsukuba.

2 Esbozo del servicio y configuración del sistema

El objetivo de este servicio es proporcionar acceso BWA y de alta velocidad a los pasajeros del tren. La mayoría de los usuarios establecen la conexión a Internet con sus terminales inalámbricos utilizando sistemas PHS o celulares cuando se encuentran fuera del tren. El caudal de estas conexiones suele estar limitado a unos 300 kbit/s, dadas las capacidades del sistema. A fin de proporcionar a los pasajeros del tren servicios de banda ancha (del orden de Mbit/s), se ha creado un sistema BWA específico que utiliza conexiones plenamente inalámbricas.

Todo el servicio de banda ancha comprende tres tipos de conexiones inalámbricas, es decir, fijas, móviles y nómadas (véase la Fig. 9).

Conexiones BWA fijas:

- Conexión entre los puntos de acceso (AP) implantados en cada compartimento (Enlace A en la Fig. 9);
- Red de retroceso entre los puntos de acceso intermedios implantados a lo largo de la vía (Enlace B en la Fig. 9).

Conexiones BWA nómadas:

- Punto de acceso puntual interior implantado en los compartimentos del tren o en la estación (Cobertura C1, C2 en la Fig. 9).

Conexión BWA móvil:

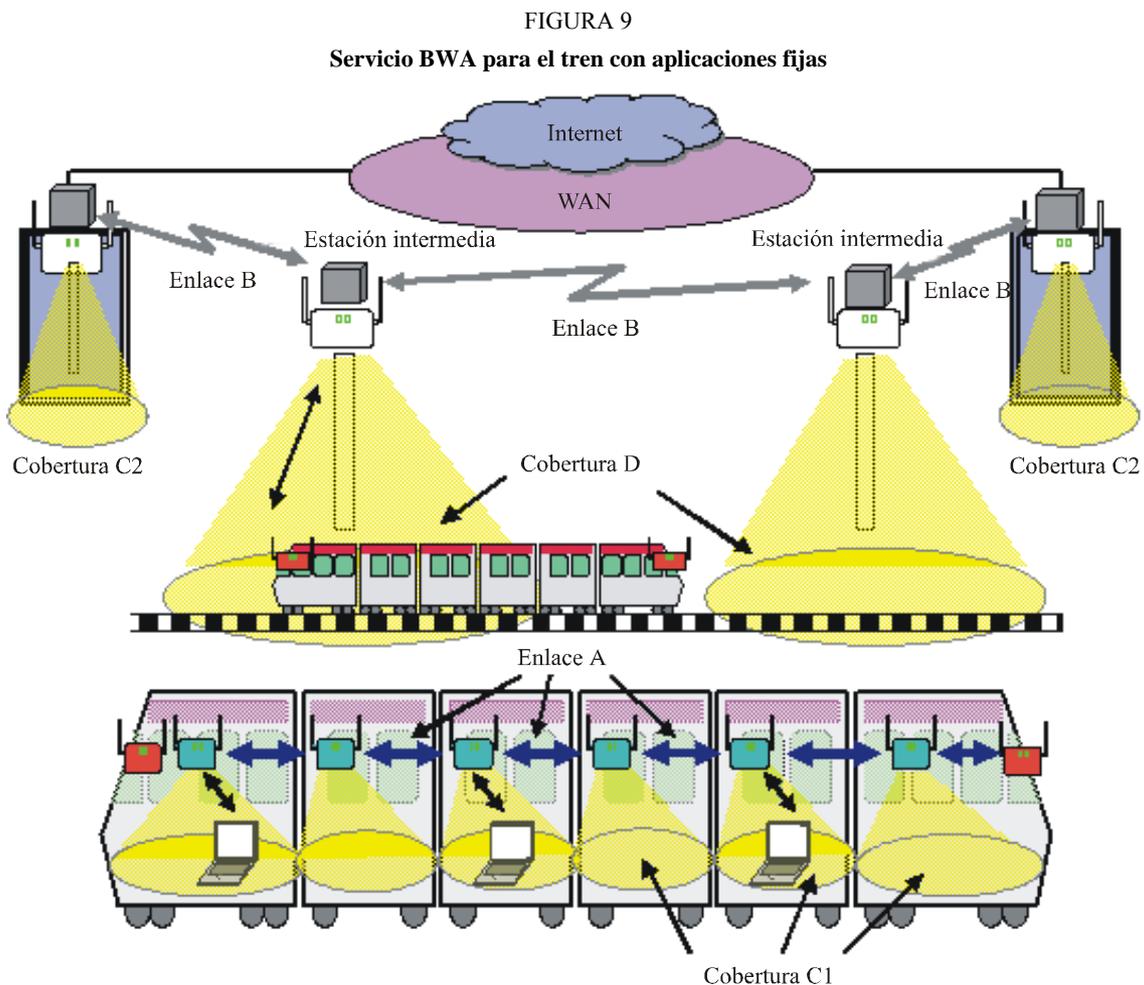
- Punto de acceso exterior que da cobertura al tren en movimiento por la vía (Cobertura D en la Fig. 9).

En el marco de este Informe, las aplicaciones principales son las conexiones fijas, especialmente útiles cuando no se dispone de infraestructura alámbrica a lo largo de la vía o en el tren.

Los enlaces BWA que conectan los puntos de acceso (Enlace A) pueden instalarse en el tren. Esta conexión ha de atravesar la separación entre vagones o las ventanas entre compartimentos, por lo que la frecuencia no deberá ser muy alta (por ejemplo, por debajo de 6 GHz). La capacidad de transmisión ha de ser suficiente para transportar todo el tráfico del tren, que está conectado a la WAN a través de la conexión BWA móvil.

Las redes de retroceso P-P entre puntos de acceso intermedios (Enlace B) pueden funcionar en condiciones LoS. También pueden ser una solución inalámbrica rápida y económica cuando no existe la infraestructura de cable. La capacidad de transmisión debe soportar todo el tráfico de más de un tren operativo simultáneamente entre estaciones.

Los puntos de acceso intermedios están equipados con conexiones fijas y nómadas/móviles.



Rap 2086-09

Como se ve en la Fig. 9, los terminales de los pasajeros establecen sus conexiones inalámbricas a través de los puntos de acceso WiFi instalados en cada compartimento del tren. Para proporcionar las conexiones de usuario extremo se utiliza un sistema 802.11b (2,4 GHz) genérico, ya que la

mayoría de los terminales, como ordenadores portátiles, PDA, teléfonos WiFi, etc., llevan incorporados dispositivos WiFi. Los puntos de acceso de cada compartimento pueden estar conectados utilizando la frecuencia de 5 GHz. El tren en marcha mantiene la conexión inalámbrica en banda ancha en la Cobertura D de la Fig. 9 mediante un sistema 802.11g (2,4 GHz). Cuando el tren pasa a otra Cobertura D, el tren activará un traspaso para mantener la conexión utilizando tecnología IP móvil. El encaminador móvil instalado en el tren coopera con el agente propio/agente visitado y realiza el traspaso sin interrupción dentro del tren en marcha, a una velocidad máxima de 130 km/h. Las estaciones intermedias están conectadas mediante sistemas inalámbricos fijos P-P (Enlace B) que utilizan la banda de 25 GHz.

Los pasajeros pueden acceder a Internet una vez que establecen la conexión con el punto de acceso WiFi en la estación y reciben la autenticación de la red introduciendo su identificador y contraseña. Ya en el tren y mientras están en el mismo, el servicio de conexión inalámbrica a Internet se sigue proporcionando sin que sea necesario modificar la configuración del terminal ni realizar más operaciones (Cobertura C1). Cuando salen del tren al llegar a su destino, la conexión puede mantenerse gracias a las instalaciones con que cuenta la estación (Cobertura C2).

3 Parámetros básicos del sistema

Este sistema incluye tres tipos de conexiones inalámbricas, como se muestra en la Fig. 9. Los parámetros básicos del sistema son los siguientes:

- Conexiones BWA fijas (Enlace A y Enlace B en la Fig. 9)

	Enlace A	Enlace B
Banda de frecuencias	5 GHz	25 GHz ⁽¹⁾
Potencia de salida de transmisión	15 dBm	0 dBm
Anchura de banda del canal	18 MHz	26 MHz
Separación de canal	20 MHz	20 MHz
Tipo de antena (ganancia)	Omnidireccional (2,6 dBi) Direccional (7 dBi)	Direccional (31,5 dBi)

⁽¹⁾ Banda sin licencia en Japón

- Conexiones BWA nómadas (Coberturas C1 y C2 en la Fig. 9)

Banda de frecuencias	2,4 GHz
Potencia de salida de transmisión	20 dBm
Anchura de banda del canal	18 MHz
Separación de canal	5 MHz
Tipo de antena (ganancia)	Omnidireccional (2,1 dBi)

- Conexión BWA móvil (Cobertura D en la Fig. 9)

Frecuencia	2,4 GHz
Potencia de salida de transmisión	15 dBm
Anchura de banda del canal	18 MHz
Separación de canal	5 MHz
Tipo de antena (ganancia)	Direccional (6-19 dBi)

4 Conexiones BWA fijas

4.1 Conexión entre punto de acceso en el tren

El Enlace A de la Fig. 9 ha de funcionar en condiciones NLoS, porque la instalación se hace en la parte superior del compartimento para evitar el bloqueo causado por los pasajeros y, además, que la separación entre compartimentos se convierta en un obstáculo. Por consiguiente, la frecuencia no deberá ser muy alta, teniendo en cuenta las características de propagación. En este sistema, se utiliza la banda de 5 GHz para el Enlace A. Dado que el movimiento del tren y los pasajeros causa un desvanecimiento por trayectos múltiples, el punto de acceso cuenta con antenas de diversidad espacial de dos vías para soportar este desvanecimiento.

4.2 Redes de retroceso entre estaciones intermedias

El sistema necesita estaciones intermedias para cubrir toda la zona a lo largo de la vía. Han de instalarse estaciones intermedias cada 1-2 km, ya que el radio de la Cobertura D está limitado a 1 km. Para que esta instalación sea rápida y rentable, es indispensable utilizar sistemas fijos inalámbricos como redes de retroceso, en vez de redes de fibra óptica. Se necesita una gran capacidad para que el enlace pueda transmitir el tráfico de más de un tren dentro de la zona de cobertura. Como red de retroceso se emplea un sistema P-P a 25 GHz con una capacidad máxima de 80 Mbit/s. Se instalan antenas direccionales en los tejados de los edificios y en lo alto de los postes eléctricos a fin de mantener laLoS. En el caso de la vía del Tsukuba Express, hay 20 estaciones y 30 estaciones intermedias a lo largo de los 58 km de vías a fin de cubrir toda la zona.

5 Conexión a una WAN

En cada estación de ferrocarril se emplea la fibra óptica para transportar todo el tráfico generado en la estación y en el tren. El tráfico de banda ancha se conecta a una WAN a través de dos estaciones pasarela a fin de garantizar la conectividad a Internet.
