

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R F.1498-1
(05/2002)

**Características de la instalación de sistemas
del servicio fijo en la banda 37-40 GHz para
su utilización en estudios de compartición**

Serie F
Servicio fijo



Prólogo

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

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

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

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

Series de las Recomendaciones UIT-R

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

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

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

Publicación electrónica
Ginebra, 2009

© UIT 2009

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

RECOMENDACIÓN UIT-R F.1498-1*

**Características de la instalación de sistemas del servicio fijo
en la banda 37-40 GHz para su utilización
en estudios de compartición**

(2000-2002)

Cometido

En esta Recomendación se facilitan las características de la instalación de sistemas del servicio fijo para su utilización en estudios de compartición, con miras a la utilización eficaz del espectro de la banda de 37-40 GHz para aplicaciones de alta densidad en el servicio fijo (HDFS). En el Anexo se ofrecen ejemplos de situaciones de instalación de sistemas punto a punto de alta densidad utilizados para enlaces entre estaciones de base móviles y redes de infraestructura, así como redes de abonado punto a punto y punto a multipunto que sustituyen las conexiones de fibra óptica para acceso de los abonados.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la banda 37-40 GHz está atribuida a título primario al servicio fijo;
- b) que la tendencia a la liberalización de las telecomunicaciones aumenta la demanda de soluciones diversas y competitivas de acceso local;
- c) que se instalan en gran escala sistemas del servicio fijo punto a punto (P-P) y que su utilización es cada vez mayor en la banda 37-40 GHz;
- d) que las redes móviles y las infraestructuras de acceso competitivas representan las principales aplicaciones del servicio fijo en esta banda;
- e) que se instala un número creciente de estaciones del servicio fijo P-P y punto a multipunto (P-MP) o están previstas para la utilización del acceso local en la banda 37-40 GHz;
- f) que las altas concentraciones de usuarios del servicio en zonas urbanas, suburbanas e industriales requieren la instalación de una gran densidad de terminales de usuario en dichas zonas;
- g) que las condiciones de propagación en esta banda se rigen en gran medida por los efectos de la atenuación debida a la lluvia;
- h) que el progreso tecnológico en materia de aplicación de sistemas y su instalación está mejorando continuamente la prestación en esta banda del servicio de acceso local en condiciones competitivas;
- j) que los recientes sistemas de aplicaciones de alta densidad en el servicio fijo (HDFS), tales como el acceso inalámbrico de banda ancha (BWA, *broadband wireless access*), pueden requerir más objetivos de disponibilidad de al menos de 99,999% para un umbral de proporción de bits erróneos (BER) de 1×10^{-6} y valores nominales de BER de 1×10^{-11} en condiciones de cielo despejado;

* La Comisión de Estudio 5 de Radiocomunicaciones introdujo en 2009 modificaciones editoriales en la presente la Recomendación, de conformidad con la Resolución UIT-R 1.

k) que para alcanzar esta calidad de funcionamiento, los balances de enlace pueden necesitar ganancias de codificación como las que se obtienen de corrección de errores en recepción sin canal de retorno (FEC);

l) que la banda 37,5-40 GHz también está atribuida a título primario al servicio fijo por satélite (SFS) (espacio-Tierra) y que cada vez hay más sistemas del SFS que se planifican en esta banda;

reconociendo

a) que los sistemas del servicio fijo que funcionan en la banda 37-40 GHz incluyen la instalación generalizada de sistemas P-P y P-MP en zonas de servicio específicas;

b) que las administraciones puedan autorizar sistemas P-P y P-MP utilizando una distribución discreta de canales o asignaciones de bloques de frecuencias; dentro de cada bloque de frecuencias, es una práctica corriente permitir diversas tecnologías, anchuras de banda de la frecuencia portadora y técnicas de acceso,

recomienda

1 que la utilización eficaz del espectro, así como la calidad de funcionamiento y la disponibilidad, basadas en las Recomendaciones UIT-T y UIT-R aplicables, constituyan las consideraciones primarias para una instalación de gran densidad de sistemas del servicio fijo en la banda 37-40 GHz (véase la Nota 1);

2 que las condiciones de propagación en esta banda se aprovechen ventajosamente en el diseño de trayectos, para conseguir una reutilización extendida de las frecuencias;

3 que pueda utilizarse el Anexo 1 como orientación para la instalación de sistemas del servicio fijo en la banda 37-40 GHz a los efectos de estudios de compartición.

NOTA 1 – Las Recomendaciones pertinentes son, entre otras:

Recomendaciones UIT-T

Recomendación UIT-T G.821 – Característica de error de una conexión digital internacional que funciona a una velocidad binaria inferior a la velocidad primaria y forma parte de una red digital de servicios integrados.

Recomendación UIT-T G.826 – Parámetros y objetivos de las características de error para trayectos digitales internacionales de velocidad binaria constante que funcionan a la velocidad primaria o a velocidades superiores.

Recomendación UIT-T G.827 – Parámetros y objetivos de disponibilidad para elementos de trayectos digitales internacionales de velocidad binaria constante que funcionan a la velocidad primaria o a velocidades superiores.

Recomendación UIT-T G.828 – Parámetros de la característica de error y objetivos para trayectos digitales internacionales síncronos de velocidad binaria constante.

Recomendaciones UIT-R

Recomendación UIT-R F.697 – Objetivos de característica de errores y de disponibilidad para el tramo de grado local en cada extremo de una conexión de red digital de servicios integrados a una velocidad binaria inferior a la velocidad primaria que utiliza sistemas de relevadores radioeléctricos digitales.

Recomendación UIT-R F.1668 – Objetivos de característica de error para los enlaces inalámbricos fijos digitales utilizados en las conexiones ficticias de referencia y trayectos ficticios de referencia de 27 500 km.

Recomendación UIT-R F.1565 – Degradación de la calidad de funcionamiento debida a la interferencia causada por otros servicios que comparten las mismas bandas de frecuencias con sistemas inalámbricos fijos digitales reales utilizados en los tramos internacional y nacional de un trayecto ficticio de referencia de 27 500 km a velocidad primaria o superior.

Recomendación UIT-R SM.1046 – Definición de la eficacia en la utilización del espectro por un sistema de radiocomunicaciones.

Recomendación UIT-R SM.1271 – Utilización eficaz del espectro empleando métodos probabilísticos.

Recomendación UIT-R F.755 – Sistemas punto a multipunto en el 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.1102 – Características de los sistemas de relevadores radioeléctricos en bandas de frecuencias superiores a unos 17 GHz.

ANEXO 1

Características de la instalación del servicio fijo en la banda de frecuencias 37-40 GHz, que se consideran para utilizarse en estudios de compartición

1 Introducción

El incremento de la instalación de estaciones del servicio fijo o de estaciones terrenas del SFS puede afectar a la futura expansión de ambos servicios en la misma banda de frecuencias. Por consiguiente, los modelos de instalación de estaciones del servicio fijo y de estaciones terrenas del SFS que se necesitan para introducir y expandir servicios viables tienen repercusiones importantes en la compartición de la banda.

El efecto combinado de las diversas condiciones de propagación y de desarrollo de los servicios produce importantes diferencias de instalación del servicio fijo en las bandas por debajo de 14 GHz, donde suele practicarse la compartición entre los sistemas del servicio fijo y del SFS OSG, así como en las bandas por encima de 17 GHz, consideradas para una compartición adicional con los servicios espaciales, por ejemplo el SFS. Las condiciones de propagación dan lugar a longitudes de tramos del servicio fijo utilizables que son inversamente proporcionales a la frecuencia. Por lo tanto, las bandas por debajo de 8 GHz son las más convenientes para la transmisión a larga distancia, mientras que los tramos utilizables bastante más cortos en frecuencias por encima de 17 GHz convienen especialmente a las infraestructuras celulares y las aplicaciones de acceso local, de rápida expansión en las zonas urbanas, suburbanas e industriales.

En las bandas por debajo de 14 GHz, los modelos predominantes de instalación de ambos servicios facilitan la compartición, ya que la distribución del servicio fijo a lo largo de las principales rutas de comunicación da lugar a configuraciones de red con derivaciones, que dejan libres grandes zonas geográficas para el establecimiento de cabeceras del SFS. Esto facilita la realización de distancias de separación entre los servicios, a los efectos de limitar las interferencias a niveles tolerables.

En la banda 37-40 GHz, sin embargo, el modelo predominante de instalación del servicio fijo se caracteriza por infraestructuras de red móviles y el acceso directo del abonado en zonas locales de gran densidad de población, concentración de actividades industriales o centros universitarios, zonas que los modelos de instalación del SFS podrían también abarcar. La instalación de estaciones terrenas del SFS fuera de las zonas con densidad de instalación del servicio fijo presentaría algunos problemas de coordinación. Esto no es necesariamente válido para la instalación de estaciones terrenas del SFS dentro de las zonas de instalación del servicio fijo y zonas adyacentes y en grandes zonas de concesionarios del servicio fijo, y viceversa.

La información relativa a la instalación del servicio fijo que se presenta en este Anexo está destinada a utilizarse en la evaluación de la compartición entre estaciones terrenas del servicio fijo y del SFS en la banda de 38 GHz.

2 Diferencias fundamentales entre los sistemas inalámbricos fijos convencionales y las aplicaciones BWA en el servicio fijo

La instalación del servicio fijo en la banda de 38 GHz se inició con la transferencia de aplicaciones convencionales hacia bandas de frecuencia superior desde bandas de frecuencia más bajas que estaban cerca de la saturación debido al mayor número de instalaciones, o a la aparición de nuevas medidas reglamentarias más restrictivas. La banda de 38 GHz era especialmente interesante para aplicaciones de infraestructura móvil que estaban en plena expansión, las cuales representan la mayoría de las aplicaciones del servicio fijo convencionales en dicha banda. La creación de un entorno regulador favorable en muchos países y los progresos en la desreglamentación de las telecomunicaciones estimularon un nuevo tipo de instalación en esta banda, el BWA directo al usuario, que sustituye y compite con el acceso por fibra óptica.

Aunque la instalación de BWA se inició utilizando sistemas comercialmente disponibles que se habían desarrollado para aplicaciones del servicio fijo P-P convencionales, los modelos de instalación y los diseños de enlaces BWA son sustancialmente diferentes en varios aspectos. La diferencia fundamental se debe a que las necesidades del servicio son distintas. La instalación de sistemas del servicio fijo convencionales en la banda de 38 GHz en lugar de en una banda de menor frecuencia con condiciones de propagación más favorables conduce necesariamente a una utilización de la longitud de enlace más limitada, pero se ajustó muy bien a los requisitos de los sistemas GSM900/1800 en zonas urbanas. Los transmisores y receptores disponibles comercialmente están diseñados para dichas aplicaciones sobre la base de un equilibrio entre una alta ganancia del sistema, por una parte, y el bajo costo, consumo de potencia, y tamaño de los equipos, por otra. Esto hace posible que las aplicaciones del servicio fijo convencionales satisfagan, de manera factible tanto técnica como económicamente, un gran porcentaje de los requisitos de instalación cerca del nivel superior de las longitudes de enlace que se pueden utilizar en la banda de 38 GHz, lo que hace posible contar con unos márgenes de desvanecimiento grandes.

La instalación del BWA, en comparación, utiliza longitudes de enlace bastante más cortas, que recibirían mejor servicio con sistemas P-P de ganancia de sistema bastante inferior. De hecho, la potencia del transmisor en la mayoría de los enlaces BWA P-P se fijan normalmente al nivel de ajuste más bajo, o cerca de este nivel, lo cual es absolutamente necesario para los requisitos de reutilización de frecuencia estrictos en las instalaciones celulares de alta densidad. Ello exige un funcionamiento con los márgenes de desvanecimiento más bajos que aseguren la disponibilidad del enlace deseado. Esto mismo también se aplica a los sistemas BWA P-MP introducidos recientemente, que normalmente complementan la instalación P-P proporcionando servicio a los usuarios que están más cerca del centro de distribución de la célula. Sin embargo, puede que los sistemas P-MP no sean capaces de servir a abonados situados en su zona de cobertura que necesiten velocidades de transmisión de datos más altas, las cuales se pueden alcanzar con los sistemas P-P.

Los enlaces más cortos y las densidades de instalación más altas de los sistemas BWA dan lugar también a ángulos de elevación sustancialmente más elevados. Estas dos características distintivas de los sistemas BWA hacen que sean más susceptibles a la interferencia debido a los sistemas del SFS que en el caso de los sistemas del servicio fijo convencionales. El resultado neto es que, en cuanto a la capacidad de compartición de banda se refiere, los sistemas BWA celulares muestran mayor similitud con los sistemas móviles celulares, debido a las altas densidades y a que no se puede localizar a los abonados.

3 Ejemplos representativos de instalación de sistemas HDFS en 38 GHz

Inicialmente, la instalación en gran escala de sistemas P-P en la banda 37-40 GHz tuvo lugar en redes móviles, concentradas principalmente en zonas urbanas e industriales y sus alrededores. Una aplicación en gran escala más reciente del servicio fijo en esta banda consiste en nuevas y diversas formas de acceso inalámbrico fijo (FWA) que utilizan enlaces P-P terminados directamente en las instalaciones de abonado.

3.1 Desarrollo de sistemas HDFS en la banda de 38 GHz para aplicaciones de infraestructura móvil

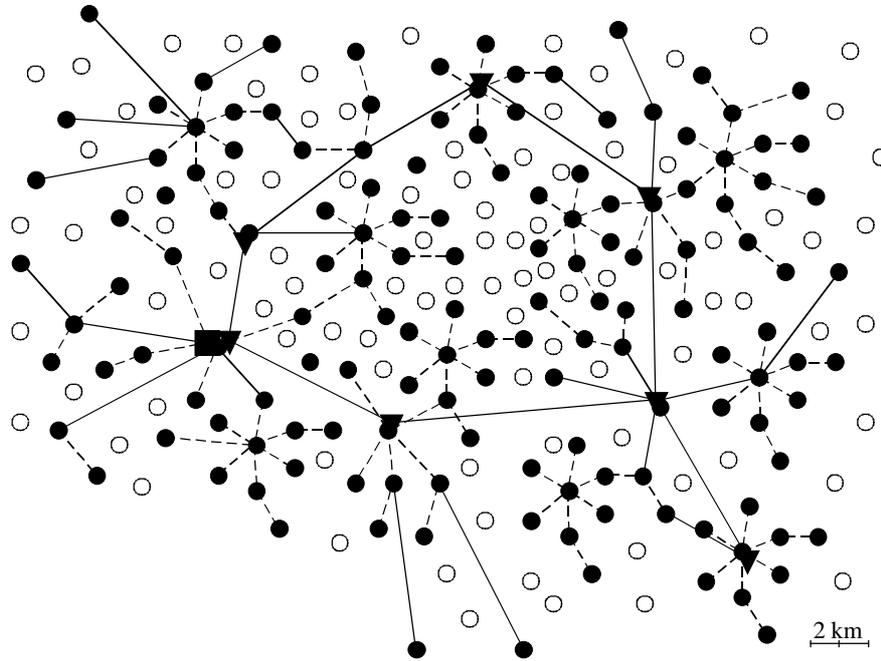
La Fig. 1 ilustra un ejemplo de la actual aplicación primaria en una red móvil para funcionar en 38 GHz en zonas urbanas cuyas densidades de instalación han llegado al orden de 1 a 10 estaciones por km². Los enlaces están diseñados para satisfacer criterios de disponibilidad entre 99,99% y 99,999%.

En varios países de la Región 1 se han instalado muchos enlaces en la banda de 38 GHz. En Alemania, por ejemplo, un total de 11 200 enlaces P-P se habían instalado a finales de 2000. En el Cuadro 1 se muestra la evolución de la instalación.

Se prevé un aumento considerable de esta cifra en los próximos años con el aumento de las aplicaciones de FWA. Asimismo puede observarse que el 80% de los enlaces se concentra en el 15% de la superficie total (véase la Fig. 8). Los demás enlaces están distribuidos en la superficie restante, pero hay muchas zonas con escasas o inexistentes aplicaciones en 38 GHz.

FIGURA 1

Ilustración de aplicaciones de sistemas P-P en 37-39,5 GHz para infraestructuras móviles (por ejemplo, GSM1800) en zonas urbanas de gran densidad



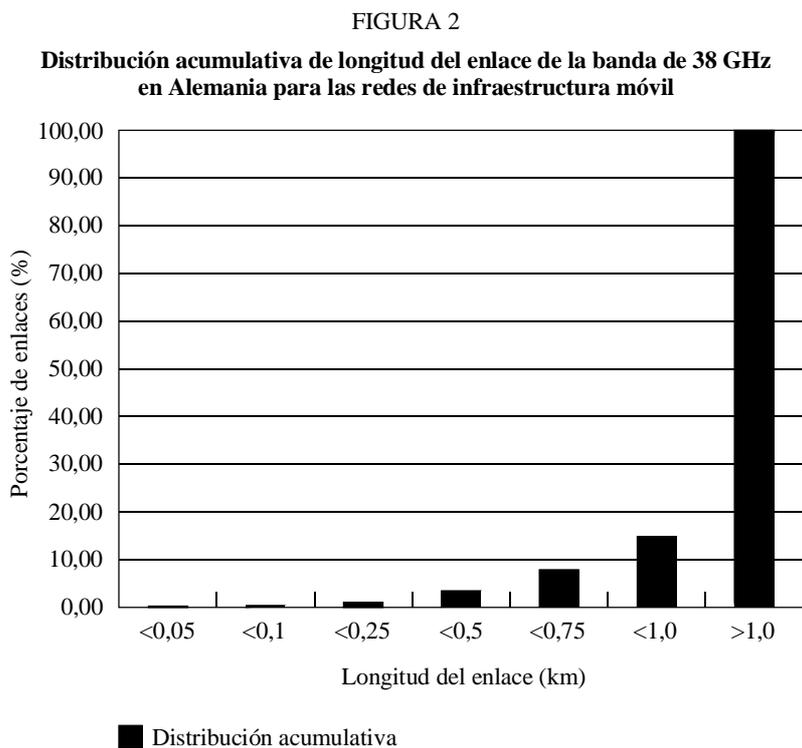
- Centro de conmutación de servicio móvil
- ▼ Controlador de estación de base
- Estación de base móvil
- Posible futura estación de base
- Cable o tramo en otra banda de microondas
- - - Tramo de microondas en la banda de 38 GHz

1498-01

CUADRO 1

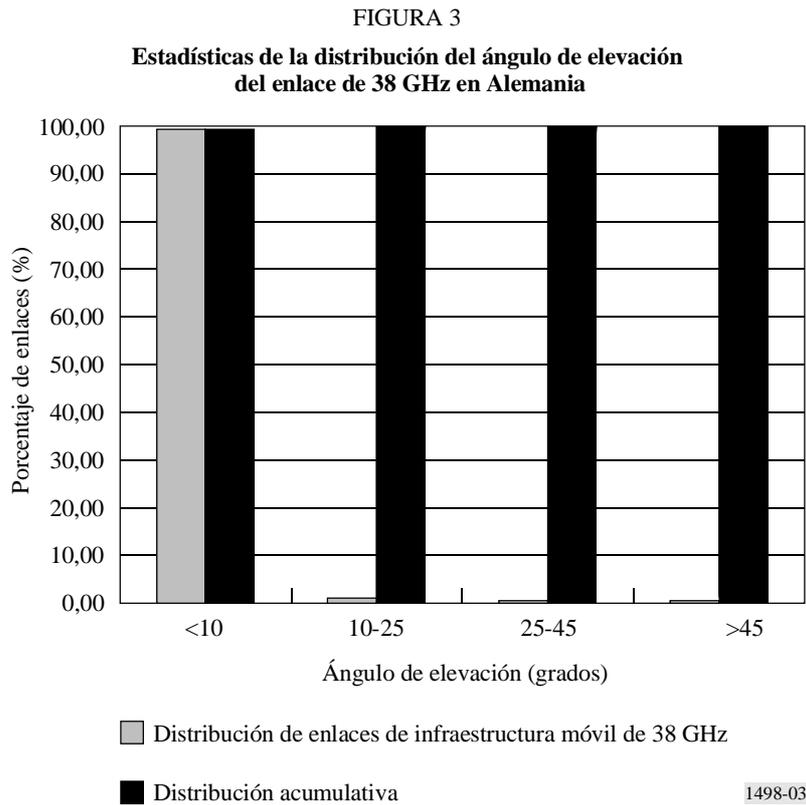
**Evolución de las instalaciones de enlaces
en la banda de 38 GHz en Alemania**

Finales del año	1994	1996	1998	2000
Número de enlaces	243	1 867	6 346	11 174



La Fig. 3 representa la distribución de ángulos de elevación correspondiente. Actualmente hay sólo 10 enlaces instalados con ángulos de elevación superiores a 25° . Las principales razones de que la distribución de ángulos de elevación sea significativamente diferente comparada con la de las redes HDFS de abonado en los Estados Unidos de América del § 3.2, pueden ser las siguientes:

- la mayoría de los enlaces tienen una longitud superior a 1 km (en el intervalo de 1-4 km);
- las alturas de los terminales en las redes de infraestructura móvil están distribuidas de manera más uniforme;
- y las posibles diferencias arquitectónicas en las áreas metropolitanas de Alemania y de los Estados Unidos de América.



3.2 Instalación de enlaces de 38 GHz en los Estados Unidos de América para redes HDFS basadas en abonados

La Fig. 4 ilustra, en el caso de una zona metropolitana de los Estados Unidos de América, una distribución de configuraciones de nodo central, que facilitan diversas capacidades de transmisión situadas entre las velocidades de datos subprimarias de 155 Mbit/s¹.

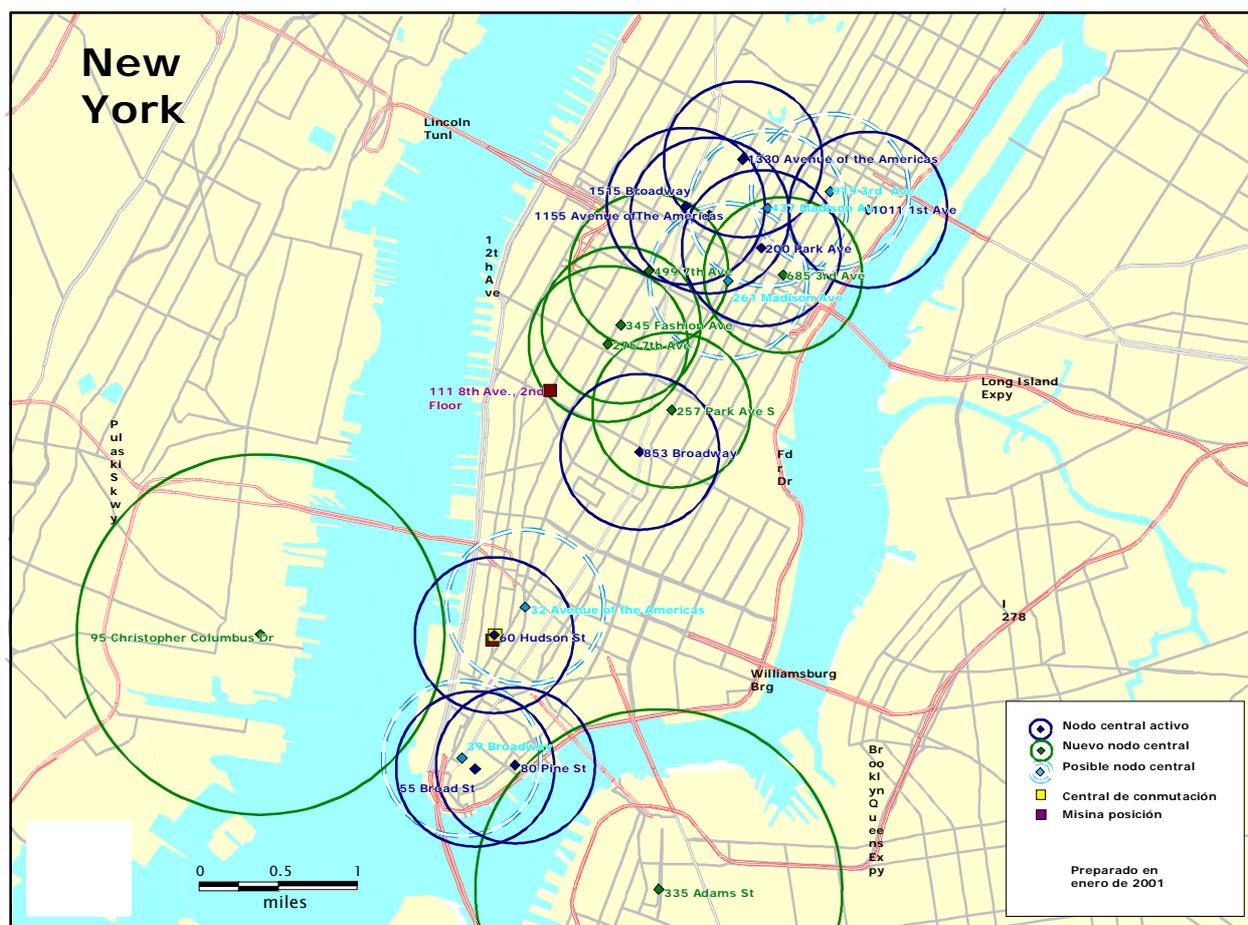
En esta zona, los centros de distribución están típicamente situados en edificios altos y las estaciones de abonado se instalan en los techos u otro lugar elevado, o dentro del edificio. Las longitudes de tramo con visibilidad directa se limitan a unos pocos kilómetros, debido a las condiciones de propagación y los exigentes requisitos de disponibilidad. Las distancias pueden aumentar en zonas de escaso desvanecimiento producido por la lluvia o cuando los requisitos de disponibilidad son menores. Las densidades de instalaciones de sistemas P-P, expresadas por el número de estaciones de 38 GHz por km², han alcanzado ya en algunos lugares cifras cercanas a los 200 por km² y siguen aumentando. Un operador indica una tasa de crecimiento nacional de instalación de enlaces, entre enero de 1998 y diciembre de 2000, de aproximadamente el 400%. A finales del 2000, un proveedor de sistemas BWA de los Estados Unidos de América tenía entre 6 000 y 7 000 enlaces.

Generalmente los enlaces BWA en las áreas metropolitanas tienen menor alcance y funcionan normalmente con márgenes de desvanecimiento bajos. Además, los sistemas BWA P-P con control adaptable de potencia del transmisor (ATPC) se suelen configurar para operar mucho más cerca del valor umbral en condiciones de cielo despejado, con los correspondientes ajustes de potencia del transmisor a fin de satisfacer la disponibilidad del 99,999%. Esto también puede lograrse con la disminución de la potencia (ATPC, establecimiento del nivel y atenuador) y antenas pequeñas.

¹ Otras aplicaciones que se están utilizando o que están siendo probadas para su utilización inmediata incluyen instalaciones de 310 Mbit/s y 620 Mbit/s.

FIGURA 4

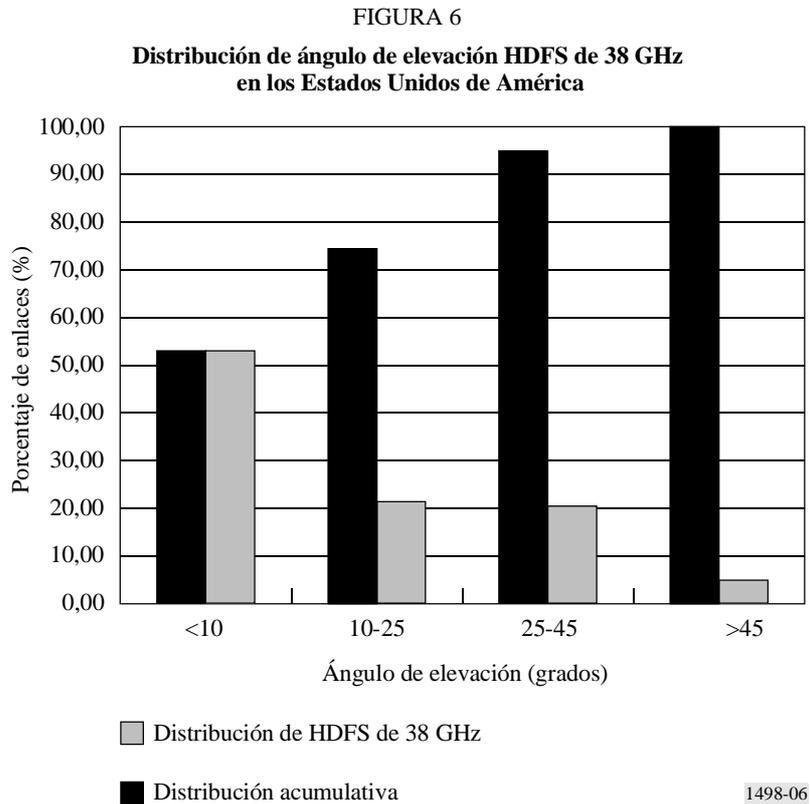
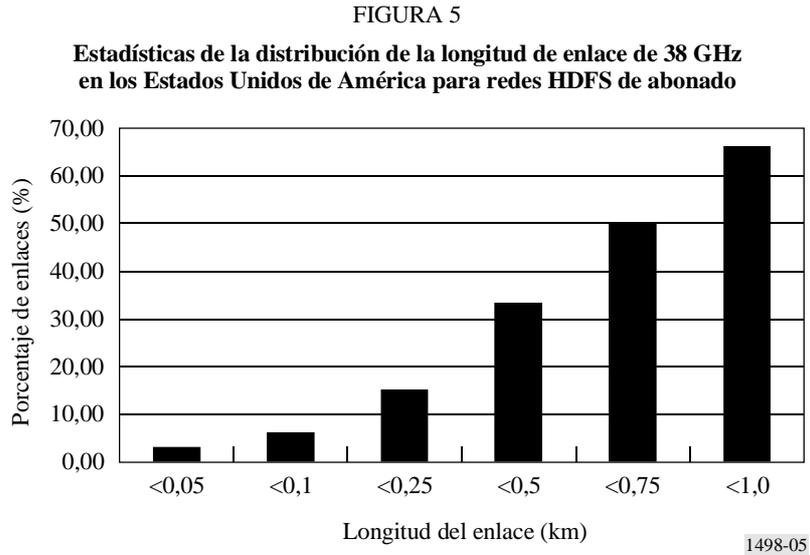
Instalación de nodos centrales en zonas urbanas, Estados Unidos de América



1498-04

En los Estados Unidos de América se ha generalizado la adjudicación de licencias en la banda de 38 GHz para utilización por el servicio fijo. Actualmente operan unos 100 concesionarios del servicio fijo en la banda de 38 GHz, con más de 3 500 licencias de zona. Por lo menos tres de estos concesionarios estadounidenses cuentan con licencias que cubren 180 millones de personas o más. Estos concesionarios de la banda de 38 GHz están instalando un nuevo tipo de red local inalámbrica del servicio fijo que proporciona enlaces digitales directamente a los abonados. Las redes locales establecen la interfaz con la red de telecomunicaciones públicas mediante conmutadores locales y anillos de fibra óptica.

En los Estados Unidos de América, los enlaces de abonado de hasta 0,5 km de longitud representan cerca de un tercio de la base total instalada de todas las zonas metropolitanas actualmente atendidas, mientras que los enlaces de hasta 0,75 km cubren la mitad, y los de hasta 1 km de longitud cubren cerca de dos tercios del total. Las Figs. 5 y 6 representan las estadísticas actualizadas de la longitud de enlace y del ángulo de elevación. Al ser cada vez mayores las densidades de instalación, se prevé una tendencia general hacia la reducción progresiva de la longitud del enlace. El ritmo al que aumentarán las densidades no está limitado, por lo general, por razones técnicas, sino que es consecuencia de consideraciones comerciales, como por ejemplo la adquisición de los derechos de acceso. Las instalaciones de los sistemas móviles 3G en zonas metropolitanas, que necesitarán una ayuda importante de una red de retroceso, aumentarán todavía más las densidades del enlace.



Las características de la instalación mostradas en las Figs. 5 y 6 requieren un nuevo conjunto de compromisos en el diseño del enlace, principalmente entre la eficacia espectral y la calidad de funcionamiento y cobertura, que afecta enormemente la competitividad de los sistemas BWA como sustitutos de los sistemas de acceso por fibra óptica.

Por lo general, estos enlaces están diseñados para garantizar el 99,999% de disponibilidad y satisfacer los objetivos de calidad de funcionamiento actualizados. Debido a la distribución geográfica de los sistemas BWA de abonado en las distintas zonas hidrometeorológicas del UIT-R de los Estados Unidos de América, aproximadamente de un tercio de todos los enlaces satisfacen el

requisito del 99,999% con márgenes de lluvia de hasta 10 dB. La reducción de las potencias de transmisión a niveles que están lo más cerca posible del mínimo requerido para satisfacer los objetivos de calidad de funcionamiento y de disponibilidad, ayuda enormemente a alcanzar eficacias en la utilización del espectro muy altas mediante la reutilización de frecuencias. No obstante, esto hace que los sistemas del servicio fijo sean más sensibles a interferencias debido a los demás servicios. Los niveles de potencia más bajos también pueden alcanzarse utilizando atenuadores y antenas más pequeñas. Puesto que las estaciones de base P-MP tienen niveles de potencia fijos, ciertas ubicaciones de abonado pueden tener un margen adicional. Pares de canales de 50 MHz de licencia zonal en la banda 38,6-40 GHz amplían la prestación de servicios flexibles y la utilización eficaz del espectro gracias a la reutilización de frecuencias, semejante a la práctica de los operadores del servicio de comunicaciones personales en las bandas del servicio móvil por debajo de 2 GHz.

Mientras el primer servicio en la banda 38,6-40 GHz estaba basado en el empleo de sistemas P-P con procedimientos sencillos de modulación, por ejemplo la modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (MDP-4), la tendencia del desarrollo es tanto a sistemas P-MP como a procedimientos de modulación más complejos, que aumentan considerablemente la eficacia espectral y ofrecen mayores capacidades de transmisión. Por ejemplo los sistemas P-MP de modulación de amplitud en cuadratura de 64 estados (MAQ-64) son capaces de llegar hasta 250 Mbit/s, en un canal radioeléctrico de 50 MHz y los sistemas P-P MAQ-128 hasta 310 Mbit/s en el mismo ancho de la banda en los Estados Unidos de América, las densidades combinadas de las estaciones P-P y P-MP por km² ya se están acercando en algunos casos a la cifra 200 y esta relación continuará creciendo rápidamente. Este crecimiento previsto está contemplado por las licencias ya otorgadas y no requiere nuevas autorizaciones.

En los sistemas P-MP, a diferencia de los sistemas P-P, las antenas de estaciones de base podrán ser tanto omnidireccionales como sectoriales. En cada caso, la antena de la estación de base se orientará para atender a todos los abonados dentro de la zona de servicio de dicha estación de base. En consecuencia, la antena de la estación de base tendrá una ganancia y una directividad inferiores a las de un centro de distribución de una serie de tramos P-P organizados en una configuración del tipo núcleo y rayos. En la configuración P-MP, el extremo de abonado del trayecto funcionará con un nivel inferior de recepción de señales y necesitará, por lo tanto, antenas de mayor ganancia para mantener un margen de desvanecimiento aceptable que compense la atenuación producida por la lluvia.

De acuerdo con los modelos de radiación vertical de las antenas omnidireccionales y sectoriales, la p.i.r.e. de la antena de la estación de base disminuirá a medida que el terminal de abonado se acerque a la estación de base. Esta disminución de la intensidad de la señal se compensa en cierta medida con la correspondiente reducción de la longitud del trayecto. No obstante, el efecto neto es una reducción de la intensidad de la señal, con la correspondiente disminución del margen de desvanecimiento. Se deduce también que, a medida que el trayecto entre el centro de distribución y el abonado disminuye, el ángulo de elevación del terminal de abonado aumenta, reduciéndose así la pérdida atmosférica disponible y aumentando la susceptibilidad del receptor a las interferencias provenientes de emisiones de satélite.

Los servicios descritos de acceso local para infraestructuras de redes móviles y acceso directo de abonado consiguen un alto grado de eficacia del espectro gracias a las condiciones favorables de reutilización de frecuencias derivadas de las condiciones de propagación, que limitan las longitudes de tramo con visibilidad directa utilizables en la banda de 38 GHz a unos pocos kilómetros, cuando se requiere una disponibilidad de 99,999%. La experiencia muestra que el régimen de licencias de zona estimula la explotación más eficaz posible del espectro, permitiendo al mismo tiempo que diversos competidores locales coexistan en el mismo mercado local, tal como ocurre con los operadores celulares y del servicio de comunicaciones personales en las bandas del servicio móvil por debajo de 2 GHz.

3.3 Ejemplo de nueva instalación de sistemas del servicio fijo de 38 GHz en Brasil

Últimamente, en Brasil se ha registrado una enorme expansión en la instalación de sistemas P-P y de radiocomunicación digital, principalmente con capacidad de transmisión entre 2 y 34 Mbit/s, para conexiones de apoyo del sistema de telecomunicaciones móviles, así como para aplicaciones de acceso inalámbrico de empresa y redes digitales, en bandas de frecuencias superiores a 15 GHz. Además de las aplicaciones de baja capacidad de transmisión, se han instalado nuevas aplicaciones en la banda de 38 GHz en sistemas de 155 Mbit/s que proporcionan redes digitales. Actualmente, en las zonas metropolitanas, debido a la saturación de las bandas de frecuencias inferiores, se ha autorizado la banda de 38 GHz para las aplicaciones mencionadas. Actualmente (mediados de 2001) se han instalado aproximadamente 2 500 tramos de sistemas digitales P-P, en las ciudades más importantes del Brasil. Casi se han multiplicado por 10 en los últimos 3,5 años teniendo en cuenta que a finales de 1997 había solamente 260 tramos con licencia.

Se ha observado que, en el caso de la banda de 38 GHz, la tasa de crecimiento en los sistemas de acceso inalámbrico para comunicaciones de datos ha sido mayor que en los sistemas de red de retroceso móviles. Aunque todavía no se han informado sobre los tramos con ángulos de elevación de antena elevados como es el caso de los Estados Unidos de América. Se prevé que como consecuencia del crecimiento de los sistemas de acceso inalámbrico para comunicación de datos, se prevé que en el futuro se instalarán ángulos de elevación altos, de más de 25°.

Se observa asimismo que la longitud de enlace varía desde un valor mínimo de 30 m a un valor máximo de 2,8 km.

Además, se han instalado algunos sistemas P-MP digitales de prueba, y el gobierno local está esperando el informe de las pruebas para en 2002 dictar la reglamentación que permitirá a los sistemas P-MP entrar a formar parte de los servicios comerciales.

Es un buen ejemplo del surgimiento de sistemas del servicio fijo en la banda de 38 GHz.

3.4 Ejemplo de instalación de sistemas del servicio fijo de 38 GHz en Japón

En Japón, la banda de 38 GHz se ha venido utilizando para enlaces inalámbricos del servicio fijo de abonado, de conformidad con los bloques de frecuencias emparejadas de 60 MHz estipuladas en el Anexo 3 (§ 2) de la Recomendación UIT-R F.749.

Debido a la lluvia intensa que se produce en la mayoría de las partes de Japón, para los operadores es una cuestión importante llegar a una solución de compromiso entre la longitud del tramo y la disponibilidad del enlace. Puesto que una alta disponibilidad por encima del 99,999% se está convirtiendo en un requisito básico para los usuarios, la longitud del tramo de los enlaces FWA en la banda de 38 GHz está limitada a un valor del orden de 1 km. La capacidad típica del sistema está entre 6 Mbit/s y 155 Mbit/s a fin de satisfacer las aplicaciones del servicio de banda ancha.

En las Figs. 7 y 8 se muestran respectivamente las distribuciones de longitud de enlace y de ángulo de elevación. Puesto que no ha pasado mucho tiempo desde que el primer sistema de 38 GHz se ha puesto en servicio en Japón, las rutas de las Figs. 7 y 8 incluyen aquéllas de la etapa de planificación a fin de proporcionar datos estadísticamente eficaces.

FIGURA 7

Distribución de la longitud de los enlaces en las posibles rutas HDFS en la banda de 38 GHz en Japón

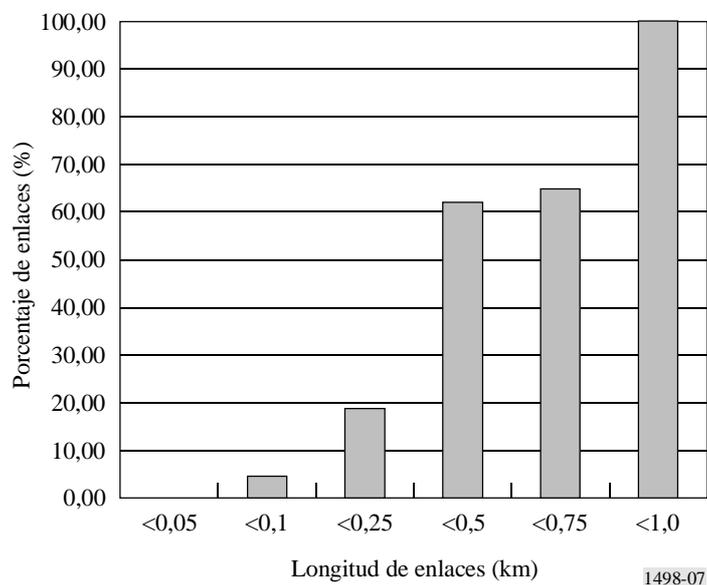
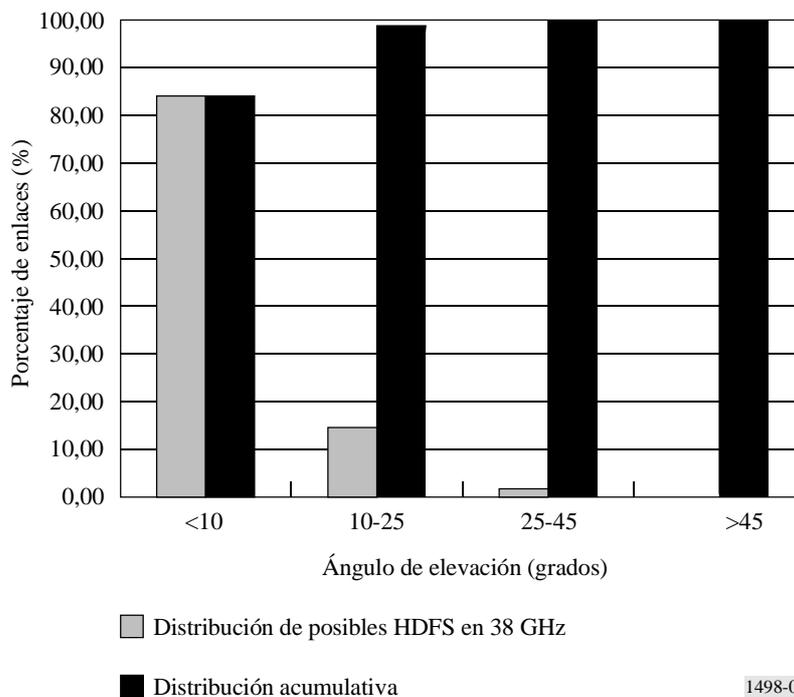


FIGURA 8

Distribución de ángulos de elevación de posibles rutas HDFS en la banda de 38 GHz en Japón



4 Tendencia esperada en la instalación de sistemas

Aunque la principal utilización actual de la banda de 38 GHz en muchos países es la aplicación de sistemas P-P con capacidades de un múltiplo de la velocidad primaria que utilizan sistemas con métodos de modulación de 4 niveles y parcialmente sistemas de 155 Mbit/s con modulación de 16 niveles, puede preverse que en el futuro se utilizarán además capacidades más elevadas, de hasta $n \times 155$ Mbit/s; estas mayores capacidades podrían utilizar métodos de modulación de niveles más altos (por ejemplo 128-MAQ).

Para todos los tipos de sistemas P-MP, los métodos de modulación adaptativos (es decir, entre 4 y 64 niveles) que en parte ya se conocen de los sistemas de acceso múltiple por división en frecuencia, una capacidad de conmutación más rápida para soportar tráfico en modo de transferencia asíncrono (ATM) y antenas orientables podría mejorar los futuros sistemas en cuanto a disponibilidad, longitud de enlace, anchura de banda necesaria e interferencias.

Lo fundamental para toda instalación futura es aumentar la capacidad que pueda suministrarse a las posibles ubicaciones de clientes. No cabe duda, de que una manera de aumentar la capacidad es mejorando la tecnología según se ha indicado en los párrafos precedentes. Otra forma, es instalar más eficazmente los sistemas BWA. A continuación se describe la manera en que los sistemas BWA HDFS están evolucionando para suministrar más capacidad en una zona dada.

4.1 Resumen de instalaciones hasta la fecha

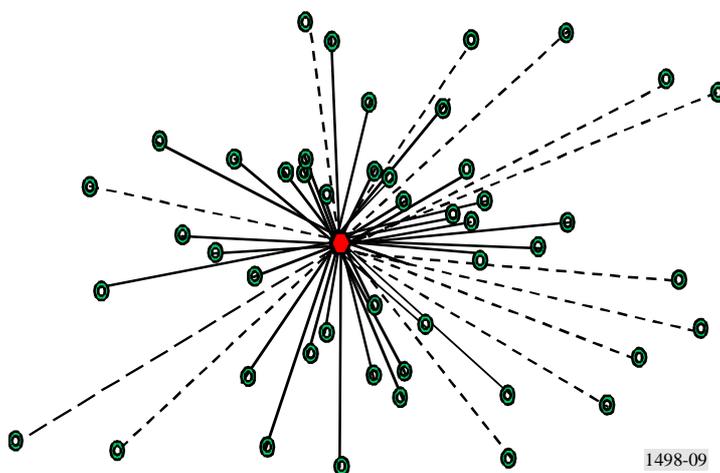
En los primeros puntos de este Anexo se han facilitado datos estadísticos actuales de las instalaciones de HDFS hasta la fecha. Estas estadísticas ayudan a describir cómo se han instalado los sistemas BWA y cómo dicha instalación difiere de una instalación del servicio fijo típica. Los registros muestran que la mayoría de los enlaces instalados hasta la fecha tienen ángulos de elevación de menos de 10° , excepto los Estados Unidos de América donde casi la mitad de los enlaces instalados hasta la fecha tienen ángulos de elevación superiores a 10° . Además, un tercio de los enlaces BWA instalados en los Estados Unidos de América tienen una longitud inferior a 0,5 km y aproximadamente la mitad de estos enlaces son de menos de 0,75 km.

4.2 Explicación de la reutilización de frecuencias en una topología en estrella

Tradicionalmente cuando se instala un sistema BWA se elige un edificio situado estratégicamente de manera que tenga visibilidad directa al mayor número posible de ubicaciones de edificios en el área en cuestión, a fin de hacer máxima la zona de cobertura. A esto se le conoce como topología en estrella. La Fig. 9 representa un ejemplo de este tipo de topología. La zona de cobertura en una topología estrella BWA está limitada por dos factores: la visibilidad directa, y las limitaciones de interrupciones en caso de lluvia que permitan una disponibilidad del 99,999%. En el territorio continental de los Estados Unidos de América estas distancias están limitadas a un radio inferior a 1,9 km para capacidad de 45 Mbit/s en una zona hidrometeorológica D2. (Esto supone una superficie de $11,7 \text{ km}^2$.) Aunque es cierto que si se amplía la cobertura lo máximo posible se alcanza la máxima cobertura, también es cierto que en ese caso el factor de reutilización de frecuencia se reduce al mínimo.

FIGURA 9

Topología en estrella de una ubicación de nodo central BWA

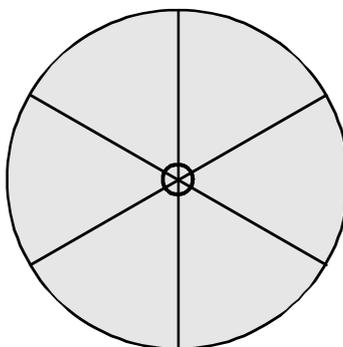


1498-09

Al extender la distancia del enlace a la máxima distancia permitida por la ganancia y la sensibilidad del sistema de un equipo BWA, una misma frecuencia sólo puede reutilizarse cada 60° . La Fig. 10 representa cómo una frecuencia que se utiliza en un nodo central sólo se puede reutilizar un máximo de 6 veces. Si, por otra parte, se limita la distancia a 0,8 km, la misma frecuencia puede reutilizarse hasta 36 veces. En la Fig. 11 se muestra gráficamente cómo se aumenta la reutilización de frecuencia al limitar la distancia a 0,8 km o menos. Las eficacias en la utilización del espectro se alcanzan manteniendo los niveles de potencia al mínimo y teniendo además en cuenta que la atenuación por lluvia es mucho menor a distancias cortas que a distancias largas.

FIGURA 10

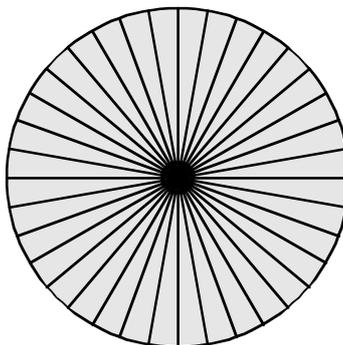
Reutilización de frecuencias que se alcanza con enlaces a una distancia máxima de 1,9 km



1498-10

FIGURA 11

Reutilización de frecuencias que se alcanza limitando la distancia a 0,8 km



1498-11

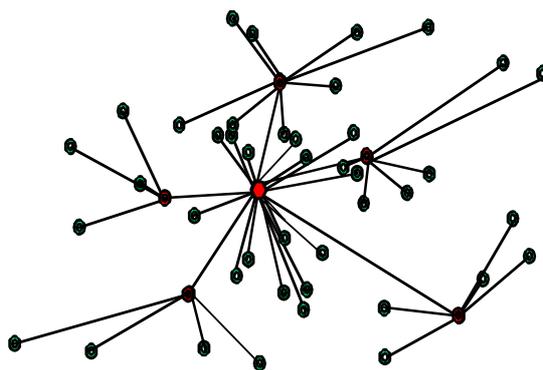
Otra limitación que tiene la topología en estrella BWA es que la visibilidad directa a edificios objetivo nunca es del 100%, aún en el caso de que se seleccione el edificio más alto de la zona. Esto crea el problema de alcanzar el mayor número de edificios posible sin tener que añadir más nodos centrales que resulta caro.

4.3 Visión de la topología de red vigente

La estrategia de aplicación actual que se utiliza para hacer máxima la reutilización de frecuencias consiste en disminuir la distancia abarcada por un nodo central BWA y aumentar la cobertura. Esto se está realizando mediante la adición de pequeñas centrales para alcance ampliado (SERP, *small extended range points*) a los nodos centrales existentes. La Fig. 12 representa esta topología. La utilización de estas SERP tiene varias ventajas: permite reducir la longitud del enlace y aumentar la probabilidad de tener visibilidad directa a los edificios seleccionados.

FIGURA 12

Topología resultante de la utilización SERP que utilizan enlaces inalámbricos consecutivos



1498-12

Un aspecto importante de esta topología SERP es que para acceder a la red el abonado deberá atravesar dos o más enlaces inalámbricos. Esto significa que para que el usuario tenga una disponibilidad del 99,999%, la disponibilidad compuesta del enlace A y el enlace B debe ser del 99,999%; lo que supone que la mayoría de los enlaces estarán limitados a una distancia de 0,8 km y, por lo tanto, funcionarán con un margen de desvanecimiento muy pequeño. Además, entre las longitudes de trayecto más cortas y los márgenes de desvanecimiento más pequeños habrá un porcentaje mucho más alto de enlaces que funcionen con ángulos de elevación elevados.

4.4 Estadísticas sobre la nueva topología de red

Cabe señalar también que el valor medio del ángulo de elevación aumenta al disminuir la distancia del enlace. Evidentemente, los enlaces que están más cerca del nodo central BWA tienen una probabilidad mucho mayor de tener un ángulo de elevación más grande que los enlaces que están alejados. El grado de diferencia depende de la distribución y las alturas de los edificios locales y, en gran medida, de la altura relativa con respecto a la posición del nodo central BWA.

A fin de evaluar el aumento relativo del ángulo de elevación, se seleccionaron dos ubicaciones de nodos centrales: uno situado en un edificio alto con respecto al entorno local en una ciudad de los Estados Unidos de América y otro en una ciudad de los Estados Unidos de América más pequeña y situada a una altura relativamente más baja. Las dos ubicaciones de nodos centrales seleccionadas son reales y ofrecen o tienen previsto ofrecer servicios BWA. Este análisis abarca todo el intervalo que se puede esperar de los dos extremos en las instalaciones BWA en lo que respecta a los ángulos de elevación. Se han obtenido las alturas de todos los edificios que están dentro del radio de la zona hidrometeorológica de los dos nodos centrales evaluados. En el Cuadro 2 se muestra el valor medio del ángulo de elevación para enlaces de menos de 0,8 km de longitud y enlaces con longitud mayor que 0,8 km pero que cumplen la condición de una limitación debida a la lluvia con una disponibilidad del 99,999%. Como puede observarse, el valor medio del ángulo de elevación aumenta tanto para edificios bajos y altos, entre 230% y 380% respectivamente, para el caso en que la distancia está limitada a 0,8 km.

CUADRO 2

Valor medio de los ángulos de elevación para 2 nodos centrales de BWA en Estados Unidos de América

Distancia (km)	Ángulo de elevación (ciudad pequeña) (grados)	Ángulo de elevación (ciudad grande) (grados)
Menos de 0,8	7,7	19,6
Más de 0,8	2,0	8,6

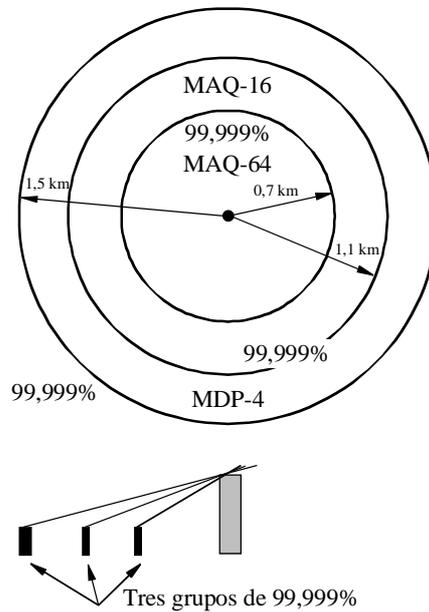
Según se indicó anteriormente, se prevé que a fin de mantener la eficiencia en la utilización del espectro habrá un aumento continuo en el número y porcentaje de enlaces instalados dentro del radio de 0,8 km. Incluso en los mercados más pequeños con una altura del nodo central mucho menor el valor medio del ángulo de elevación estará cerca de los 8°.

4.5 Modulación adaptativa

Las tecnologías BWA emergentes (dúplex por división de tiempo y dúplex por división de frecuencia) pueden funcionar simultáneamente con tres modulaciones (Fig. 13) en la misma portadora de radiofrecuencia: MDP-4, MAQ-16 y MAQ-64. Estas instalaciones aumentan considerablemente la capacidad de la red y dan lugar a que una sola célula tenga tres anillos distintos donde los abonados tienen una disponibilidad limitada, por ejemplo el 99,999%; es decir, puede que los enlaces a estos abonados no tengan un margen de desvanecimiento excesivo. Esto puede provocar que aumente el número de abonados afectados por interferencia entre los servicios. Estadísticamente, el mayor porcentaje de abonados está cerca de una estación base HDFS y, por lo tanto, disponen de ángulos de elevación mayores que coinciden con los umbrales de disponibilidad. Estos abonados también cumplen el criterio para el servicio MAQ-64 que exige mayores valores de la relación *C/I*. Cabe señalar que los abonados P-MP que estén próximos pueden tener un margen excesivo ya que la potencia del terminal del nodo central es fija.

FIGURA 13

Célula BWA que utiliza simultáneamente tres modulaciones distintas en la zona hidrometeorológica (modelo CRANE en la región K)



1498-13

5 Consideraciones relativas a la determinación de la zona de coordinación respecto del servicio fijo

De una manera general, la coordinación entre las estaciones del servicio fijo y las estaciones terrenas del SFS puede ilustrarse a través de las siguientes condiciones:

Condición 1: Zonas que no tienen servicio fijo

Las zonas geográficas en las que las aplicaciones del SFS no necesitarán coordinar con el servicio fijo serán mayores en la banda 37-40 GHz que en las bandas de frecuencias inferiores actualmente compartidas, donde la instalación del servicio fijo se extiende a zonas geográficas considerablemente mayores.

Condición 2: Zonas con escasa instalación del servicio fijo

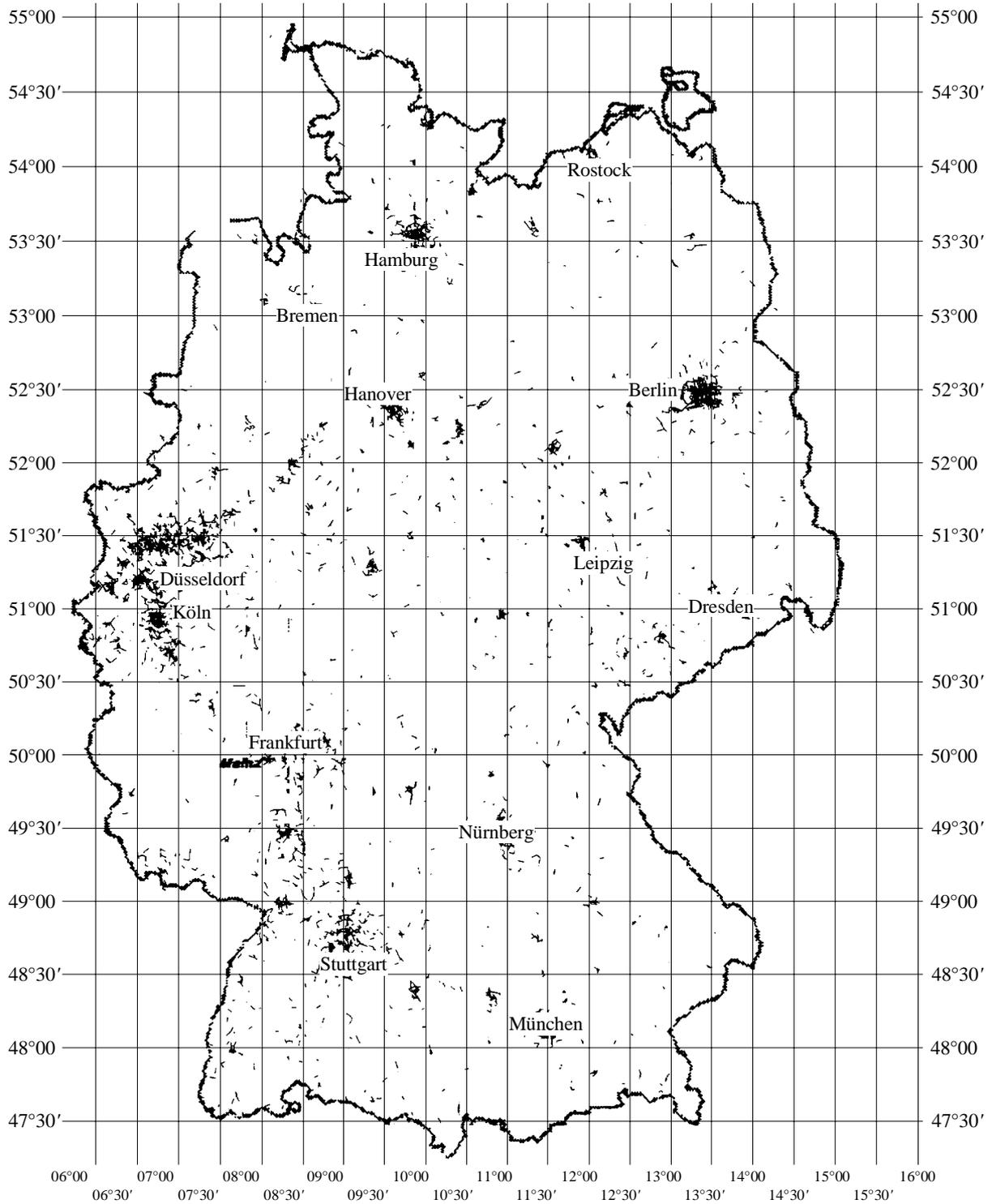
En casos intermedios, en que el servicio fijo tiene poca presencia, la coordinación de estación a estación es viable.

Condición 3: Zonas con instalación densa del servicio fijo

En zonas de instalación de servicios con una mayor densidad de estaciones del servicio fijo, la coordinación con y entre estaciones terrenas del SFS debería basarse en modalidades diferentes a las de estación a estación. El Informe de la RPC-97 a la CMR-97 señala en el párrafo 1 del § 7.5.3.2 que, debido a que las distancias entre las estaciones del servicio fijo de gran densidad son notablemente menores que las distancias de separación entre los servicios, la coordinación dentro del servicio y con otros servicios debería efectuarse respecto de zonas de servicio con gran densidad del servicio fijo, y no para cada estación del servicio fijo de gran densidad por separado.

Estas tres situaciones de instalación se ilustran en la Fig. 14.

FIGURA 14
Instalación en la banda de 38 GHz en Alemania a finales de 2000



Las siguientes consideraciones adicionales son de importancia capital para toda coordinación efectuada entre las estaciones del servicio fijo y las estaciones terrenas del SFS:

- Tanto el servicio fijo como el SFS necesitan asegurar una cobertura con visibilidad directa de su base de abonados. El hecho de que las estaciones con centros de distribución del servicio fijo estén situadas en lugares expuestos, como los techos de los edificios altos en muchos casos, reduce las posibilidades de aprovechamiento de las pantallas naturales o artificiales por el SFS a los efectos de reducir la distancia de separación. En estos casos, la mayoría de los trayectos de las interferencias seguirían las condiciones de propagación con visibilidad directa.
- Con arreglo al régimen de licencia zonal, el servicio tiene lugar tanto mediante sistemas P-P como P-MP del servicio fijo. La utilización de antenas sectoriales en las estaciones centrales de los sistemas P-MP limita más la coordinación. Estas antenas cubren un segmento de 360° o se apilan para una cobertura de zona de servicio omnidireccional, según las necesidades. Las antenas sectoriales reducen las ventajas del empleo de la discriminación angular en la coordinación, en comparación con las antenas parabólicas. La distancia de separación requerida real entre una estación transmisora del servicio fijo y una estación receptora del SFS depende de los parámetros dados de ambos sistemas, tales como la densidad de potencia de la estación transmisora del servicio fijo, los valores mínimos de ángulo de elevación operacional de los sistemas por satélite, la ganancia de antena fuera del eje en ambos sistemas, así como la topografía del terreno.

En conclusión, las características HDFS son totalmente diferentes de los enlaces del servicio fijo clásicos y de la infraestructura básica. A medida que se vayan implantando los sistemas, como los de tercera generación (3G) y otros, lo más probable será que se instalarán en picocélulas dentro de microcélulas y actuarán como sistemas receptores-distribuidores para HDFS y el servicio fijo como agrupadores para posteriores transportes a los nodos de servicio que incluyen conmutadores, etc.

6 Desvanecimiento no correlacionado

Cuando un satélite utiliza control de potencia en el enlace descendente, en los estudios de compartición entre instalaciones del servicio fijo y SFS se han de tener en cuenta las necesidades de desvanecimiento no correlacionado debido a la lluvia. Un haz puntual estrecho de satélite del SFS dirigido a una estación terrena tiene una huella de al menos 200 km. Considerando que las células de lluvia típicas tienen un tamaño entre 1 y 5 km (Recomendación UIT-R P.452), los abonados situados fuera de la célula de lluvia podrían recibir mayores niveles de la relación I/N con la consiguiente degradación de la relación C/I . En la Fig. 15 se muestra esta situación en la que una estación de cabecera del SFS se sitúa en la zona de instalación HDFS. Una degradación de la relación C/I considerada inaceptable puede reducirse ubicando la estación de cabecera fuera de la zona de instalación HDFS.

Cabe señalar que debido a la interferencia procedente del HDFS, no es probable que las estaciones terrenas de cabecera se instalen en las zonas HDFS.

FIGURA 15

Ejemplo de situación de desvanecimiento no correlacionado debido a la lluvia

