

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1651*

Método de evaluación del espectro necesario para los sistemas de acceso inalámbrico nómadas de banda ancha, incluidas las redes radioeléctricas de área local¹ que utilizan la banda de 5 GHz

(Cuestiones UIT-R 212/8 y UIT-R 142/9)

(2003)

Resumen

Esta Recomendación presenta un método para evaluar el espectro necesario para los sistemas de acceso inalámbrico nómadas (NWA) de banda ancha, incluidas las redes radioeléctricas de área local (RLAN). En el Anexo 1 figura una descripción general de las RLAN, las hipótesis de instalación, las características generales del método para estimar el espectro requerido y un ejemplo de cálculo en la banda de 5 GHz.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que es necesario determinar las necesidades reales de espectro de los sistemas de acceso inalámbrico nómadas (NWA) de banda ancha, incluidas las redes radioeléctricas de área local (RLAN) utilizadas en diversos entornos;
- b) que la Recomendación UIT-R M.1390, donde se calculan los requisitos de espectro para la componente terrenal de las IMT-2000, sería el texto básico adecuado para la elaboración de un nuevo método con arreglo a lo indicado en el *considerando* a),

recomienda

1 que se utilice el método descrito en el Anexo 1 como orientación para determinar los requisitos de espectro de los sistemas NWA de banda ancha, incluidas las RLAN que utilizan la banda de 5 GHz.

NOTA 1 – En el Cuadro 1 figuran las abreviaturas utilizadas en esta Recomendación.

NOTA 2 – En el Cuadro 2 aparecen las referencias a Recomendaciones de la UIT.

* Esta Recomendación ha sido elaborada conjuntamente por las Comisiones de Estudio 8 y 9 de Radiocomunicaciones y las futuras revisiones deberán realizarse también conjuntamente.

¹ En esta Recomendación, red radioeléctrica de área local (RLAN) es como se describe en la Recomendación UIT-R M.1450.

NOTA – Los Estados Unidos de América están en desacuerdo con la presente Recomendación y por consiguiente se reservan su posición sobre ella.

CUADRO 1

Abreviaturas utilizadas en esta Recomendación

| | |
|-------|---|
| AP | Punto de acceso |
| DLC | Control de enlace de datos |
| HiMM | Multimedios interactivos de alta velocidad |
| HMM | Multimedios de alta velocidad |
| IP | Protocolo Internet |
| LAN | Red de área local |
| MAC | Control de acceso al medio |
| MAQ | Modulación de amplitud en cuadratura |
| MDP-2 | Modulación por desplazamiento de fase binaria |
| MDP-4 | Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria |
| MiMM | Multimedios interactivos de velocidad media |
| MMM | Multimedios de velocidad media |
| MT | Terminal móvil |
| NWA | Acceso inalámbrico nómada |
| PDA | Agenda digital personal |
| PER | Tasa de errores en los paquetes |
| PHY | Física (capa) |
| QoS | Calidad de servicio |
| RLAN | Red radioeléctrica de área local |
| TVAD | Televisión de alta definición |
| VCR | Magnetoscopio |
| VHiMM | Multimedios interactivos de muy alta velocidad |
| VHMM | Multimedios de muy alta velocidad |
| WAS | Sistemas de acceso inalámbrico |

CUADRO 2

Referencia a Recomendaciones de la UIT

| | |
|----------------------------|---|
| Recomendación UIT-R P.1238 | Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de sistemas de radiocomunicaciones de interiores y redes de radiocomunicaciones de área local en la gama de frecuencias de 900 MHz a 100 GHz |
| Recomendación UIT-R M.1390 | Metodología para el cálculo de las necesidades de espectro terrenal de las telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (IMT-2000) |
| Recomendación UIT-R M.1450 | Características de las redes radioeléctricas de área local de banda ancha |
| Recomendación UIT-T I.356 | Calidad de funcionamiento en la transferencia de células en la capa de modo de transferencia asíncrono de la RDSI-BA |

Anexo 1

Método de evaluación del espectro necesario para los sistemas NWA de banda ancha, incluidas las RLAN que utilizan la banda de 5 GHz

1 Consideraciones generales

Una condición fundamental para la aceptación por parte del mercado de los sistemas NWA es la disponibilidad de una cantidad suficiente de espectro para poder ofrecer al usuario una alta calidad de recepción en presencia de otros usuarios sin coordinar. Por consiguiente se necesita establecer un método que determine el volumen de espectro necesario para soportar la penetración del mercado prevista así como las densidades y distribución de usuarios y el tipo de tráfico que generan.

Una base adecuada para un método de estimación de las necesidades de espectro para los sistemas NWA puede ser la Recomendación UIT-R M.1390 que fue elaborada para calcular las necesidades de espectro terrenal de las IMT-2000. De hecho, en el alcance de esta Recomendación se indica que el método puede aplicarse a otros sistemas de radiocomunicaciones móviles terrestres públicas así como a tecnologías de radiocomunicaciones con conmutación de circuitos y con conmutación de paquetes. En el Apéndice 1 se incluye un ejemplo de cálculo para mostrar la forma en que puede aplicarse el método. En este ejemplo, las RLAN se utilizan como modelos representativos de sistemas NWA.

El § 2 proporciona una breve introducción a los sistemas NWA y describe diversas hipótesis de distribución de usuarios. El § 3 examina la metodología. El § 4 explica la aplicación de la metodología para los requisitos de espectro de las RLAN y, por último, en el Apéndice 1 aparece un ejemplo de cálculo.

2 Introducción a los sistemas NWA

Los sistemas NWA incluyen RLAN de banda ancha, que se describen en la Recomendación UIT-R M.1450. Las aplicaciones típicas abarcan los sistemas de acceso inalámbrico públicos y privados destinados a hogares, escuelas, hospitales, hoteles, centros de conferencia, aeropuertos, centros comerciales, etc. Las administraciones, mediante reglas y políticas nacionales pueden elegir entre conceder licencia a estos dispositivos o permitir que funcionen sin licencia.

Los entornos de oficinas o interiores normalmente tienen p.i.r.e. bajas y las células radioeléctricas son de tamaño muy pequeño, del orden de 30 m de radio o menos. Los entornos en exteriores generalmente utilizan p.i.r.e. superiores y tienen radios mayores.

Entre otras cosas, contar con suficiente cantidad de espectro es condición necesaria para permitir un comportamiento satisfactorio en presencia de otros usuarios no coordinados y constituye una de las condiciones fundamentales para que el mercado acepte este tipo de sistemas.

La mayoría de las normas de interfaz aérea de 5 GHz presentan una característica adaptativa gracias a la cual el modo de capa física (PHY) puede adaptarse automáticamente a las características del trayecto radioeléctrico. El Cuadro 3 muestra los modos PHY y el caudal típico para cada modo. Ello permite una utilización más eficaz del canal radioeléctrico pero tiene como consecuencias la aparición de zonas de servicio distintas. La velocidad binaria más elevada sólo está disponible en una parte de la zona de cobertura total de la velocidad binaria más baja para un punto de acceso (AP) específico. Por consiguiente, en los cálculos detallados se aplica un valor promediado en toda

la zona de servicio. La eficacia espectral en bit/s/Hz suministrada a la capa de red es función del caudal que puede lograrse en la capa de control de acceso al medio (MAC). Las distintas normas de RLAN de 5 GHz aquí consideradas utilizan diferentes estrategias MAC y, en consecuencia distintos caudales de capa de red. Para el cálculo de los requisitos de espectro, se ha supuesto el mayor caudal que puede lograrse, como indica el Cuadro 3. Con ello se obtiene un límite inferior para el espectro requerido. Un caudal MAC inferior da lugar a que se necesite una mayor cantidad de espectro en un entorno determinado para soportar el mismo tráfico de usuario combinado.

CUADRO 3

**Ejemplo de caudal MAC de RLAN con
paquetes de 1 500 bytes**

| Modo PHY (Mbit/s) | Índice de codificación | Caudal máximo | |
|----------------------|---------------------------|---------------|---------------|
| | | Mbit/s | Caudal (%) |
| 6 | 1/2 | 4,6 | 77 |
| 9 | 3/4 | 6,9 | 77 |
| 12 | 1/2 | 9,2 | 77 |
| 18 | 3/4 | 13,9 | 77 |
| 27 | 9/16 | 21 | 77 |
| 36 | 3/4 | 28 | 77 |
| 54 | 3/4 | 42 | 77 |

2.1 Terminología de la Recomendación UIT-R M.1390 en el contexto RLAN

Las RLAN pueden considerarse como un complemento a los sistemas IMT-2000, que proporcionan velocidades de transmisión de datos más elevadas y mayor caudal del sistema en zonas geográficas limitadas (con un alcance del orden de 100 m). Los servicios multimedia se definen en la Recomendación UIT-R M.1390 como MMM, HMM y HiMM con velocidades binarias de usuario de 64 kbit/s a 384 kbit/s y hasta 2 000 kbit/s. La anchura de banda exigida por las verdaderas comunicaciones multimedia de alta resolución requerirá velocidades binarias del orden de 10 Mbit/s y superiores. Las RLAN pueden lograr mayores velocidades de transmisión de datos y capacidad del sistema mucho más elevada. Estas velocidades de transmisión de datos pueden ser manejadas por las normas RLAN en la banda de 5 GHz para varios usuarios simultáneamente con células más pequeñas que los sistemas IMT-2000 y normalmente en el interior de edificios.

Las RLAN se instalan normalmente en una estructura celular pero sin cobertura de zona contigua como sucede en los sistemas celulares. Aunque la zona de cobertura de las RLAN es limitada, puede necesitarse todo el espectro debido a las demandas del tráfico local.

2.2 Entornos de aplicación

En la Recomendación UIT-R M.1450 aparecen aplicaciones típicas. Los entornos aquí analizados son:

- entorno de oficinas;
- entorno de acceso público;

- entorno de acceso de área amplia;
- entorno doméstico.

En los puntos que aparecen a continuación se indican los atributos de cada uno de los entornos que deben utilizarse en los cálculos.

2.2.1 Entorno de oficinas

Las RLAN pueden utilizarse para sustitución o ampliación de las LAN cableadas. Como casos típicos pueden citarse la instalación de oficinas temporales o instalaciones en espacios donde las características del edificio o las protecciones necesarias prohíben la utilización extensiva de cableado. Más recientemente, la posibilidad de establecer conexiones no cableadas a la LAN ha despertado un gran interés entre los usuarios de ordenadores personales portátiles y los productos RLAN están experimentando una alta tasa de crecimiento.

Los terminales normalmente conectados a las redes de infraestructura están diseñados para utilización fija. Dichos terminales podrían ser, por ejemplo, una estación de trabajo, un ordenador personal o cualquier otro terminal concreto. Se trata normalmente de aplicaciones de banda ancha. En esta hipótesis, el dispositivo de usuario es fijo en la mayoría de los casos y la principal ventaja obtenida de las RLAN es la conexión inalámbrica. Por consiguiente, la hipótesis más probable es que las RLAN proporcionen una calidad de servicio (QoS) de red fija o próxima a la misma a un usuario estacionario. El usuario no debe ser capaz de apreciar la diferencia entre la utilización de un sistema inalámbrico y un sistema cableado.

CUADRO 4

Características de un entorno de oficinas

| Atributo | Requisito |
|----------------------------|--|
| Equipo terminal de usuario | Ordenador personal portátil, estación de trabajo o agenda digital personal (PDA) |
| Entorno de utilización | Oficinas empresariales, etc. |
| Alcance | Hasta 50 m para sistemas en interiores |
| QoS esperada | Básicamente la misma que la de una instalación fija |
| Aplicaciones | Básicamente la misma que la de una instalación fija |
| Movilidad | Limitada |
| Cobertura | Continua dentro del lugar de trabajo |

2.2.2 Entorno de acceso público

Los lugares típicos de utilización del sistema RLAN fuera de un despacho son las salas de reuniones, los comedores, los pabellones de hospitales, las aulas, los auditorios y las salas de espera. Un usuario también puede acceder a la red pública a través de estaciones de base instaladas en emplazamientos tales como estaciones ferroviarias, aeropuertos y centros comerciales. En algunos casos, debe mantenerse la conectividad mientras el usuario está trasladándose de un emplazamiento a otro.

Los terminales en este caso son portátiles. Un terminal típico puede estar construido, precisamente, en torno a un ordenador personal portátil y una tarjeta RLAN. El nodo móvil consiste en muchos casos en un dispositivo alimentado por batería de manera que se necesita un consumo de potencia bajo.

Las aplicaciones de acceso inalámbrico públicas son en principio similares a las aplicaciones de entorno de oficinas. Sin embargo, los usuarios pueden estar situados en una amplia variedad de tipos de edificios y normalmente los alcances son mayores que en los entornos de oficina. Además, puede haber redes no coordinadas de diferentes propietarios que pueden interferir con un terminal determinado.

La QoS que cabe esperar de un sistema RLAN en este caso es algo inferior que la QoS ofrecida por un sistema instalado en oficinas o doméstico. Puede suponerse que el usuario acepta una pequeña pérdida en la QoS como precio a pagar por la movilidad obtenida. Por ejemplo, la conexión puede tolerar una breve interrupción debido a un cambio de célula (lo que da lugar a una perturbación momentánea de la imagen de vídeo) y el tamaño y definición de la imagen de vídeo requeridos por una persona que se encuentre temporalmente en la zona de acceso también son inferiores.

CUADRO 5

Características de un entorno de acceso público

| Atributo | Requisito |
|----------------------------|---|
| Equipo terminal de usuario | Ordenador portátil; por ejemplo, agenda o PDA |
| Entorno de utilización | Oficinas, colegios, hospitales, aeropuertos, estaciones ferroviarias, centros comerciales, etc. |
| Alcance | Hasta 50 m para sistemas en interiores Hasta 150 m para sistemas en exteriores |
| QoS esperada | Algo inferior a la de un terminal de sobremesa |
| Aplicaciones | Similar a la de un terminal de sobremesa |
| Movilidad | Limitada |
| Cobertura | Continua dentro de una zona definida; por ejemplo, la sala de un aeropuerto |

Algunas administraciones prevén que las RLAN pueden ser utilizadas para el acceso público. Los dispositivos de usuario para dicho acceso público deben tener la misma interfaz aérea que en el caso de acceso privado. Por lo tanto, un dispositivo de usuario puede acceder tanto a redes públicas como privadas.

2.2.3 Entorno de acceso de área amplia

Algunas administraciones prevén que las WAS/RLAN pueden ser utilizadas para acceso inalámbrico con una cobertura de área amplia. Los terminales para dicho acceso deben tener la misma interfaz aérea que los dispositivos WAS/RLAN de interiores, pero probablemente utilizarían antenas modificadas y protocolos MAC que permitan un mayor alcance y puedan superar los problemas relativos a los retardos inherentes al acceso múltiple y a un trayecto de propagación más largo a causa del funcionamiento en exteriores. Pueden utilizarse antenas omnidireccionales sectoriales o de alta ganancia, o repetidores, para crear microcélulas en las que es posible lograr alcances operativos de 300 a 3 000 m, dependiendo de las condiciones de propagación en exteriores. En esas instalaciones las antenas normalmente son muy directivas y se orientan dirigidas hacia un AP central.

Todas las aplicaciones se consideran nómadas porque los terminales pueden desplazarse de emplazamiento en emplazamiento. Algunos ejemplos de aplicaciones nómadas son la prestación de servicios a pequeñas compañías instaladas en parques industriales o la conexión de varios edificios próximos para constituir un «campus» de redes inalámbricas.

CUADRO 6

Características de un entorno de acceso de área amplia

| Atributo | Requisito |
|----------------------------|--|
| Equipo terminal de usuario | Ordenador de sobremesa y portátil, centro de ocio doméstico, pequeña red de oficinas |
| Entorno de utilización | Entre edificios, parques industriales y comunidades de vecinos |
| Alcance | 300 a 3 000 m |
| QoS esperada | Básicamente la misma que una instalación cableada |
| Aplicaciones | Básicamente la misma que una instalación cableada |
| Movilidad | Limitada |
| Cobertura | Dependiendo del entorno en exteriores y limitada al alcance de la célula |

2.2.4 Entorno doméstico

Una red doméstica normalmente cubre una zona mucho más reducida que los entornos empresariales o de oficinas. Las habitaciones suelen ser pequeñas en comparación con los entornos de trabajo y tienen una estructura más compartimentada (armarios y vestidores). En el entorno doméstico muchos dispositivos, por ejemplo ordenadores personales portátiles, impresoras, máquinas de facsímil, sistemas de seguridad, electrodomésticos, aparatos de TVAD/television convencional digital, magnetoscopios digitales, altavoces, etc., pueden estar conectados de diversas formas. Un caso típico podría ser el siguiente:

- Un bloque de ocio y entretenimiento (vídeo y sonido) situado en el cuarto de estar transmitiendo a aparatos de televisión situados en el propio cuarto de estar, en la cocina y en los dormitorios. El enlace inalámbrico proporciona un «puente» entre los diversos dispositivos evitando la utilización de cable.
- Un sistema de música en el cuarto de estar transmitiendo a altavoces situados en el mismo cuarto de estar, en los dormitorios o en el comedor.
- Dispositivos de seguridad emplazados fuera de la residencia tales como cámaras de seguridad inalámbricas o sensores remotos. Pueden estar situados en las paredes exteriores de la propiedad, en los muros circundantes o en un edificio distante, tal como un garaje o un centro de ocio.
- Una RLAN que permite compartir los recursos informáticos domésticos y el acceso a Internet entre varios ordenadores o PDA para su utilización simultánea por diversos miembros de la familia.

Según lo anterior, es evidente que la red doméstica debe permitir el acceso a redes externas (por ejemplo, la televisión digital) o debe ser capaz de funcionar sin enlaces externos; por ejemplo, un sistema musical con altavoces distantes.

Normalmente, esta red doméstica requerirá un sistema de vídeo de última generación con una elevada QoS lo que exige la utilización intensiva de un canal de alta velocidad binaria.

CUADRO 7

Características de un entorno doméstico

| Atributo | Requisito |
|----------------------------|---|
| Equipo terminal de usuario | Ordenador personal, televisión, bloque de ocio, sistemas de seguridad, PDA, etc. |
| Entorno de utilización | Locales residenciales; es decir, habitaciones pequeñas, dos o varios pisos con elevada atenuación |
| Alcance | Hasta 15 m |
| QoS esperada | Coherente con los servicios multimedios en tiempo real |
| Aplicaciones | Multimedios en tiempo real, aplicaciones de la Malla Mundial Multimedios (WWW) |
| Movilidad | Limitada |
| Cobertura | Continua dentro de los locales |

3 Consideraciones generales sobre el método

La base de la metodología consiste en determinar las necesidades individuales de espectro para todas las combinaciones representativas de entornos y servicios específicos, F_{es} , en una zona geográfica determinada y combinar entre sí el conjunto de necesidades de espectro individuales, F_{es} , en una necesidad de espectro total estimado, F_e . Por consiguiente, el espectro necesario, F_e (MHz), para un cierto entorno es:

$$F_e = \sum F_{es} = \sum T_{es}/S_{es} \quad (1)$$

siendo «e» y «s» subíndices que indican dependencia de los entornos y de los servicios respectivamente, y,

F_e : necesidad de espectro para el entorno «e» (MHz)

T_{es} : tráfico/célula para el servicio «s» en el entorno «e» (Mbit/s/célula)

S_{es} : capacidad del sistema (Mbit/s/MHz/célula).

La necesidad de espectro, F_e , puede redondearse a un múltiplo entero de la anchura de banda de canal supuesta.

Por lo tanto, F_e es el espectro total requerido que se obtiene realizando una suma ponderada de los distintos F_{es} para el entorno «e» y sus servicios «s» considerados pertinentes. La ecuación (1) se aplica a servicios con conmutación de paquetes y considera la asimetría del tráfico en los sentidos de los enlaces ascendente y descendente. Los cálculos, parámetros y definición de los distintos datos del método se dividen en cuatro categorías y sirven para agrupar aspectos similares del método en subunidades:

- A: consideraciones geográficas;
- B: consideraciones de mercado y de tráfico;
- C: consideraciones técnicas y del sistema;
- D: consideraciones de resultados de espectro.

En las bandas de 5 GHz también es necesario considerar la compartición con otros servicios definidos en las asignaciones de frecuencia del Reglamento de Radiocomunicaciones. Por lo tanto, es posible que el resultado del cálculo obtenido utilizando el método deba aumentarse debido a la hipótesis de compartición.

Las RLAN se utilizarán fundamentalmente para el tráfico de tipo Internet salvo cuando se transmitan trenes de vídeo de alta calidad. Por lo tanto, el modelo de comunicaciones por paquete es más adecuado que el de conmutación de circuitos, que es el predominante en las estimaciones de las IMT-2000. El modelo de comunicaciones por paquetes será tenido en cuenta por un factor de actividad (Paso B5) cuando en cada entorno deba realizarse para el servicio una estimación de la fracción del tiempo durante la cual se utiliza el recurso.

Obsérvese que el método supone una arquitectura de control centralizada; para una red concreta puede que sea necesario introducir modificaciones en el método.

4 Aplicación del método para NWA

4.1 Hipótesis geográficas y de entorno (Paso A)

4.1.1 Entornos de aplicación

Los entornos se eligen para determinar las necesidades de espectro normalmente más importantes en cuanto a velocidad de transmisión de datos, densidad de usuarios y relación de actividad. El factor común de estos entornos es la necesidad de soportar servicios multimedia.

Los entornos para análisis son:

- entorno de oficinas;
- entorno de acceso público;
- entorno de acceso de área amplia;
- entorno doméstico.

A cada uno de los entornos se le asignan atributos que se utilizan en los cálculos.

La geometría y el tamaño de la célula deben representar esquemas típicos de instalaciones para las RLAN en cada entorno, donde las células (o los AP) pueden no estar coordinadas. Se supone que todas las redes son autónomas bajo el control de un propietario pero en los cálculos de la capacidad neta del sistema debe tenerse en cuenta la interferencia cocanal procedente de redes vecinas (Paso C). La zona real servida con una fiabilidad determinada debe aparecer en los cálculos de la capacidad del sistema puesto que viene determinada fundamentalmente por la interferencia y puede ser distinta del esquema de AP planificado debido a las hipótesis de propagación.

A1 Tipo de entorno

Seleccionar «e» – tipo de entorno; es decir, empresarial, público, área amplia o doméstico; se lleva a cabo un cálculo separado para cada entorno.

A2 Seleccionar sentido de propagación

El sentido es el del enlace ascendente (del terminal móvil (MT) al AP) o del enlace descendente (del AP al MT). Las cifras de tráfico y espectro que aparecen en los Pasos A2 a D1 se calculan por separado para los sentidos de enlace ascendente y descendente debido a la asimetría del tráfico en algunos servicios. El espectro requerido para cualquier valor de F_{es} es la suma de las necesidades en ambos sentidos.

A3 Establecer una geometría representativa de la célula (m)

Geometría típica de la célula para cada entorno, basándose en la capacidad del sistema.

A4 Calcular la superficie de la célula (Cell_area_e) (m²)

Superficie típica de la célula abarcada por la misma (supuestamente circular).

4.2 Mercado y tráfico (Paso B)**B1 Seleccionar «s»**

«s» – tipo de aplicación de servicio: tipo de servicio seleccionado (por ejemplo, los indicados en el Cuadro 8).

4.2.1 Usuarios por célula (Pasos B2-B4)

Debe definirse el nivel de penetración para los entornos a fin de calcular el número de usuarios en una célula. Dicho nivel de penetración puede variar para cada entorno. Se considera que una célula es la superficie servida por un AP.

B2 Superficie por usuario (Area_per_User_e) (m²)

Se trata de la superficie por usuario en un entorno determinado «e».

B3 Establecer nivel de penetración (Penetration_Rate_{es}) (%)

Se trata de la penetración estimada en el entorno.

B4 Calcular usuarios/célula (users/Cell_{es})

El número de usuarios por célula puede obtenerse de la forma siguiente:

$$\text{Users/Cell}_{es} = \text{Penetration_Rate}_{es} \cdot \text{Cell_Area}_e / \text{Area_per_User}_e$$

4.2.2 Tráfico y servicios (Pasos B5-B8)

En el Cuadro 8 aparecen los servicios previstos para NWA con los valores de los parámetros que se han utilizado en el ejemplo de cálculo del Apéndice 1. Para simplificar los cálculos, los distintos servicios se han agrupado en un número reducido de categorías; a saber MiMM, HMM, HiMM, VHMM y VHiMM.

CUADRO 8

Velocidades de transmisión de datos del ejemplo de aplicación

| Application | Sentido del enlace principal | Velocidad media de transmisión de datos (Mbit/s) | Relación valor de cresta/valor medio | QoS | Velocidad de transmisión de datos de cresta (Mbit/s) |
|---|------------------------------|--|--------------------------------------|-----|--|
| MiMM (multimedios interactivos de velocidad media) | | | | | |
| Correo electrónico | Ascendente o descendente | 1,00 | 2,0 | | 2,00 |
| Videoconferencia | Ascendente y descendente | 4,00 | 1,0 | Sí | 4,00 |
| Control | Ascendente y descendente | 2,00 | 1,5 | | 3,00 |
| Voz | Ascendente y descendente | 0,03 | 1,0 | Sí | 0,03 |

CUADRO 8 (Fin)

| Application | Sentido del enlace principal | Velocidad media de transmisión de datos (Mbit/s) | Relación valor de cresta/valor medio | QoS | Velocidad de transmisión de datos de cresta (Mbit/s) |
|---|------------------------------|--|--------------------------------------|-----|--|
| HMM (multimedios de alta velocidad) | | | | | |
| Navegación por la Web | Descendente | 2,00 | 3,0 | | 6,00 |
| Transferencia de ficheros | Ascendente o descendente | 2,00 | 5,0 | | 10,00 |
| Vigilancia por vídeo | Ascendente | 2,00 | 1,0 | | 2,00 |
| HiMM (multimedios interactivos de alta velocidad) | | | | | |
| Alojamiento de páginas Web | Ascendente y descendente | 6,00 | 1,0 | | 6,00 |
| Servidor de cliente | Ascendente y descendente | 3,00 | 2,7 | | 8,00 |
| VHMM (multimedios de muy alta velocidad) | | | | | |
| Vídeo en cola de salida | Ascendente o descendente | 10,00 | 2,0 | | 20,00 |
| Vídeo de secuencia continua | Ascendente o descendente | 6,00 | 2,0 | Sí | 12,00 |
| VHiMM (multimedios interactivos de muy alta velocidad) | | | | | |
| Juegos interactivos | Ascendente y descendente | 5,00 | 3,0 | Sí | 15,00 |

B5 Establecer los parámetros del tráfico

Para cada servicio «s», en cada entorno «e», deben establecerse los siguientes parámetros:

- intento de llamada en la hora cargada ($\text{Busy_Hour_Session_Attempts}_{es}$) (sesiones en la hora cargada): número medio de intentos durante la hora cargada;
- duración de la sesión ($\text{Session_Duration}_{es}$) (s): duración real media de la sesión durante la hora cargada;
- Factor de actividad ($\text{Activity_Factor}_{es}$) (adimensional): fracción de tiempo en que un usuario está activo *durante* una sesión.

B6 Calcular tráfico/usuario (Traffic/User_{es}) (segundos-sesión)

El tráfico por usuario puede calcularse como sigue:

$$\text{Traffic/User}_{es} = \text{Busy_Hour_Session_Attempts}_{es} \cdot \text{Session_Duration}_{es} \cdot \text{Activity_Factor}_{es}$$

B7 Calcular tráfico ofrecido/célula ($\text{Offered_Traffic/Cell}_{es}$) (segundos-sesiones)

Es el tráfico total cursado hacia una determinada célula del entorno «e» para el servicio «s» durante la hora cargada:

$$\text{Offered_Traffic/Cell}_{es} = \text{Traffic/User}_{es} \cdot \text{Users/Cell}_{es}$$

B8 Factor QoS

QoS tiene en cuenta la capacidad del sistema (Paso C), y el factor se fija a uno.

4.3 Capacidad del sistema (Paso C)

La capacidad del sistema refleja la velocidad de transmisión de datos de usuario media que puede lograrse (excluyendo la tara), normalizada para la anchura de banda y la célula, en una instalación completa de RLAN (un cierto número de células).

El recurso de espectro y la eficacia en su utilización determinan fundamentalmente la capacidad en términos de bit/s/instalación de una RLAN. Como se ha indicado anteriormente, en este estudio se ha supuesto un sistema con controlador central. Los factores dominantes son el número de canales de RF disponibles, la velocidad binaria por canal de RF, el factor de reutilización de frecuencias y la carga de los canales procedentes de otras redes que funcionan en los mismos canales dentro del alcance radioeléctrico.

La capacidad real de un sistema depende, además, de la tara de protocolo, de la relación entre dicha tara de protocolo y el tamaño de la carga útil de tráfico y del aislamiento efectivo del canal. Obsérvese que la capacidad neta del sistema (Mbit/s/MHz/célula) refleja la velocidad de transmisión de datos de usuario media estimada que puede lograrse en una instalación dentro de una determinada zona geográfica.

Caudal relativo al modo PHY para el ejemplo de cálculo del Apéndice 1

El Cuadro 3 muestra el caudal por encima del control de enlace de datos (DLC) cuando se utiliza un enlace con los distintos modos PHY. La velocidad de transmisión de datos de usuario efectiva total en la parte superior del DLC varía de 4,6 Mbit/s a 27,7 Mbit/s (excluyendo el modo opcional a 54 Mbit/s) por enlace cuando $C/(N + I)$ varía entre unos 8 dB y por encima de 21 dB, dependiendo de la propagación radioeléctrica real y de la situación de interferencia.

En el ejemplo de cálculo de la capacidad neta del sistema del Apéndice 1, se utiliza un valor del caudal del 70% para incluir los márgenes cuando se utilizan más MT. Evidentemente, el empleo de un sistema con una eficiencia del MAC inferior daría lugar a un aumento en las necesidades de espectro.

Reutilización de frecuencias e interferencia

El requisito C/I para cada modo PHY y la PER limita la reutilización de frecuencias en un entorno de alta capacidad. La adaptación del enlace aumenta la velocidad binaria media en una célula ya que puede seleccionarse un modo PHY pertinente dependiendo de las pérdidas de trayecto hacia el MT deseado; es decir, la potencia de portadora C y la interferencia cocanal, I . Normalmente, es necesario un factor de reutilización de frecuencias, FR , comprendido entre 3 y 5 para los entornos empresarial, doméstico y públicos cuando se supone una cobertura no continua. Sin embargo, en ciertas circunstancias puede que sea necesario un factor de reutilización mucho más elevado (por ejemplo, en torno a 12). Por consiguiente, se supone que la separación de AP a AP cocanal $SepAPco$ puede terminarse a partir de la separación de AP a AP, $SepAP$, en un esquema determinado. Una expresión simplificada (y optimista) es la siguiente:

$$SepAPco = SepAP \cdot FR^{0,5} \quad \text{m}$$

Modelos de pérdidas de trayecto

En el entorno empresarial se utiliza el modelo de pérdidas de trayecto de la Recomendación UIT-R P.1238 en el cálculo del ejemplo. Las pérdidas de trayecto dependientes de la distancia, pérdidas de transmisión básicas, L_b , se expresa de la forma siguiente:

$$L_b = -28 + N \log_{10}(d) + L_w + 20 \log_{10}(f) \quad \text{dB}$$

siendo:

d : distancia (m)

f : frecuencia portadora (MHz)

N : coeficiente de pérdida de potencia con la distancia dependiente de la frecuencia

L_w : un parámetro de atenuación de las paredes adicional.

Para frecuencias en torno a 5 GHz, $N = 28$. En el entorno doméstico se utiliza el mismo modelo. En el entorno en exteriores se emplea un modelo de pérdidas de trayecto basado en atenuación lineal, que es un modelo adecuado cuando no se considera ninguna pérdida adicional por las paredes. Este modelo describe la situación de propagación en salas abiertas, plazas de ciudades o zonas residenciales con bloqueos ligero (por árboles). El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$L_b = -28 + 20 \log_{10}(d) + \alpha \cdot d + 20 \log_{10}(f) \quad \text{dB}$$

siendo α un factor de atenuación lineal (dB/m).

4.3.1 QoS, retardo de transferencia y varianza del retardo de transferencia

Cuando funcionen en un entorno más o menos estacionario, los NWA deberán poder mantener los valores de velocidad de transmisión de datos y de QoS fijados al establecer la conexión. En la Recomendación UIT-T I.356 aparecen los parámetros de QoS aplicables.

Parámetros de QoS tales como retardo de transferencia y varianza del retardo tienen repercusión en el caudal total cuando se toman plenamente en cuenta la prioridad y la estructura del MAC. Sin embargo, para evitar complicaciones innecesarias en los cálculos se utilizan velocidades medias y de cresta sencillas para toda la variedad de aplicaciones.

4.3.2 Tráfico (velocidad binaria) por célula (Pasos C1-C3)

C1 Número de canales de servicio por célula (Service_Channels/Cell_{es})

Se trata del número de Service_Channels/Cell_{es} necesario para cursar el tráfico ofrecido por célula Offered_Traffic_Cell_{es}. Teniendo en cuenta las observaciones hechas anteriormente sobre la QoS, se supone que todo el tráfico disponible (ofrecido) de acuerdo con el Paso B7 será cursado por la red. Al igualar el tráfico ofrecido con el número de canales de servicio (Paso C1) se logra perfecta estructura del tráfico donde todos los distintos tipos de servicios se disponen en el formato MAC apropiado sin ninguna tara. Si se tiene en cuenta la QoS, debe aumentarse el número de canales de servicio para contemplar los fenómenos de bloqueo y de formación de colas, por ejemplo.

Al convertir el tráfico ofrecido (Paso B7) en canales de servicio (Paso C1), se contempla el hecho de que los trenes de tráfico deben corresponderse con números enteros de paquetes de capa PHY. Ello corresponde a un incremento marginal de la tara. Como las longitudes de los paquetes de las normas de la Recomendación UIT-R M.1450 varían (54-1 500 bytes para las normas consideradas), una forma sencilla de tener en cuenta de manera general la transmisión por paquetes RLAN es aproximar el tráfico ofrecido al (primer) decimal más elevado más próximo para obtener el número de canales de servicio. Por consiguiente, esta última cifra sería casi igual al tráfico ofrecido.

Obsérvese que un aumento en el número de canales de servicio aumentaría también las necesidades de espectro.

C2 Determinar la velocidad binaria del canal de servicio (Service_Channel_Bit_Rate_{es}) (Mbit/s)

Es la Service_Channel_Bit_Rate_{es} necesaria para cursar la velocidad binaria neta de usuario, Net_User_Bit_Rate_{es}, es decir la velocidad de transmisión de datos de usuario de un servicio «s». Debido a la modularidad de la velocidad binaria del canal de servicio (por ejemplo, los modos PHY del Cuadro 3), es posible que la Service_Channel_Bit_Rate_{es} sea igual o superior a la correspondiente Net_User_Bit_Rate_{es} (por ejemplo, la velocidad de transmisión de datos de aplicación indicada para una clase de servicio en el Cuadro 8). Un servicio caracterizado por una velocidad de cresta de 4 Mbit/s, por ejemplo, exigiría el modo PHY de 6 Mbit/s.

C3 Tráfico por célula (Traffic/cell T_{es}) (Mbit/s/célula)

El tráfico (velocidad binaria para cada servicio «s») se calcula como:

$$T_{es} = \text{Service_Channels/Cell}_{es} \cdot \text{Service_Channel_Bit_Rate}_{es}$$

4.3.3 Obtención de la capacidad del sistema (Pasos C4-C5)

C4 Parámetros de la capacidad neta del sistema (Net_System_Capability) (S_{es})

S_{es} es una medida de la capacidad del sistema de una tecnología específica. A menudo, los valores necesarios para determinar S_{es} se obtienen a partir de los resultados de complejas simulaciones del sistema. En el Apéndice 1 aparece un ejemplo de cálculo de la capacidad del sistema. Los puntos siguientes explican alguno de los pasos de los que consta el cálculo de la capacidad del sistema y sugieren diversos modelos de propagación para obtener estimaciones sobre la cobertura y la interferencia cocanal.

Los cálculos del ejemplo consideraron un nivel de fiabilidad del 90% contra el ruido y la interferencia en el borde de la célula. Por consiguiente, se logra una fiabilidad de cobertura de zona típica del 95% cuando se aplican los márgenes de desvanecimiento e interferencia.

C5 Calcular S_{es} (Mbit/s/MHz/célula)

La capacidad neta del sistema (Paso C5) se utiliza para calcular la anchura de banda necesaria. Dividiendo el tráfico (Paso C3) por el Paso C5 se obtiene la anchura de banda requerida (Pasos D1, D2 y, en consecuencia, Paso D3). El valor de la capacidad neta del sistema se obtiene mediante evaluaciones en cada uno de los cuatro entornos. En este caso se tienen en cuenta las pérdidas de trayecto, la interferencia, los márgenes de fiabilidad, el caudal, etc. Para seguir el método del UIT-R y poder establecer comparaciones, deben utilizarse modelos de pérdidas de trayecto bien conocidos.

En el ejemplo de cálculo del Apéndice 1, este valor se calcula dividiendo la velocidad de transmisión por la multiplicación de la anchura de banda por canal por el factor de utilización de las frecuencias radioeléctricas.

4.4 Cálculos del espectro (Paso D)

A continuación ya se pueden obtener los parámetros restantes de la ecuación (1) a fin de determinar las necesidades de espectro para cada entorno.

D1 Calcular la componente F_{es} individual (MHz)

Para el enlace ascendente o enlace descendente, $F_{es} = T_{es}/S_{es}$

D2 Repetir el proceso de cálculo en sentido contrario

Se repiten los Pasos A2 a D1.

D3 Combinar las componentes F_{es} de enlace ascendente y de enlace descendente (MHz)

Para cada servicio «s» en cada entorno «e»:

$$F_{es} = (F_{es} \text{ de enlace ascendente} + F_{es} \text{ de enlace descendente})$$

D4 Determinar el número de canales (n)

Se trata de un redondeo por exceso, necesario para obtener un número entero de canales:

$$n = \text{int} \{(\sum F_{es} / \text{anchura de banda de canal}) + 0,5\}$$

D5 Espectro total

La suma del espectro necesario para cada entorno «e» viene dada por la ecuación (1) (combinación de enlace ascendente y enlace descendente), redondeada a un múltiplo de la anchura de banda de canal.

El Apéndice 1 contiene ejemplos de cálculos con todos los pasos necesarios en formato de hoja electrónica.

A continuación se calcula el espectro total necesario para los diversos entornos basándose en los niveles de penetración supuestos para el año 2010.

Para el ejemplo de cálculo, se supone que las atribuciones de espectro permiten una canalización de 20 MHz, de forma que se minimizan las bandas de guarda en los bordes de la banda. Si se necesitan bandas de guarda más amplias, aumentará evidentemente el espectro total necesario.

Los requisitos de espectro resultantes en este ejemplo son 420 MHz, 340 MHz y 320 MHz para los entornos comercial, doméstico y público, respectivamente (véase el Apéndice 1). Estas necesidades son válidas para cada uno de estos entornos limitados geográficamente y son mutuamente exclusivas. Puede considerarse que estos requisitos son los mínimos necesarios puesto que los cálculos se han basado en la norma con el protocolo MAC más eficaz de las normas indicadas en la Recomendación UIT-R M.1450.

Apéndice 1 al Anexo 1

Ejemplos de aplicación de la metodología

En este Apéndice aparecen ejemplos de la aplicación de la metodología a los entornos comerciales, públicos y domésticos (el acceso de área amplia se trata de forma similar). El cálculo se lleva a cabo mediante una hoja electrónica utilizando las cifras de parámetros y capacidad del sistema indicadas. En el cálculo de la capacidad neta del sistema se utiliza un valor del caudal del 70%. Un protocolo MAC de caudal más bajo daría lugar a una mayor necesidad de espectro. Los requisitos de espectro calculados pueden considerarse como los mínimos necesarios para soportar los parámetros de tráfico y densidad de usuarios. El diagrama de radiación de antena debe ser omnidireccional para todos los terminales y puntos de acceso.

La hoja electrónica para el cálculo de la capacidad neta del sistema en el entorno de oficinas va seguida de otra hoja para realizar la posterior estimación de las necesidades de espectro de acuerdo con los pasos del método. Los requisitos de espectro resultantes en este ejemplo son de 420 MHz, 340 MHz y 320 MHz para los entornos comercial, doméstico y público, respectivamente.

En primer lugar se consideran los servicios. En el Cuadro 8 se enumeran los servicios previstos con sus características supuestas. Para simplificar los cálculos, se han agrupado en un número reducido de categorías y para cada entorno se ha dado a las aplicaciones los atributos necesarios para los cálculos de espectro mostrados en los Cuadros 9 a 11.

CUADRO 9

Parámetros de tráfico previstos para entornos comerciales

| Entorno comercial | Sentido del enlace principal | Velocidad media de transmisión de datos (Mbit/s) | QoS | Velocidad de transmisión de datos de cresta (Mbit/s) | Sesiones de hora cargada/h (promediada a lo largo de una semana) | Duración de la sesión (s) | Factor de actividad |
|-------------------|------------------------------|--|-----|--|--|---------------------------|---------------------|
| MiMM | Ascendente y descendente | 2 | Sí | 4 | 0,5 | 300 | 0,45 |
| HMM | Ascendente y descendente | 2 | No | 10 | 0,5 | 600 | 0,16 |
| HiMM | Ascendente y descendente | 5 | No | 8 | 0,3 | 1 200 | 0,35 |
| VHMM | Ascendente y descendente | 7 | Sí | 20 | 0,1 | 1 800 | 0,5 |
| VHiMM | Ascendente y descendente | 5 | Sí | 15 | 0,1 | 1 500 | 0,4 |

CUADRO 10

Parámetro de tráfico previstos para entornos públicos

| Entorno público | Sentido del enlace principal | Velocidad media de transmisión de datos (Mbit/s) | QoS | Velocidad de transmisión de datos de cresta (Mbit/s) | Sesiones de hora cargada/h (promediada a lo largo de una semana) | Duración de la sesión (s) | Factor de actividad |
|-----------------|------------------------------|--|-----|--|--|---------------------------|---------------------|
| MiMM | Ascendente y descendente | 1 | Sí | 2 | 0,5 | 90 | 0,45 |
| HMM | Ascendente o descendente | 2 | No | 10 | 0,2 | 300 | 0,1 |
| HiMM | Ascendente y descendente | 3 | No | 8 | 0,4 | 90 | 0,3 |
| VHMM | Ascendente o descendente | 6 | Sí | 12 | 0,06 | 600 | 0,5 |
| VHiMM | Ascendente y descendente | 5 | Sí | 15 | 0,06 | 900 | 0,4 |

CUADRO 11

Parámetro de tráfico previstos para entornos domésticos

| Entorno doméstico | Sentido del enlace principal | Velocidad media de transmisión de datos (Mbit/s) | QoS | Velocidad de transmisión de datos de cresta (Mbit/s) | Sesiones de hora cargada/h (promediada a lo largo de una semana) | Duración de la sesión (s) | Factor de actividad |
|-------------------|------------------------------|--|-----|--|--|---------------------------|---------------------|
| MiMM | Ascendente y descendente | 2 | No | 4 | 0,2 | 90 | 0,45 |
| HMM | Ascendente o descendente | 2 | No | 10 | 0,3 | 600 | 0,12 |
| HiMM | Ascendente y descendente | 4 | No | 8 | 0,3 | 150 | 0,3 |
| VHMM | Ascendente o descendente | 10 | Sí | 20 | 0,1 | 3 600 | 0,5 |
| VHiMM | Ascendente y descendente | 5 | Sí | 15 | 0,1 | 3 600 | 0,4 |

Estos parámetros de tráfico se utilizan en los Pasos B5-B7. A continuación, el Cuadro 12 muestra el cálculo mediante hoja electrónica de la capacidad neta del sistema para el entorno comercial. Las cifras para todos los entornos considerados en este ejemplo se resumen en el Cuadro 13.

CUADRO 12

Capacidad neta del sistema para el entorno comercial

| | Entorno comercial | | | | | | |
|---|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| | Modo 1 | Modo 2 | Modo 3 | Modo 4 | Modo 5 | Modo 6 | Modo adaptativo |
| Modulación | MDP-2 | MDP-2 | MDP-4 | MDP-4 | MAQ-16 | MAQ-16 | Adaptativa |
| Velocidad binaria | 6 | 9 | 12 | 18 | 27 | 36 | 23,37 |
| Recinto | Oficina | Oficina | Oficina | Oficina | Oficina | Oficina | |
| p.i.r.e. (dBm) | 23,0 | 23,0 | 23,0 | 23,0 | 23,0 | 23,0 | |
| Pérdida de trayecto, L_b (dB) | -93,9 | -92,4 | -91,2 | -88,5 | -86,0 | -84,0 | |
| Número de paredes AP-MT | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | |
| Atenuación de pared, L_{pared} (dB) | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,4 | 8,4 | |
| Separación AP-MT (m) | 18,0 | 17,0 | 16,0 | 14,0 | 13,0 | 12,0 | 15,0 |
| Potencia recibida, P_r (dBm) | -69,4 | -67,9 | -66,7 | -64,0 | -61,5 | -59,5 | |
| Superficie de la célula (m ²) | 1 017,9 | 907,9 | 804,2 | 615,8 | 530,9 | 452,4 | 1 017,9 |
| Frecuencias (GHz) | 5,3 | 5,3 | 5,3 | 5,3 | 5,3 | 5,3 | |
| Factor de reutilización de frecuencias | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| Velocidad/canal (Mbit/s) | 4,2 | 6,3 | 8,4 | 12,6 | 18,9 | 25,2 | 11,81 |
| Umbral $C/(N+I)$ (dB) | 9,0 | 11,0 | 13,0 | 15,0 | 19,0 | 21,0 | |
| P_r especificada (dBm) | -85,0 | -83,0 | -81,0 | -79,0 | -75,0 | -73,0 | |

CUADRO 12 (Fin)

| | Entorno comercial | | | | | | |
|--|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-----------------|
| | Modo 1 | Modo 2 | Modo 3 | Modo 4 | Modo 5 | Modo 6 | Modo adaptativo |
| Margen de desvanecimiento (dB) | 15,5 | 15,1 | 14,3 | 14,9 | 13,5 | 13,5 | |
| σ log normal | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | |
| Valor M | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | |
| Margen de desvanecimiento, 90% $M \cdot \sigma$ (dB) | 7,7 | 7,7 | 7,7 | 7,7 | 7,7 | 7,7 | |
| Pérdida máxima, $L_{m\acute{a}x}$ (dB) | 109,5 | 107,5 | 105,5 | 103,5 | 99,5 | 97,5 | |
| Número de paredes AP-AP | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | |
| Número de paredes Apco | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | |
| L_{pared} (dB) | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | 14,9 | |
| Máxima separación de AP (m) | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 | 50,0 |
| Separación APco (m) | 87,1 | 87,1 | 87,1 | 77,6 | 77,6 | 77,6 | |
| I del enlace descendente, $I_{descendente}$ (dBm) | -88,5 | -89,0 | -89,4 | -88,4 | -89,0 | -89,3 | |
| Margen del sistema, 90% | 2,1 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 7,4 | 6,5 | 2,8 |
| Área de modo (%) | 11 | 10 | 19 | 8 | 8 | 44 | 100 |
| Capacidad del sistema (Mbit/s) | 0,04 | 0,06 | 0,08 | 0,19 | 0,28 | 0,38 | 0,16 |

CUADRO 13

Capacidad neta del sistema

| | Entorno comercial | Entorno doméstico | Entorno público |
|--|-------------------|-------------------|-----------------|
| Net_System_Capability (Mbit/s/MHz/cellule) | 0,16 | 0,160 | 0,290 |
| Zona de cobertura (m ²) | 1 018 | 707 | 5 027 |

Por último, el Cuadro 14 muestra los cálculos mediante hoja electrónica de los requisitos de espectro. Estos requisitos son válidos para cada uno de los entornos (geográficamente limitados) y, por consiguiente, son mutuamente exclusivos.

CUADRO 14

Necesidades de espectro para las RLAN a 5 GHz y cálculos para el año 2010

| Paso | Parámetro | Entorno comercial | Entorno doméstico | Entorno público | Comentarios |
|------|--|-------------------|-------------------|-----------------|---|
| A3 | Geometría de la célula (m) | 18 | 15 | 40 | Definida por la distancia de separación de los AP |
| A4 | Superficie de la célula (m ²) circular | 1 018 | 707 | 5 027 | |

CUADRO 14 (Continuación)

| Paso | Parámetro | Entorno comercial | Entorno doméstico | Entorno público | Comentarios |
|------|--|-------------------|-------------------|-----------------|---|
| B2 | Superficie por usuario (m ²) | 14 | 100 | 10 | |
| B3 | Nivel de penetración (%) | 30 | 30 | 20 | |
| B4 | Usuarios/célula | | | | = B3 · A4/B2 |
| | MiMM | 22 | 3 | 101 | |
| | HMM | 22 | 3 | 101 | |
| | HiMM | 22 | 3 | 101 | |
| | VHMM | 22 | 3 | 101 | |
| | VHiMM | 22 | 3 | 101 | |
| B5 | Intentos de llamada en la hora cargada (/hora cargada) promediados a lo largo de una semana típica | | | | Promedio obtenido entre un gran número de usuarios |
| | MiMM | 0,5 | 0,2 | 0,5 | |
| | HMM | 0,5 | 0,3 | 0,2 | |
| | HiMM | 0,3 | 0,4 | 0,4 | |
| | VHMM | 0,1 | 0,3 | 0,06 | |
| | VHiMM | 0,1 | 0,3 | 0,06 | |
| B5 | Duración de la sesión (s) | | | | |
| | MiMM | 300 | 90 | 90 | |
| | HMM | 600 | 600 | 600 | |
| | HiMM | 1 200 | 150 | 90 | |
| | VHMM | 1 800 | 3 600 | 600 | |
| | VHiMM | 1 500 | 3 600 | 900 | |
| B5 | Factor de actividad de las comunicaciones por paquete | | | | Definido como la fracción del tiempo en que se utiliza el recurso |
| | MiMM | 0,45 | 0,45 | 0,45 | |
| | HMM | 0,16 | 0,12 | 0,1 | |
| | HiMM | 0,35 | 0,3 | 0,3 | |
| | VHMM | 0,5 | 0,5 | 0,5 | |
| | VHiMM | 0,4 | 0,4 | 0,4 | |
| B6 | Tráfico/usuario (segundos-sesión) | | | | |
| | MiMM | 67,5 | 8,1 | 20,25 | |
| | HMM | 48 | 21,6 | 6 | |
| | HiMM | 126 | 18 | 10,8 | |
| | VHMM | 90 | 540 | 18 | |
| | VHiMM | 60 | 432 | 21,6 | |

CUADRO 14 (Continuación)

| Paso | Parámetro | Entorno comercial | Entorno doméstico | Entorno público | Comentarios |
|------|---|-------------------|-------------------|-----------------|--|
| B7 | Tráfico ofrecido/célula (actividad relativa en la hora cargada/célula) | | | | |
| | MiMM | 0,412 | 0,007 | 0,568 | |
| | HMM | 0,293 | 0,018 | 0,168 | |
| | HiMM | 0,77 | 0,015 | 0,303 | |
| | VHMM | 0,55 | 0,450 | 0,505 | |
| | VHiMM | 0,366 | 0,360 | 0,606 | |
| B8 | QoS | | | | La QoS se tiene en cuenta en la capacidad del sistema (Paso C), por consiguiente en este caso el factor se fija al valor 1 |
| | MiMM | 1 | 1 | 1 | |
| | HMM | 1 | 1 | 1 | |
| | HiMM | 1 | 1 | 1 | |
| | VHMM | 1 | 1 | 1 | |
| | VHiMM | 1 | 1 | 1 | |
| C1 | Número de canales de servicio/célula necesarios para cursar el tráfico ofrecido/célula | | | | Redondeado de acuerdo con el Paso C1 |
| | MiMM | 0,5 | 0,1 | 0,6 | |
| | HMM | 0,3 | 0,1 | 0,2 | |
| | HiMM | 0,8 | 0,1 | 0,4 | |
| | VHMM | 0,6 | 0,5 | 0,6 | |
| | VHiMM | 0,4 | 0,4 | 0,7 | |
| C2 | Velocidad binaria del canal de servicio necesaria para cursar la velocidad binaria neta de usuario (Mbit/s) | | | | Estas cifras se fijan por los modos PHY en el Cuadro 3 |
| | MiMM | 6 | 6 | 6 | |
| | HMM | 12 | 12 | 12 | |
| | HiMM | 12 | 12 | 12 | |
| | VHMM | 27 | 36 | 36 | |
| | VHiMM | 27 | 36 | 36 | |
| C3 | Tráfico (Mbit/s/célula) | | | | Se trata del tráfico real transmitido |
| | MiMM | 3 | 0,6 | 3,6 | |
| | HMM | 3,6 | 1,2 | 2,4 | |
| | HiMM | 9,6 | 1,2 | 4,8 | |
| | VHMM | 16,2 | 18 | 21,6 | |
| | VHiMM | 10,8 | 14,4 | 25,2 | |

CUADRO 14 (Continuación)

| Paso | Parámetro | Entorno comercial | Entorno doméstico | Entorno público | Comentarios |
|------|---|-------------------|-------------------|-----------------|--|
| C4 | Parámetros de la capacidad neta del sistema | | | | Se fijaron los parámetros y se utilizó una simulación con hoja electrónica para obtener la capacidad en el Paso C5 |
| C5 | Capacidad neta del sistema (Mbit/s/MHz/célula) | | | | Representa la media de todos los modos debido a la adaptación a la velocidad, obtenida a partir de la simulación |
| | MiMM | 0,16 | 0,16 | 0,29 | |
| | HMM | 0,16 | 0,16 | 0,29 | |
| | HiMM | 0,16 | 0,16 | 0,29 | |
| | VHMM | 0,16 | 0,16 | 0,29 | |
| | VHiMM | 0,16 | 0,16 | 0,29 | |
| D1 | Componente F_{es} $F_{es} = T_{es}/S_{es}$ (enlace ascendente/enlace descendente) | | | | |
| | MiMM | 18,75 | 3,8 | 12,4 | |
| | HMM | 22,5 | 7,5 | 8,3 | |
| | HiMM | 60,0 | 7,5 | 16,6 | |
| | VHMM | 101,250 | 112,5 | 74,5 | |
| | VHiMM | 67,5 | 90,0 | 86,9 | |
| D2 | Se repite el proceso para realizar el cálculo en el otro sentido (enlace descendente/enlace ascendente) | | | | |
| | MiMM | 18,75 | 3,8 | 12,4 | |
| | HMM | 0 | 0 | 0 | |
| | HiMM | 60,0 | 7,5 | 16,6 | |
| | VHMM | 0 | 0 | 0 | |
| | VHiMM | 67,5 | 90,0 | 86,9 | |

CUADRO 14 (Fin)

| Paso | Parámetro | Entorno comercial | Entorno doméstico | Entorno público | Comentarios |
|------|---|-------------------|-------------------|-----------------|---|
| D3 | F_{es} para el servicio «s» combinando las componentes de enlace ascendente y de enlace descendente | | | | |
| | MiMM | 37,5 | 7,5 | 24,8 | |
| | HMM | 22,5 | 7,5 | 8,3 | |
| | HiMM | 120 | 15,0 | 33,1 | |
| | VHMM | 101,25 | 112,5 | 74,5 | |
| | VHiMM | 135,0 | 180,0 | 173,8 | |
| D4 | Múltiplo entero n de la anchura de banda del canal | 21 | 17 | 16 | Se suponen canales de 20 MHz |
| D5 | Suma de F_e para todos los servicios en el entorno, redondeo por exceso de acuerdo con el Paso D4 (MHz) | 420 | 340 | 320 | Es el espectro necesario total resultante (ejemplo) para cada entorno ($\Sigma F_{es} \cdot n$) |