

INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS

Capítulo 1

“No es suficiente saber lo que hay que decir, también hay que saber cómo decirlo” - Aristóteles

1.1. Introducción

Las comunicaciones radioeléctricas se caracterizan por el empleo del aire y las ondas de radio como soporte de la comunicación a diferencia de lo que ocurre con sus homólogas cableadas. No requieren de un medio físico, como un cable de cobre ó una fibra óptica, para el establecimiento de la comunicación. En efecto, la idea que subyace a toda red radio es la conectividad total, tanto temporal (conexión disponible en cualquier momento) como espacial (conexión disponible en cualquier lugar).

En general, una red radio o red inalámbrica es un conjunto de nodo que se comunican entre sí utilizando el aire como medio de transmisión. Esto es lo que a partir de ahora pasaremos a llamar WLAN (Wireless LAN).

Wireless Local Area Network o WLAN significa "red en un área local sin cables". Se trata de un sistema flexible de comunicación de datos en el que la luz infrarroja y la radiofrecuencia son las sustitutas de los cables.

El estándar IEEE 802.11 está orientado al desarrollo de Redes de Área Local inalámbrica con aplicación dentro de espacios interiores. Esto no ha sido impedimento de que existan aplicaciones Wi-Fi más allá de su concepción inicial, llegándose incluso a pensar en la posibilidad de dar cobertura inalámbrica a áreas metropolitanas, cubriendo por entero una pequeña ciudad.

En los últimos años las redes de área local inalámbricas (WLAN, Wireless Local Areal Network) están ganando mucha popularidad, que se ve acrecentada conforme sus prestaciones aumentan y se descubren nuevas aplicaciones para ellas. En un principio eran soluciones muy verticales, tenían un elevado precio y además ofrecían un ancho de banda muy pequeño, lo que hacía las tecnologías móviles poco adecuadas para casi la totalidad de aplicaciones corporativas.

El hecho de utilizar una banda de frecuencias no regulada y la interoperación entre dispositivos de diversos fabricantes, junto con la reducción de precios, ha hecho que su aplicación y expectativas de uso se hayan desarrollado enormemente.

Actualmente, la evolución de estas redes ha llegado a tal punto que sus prestaciones son comparables, e incluso en algunos casos superiores, a las de las redes cableadas tanto en costo como velocidad de transmisión y estabilidad.

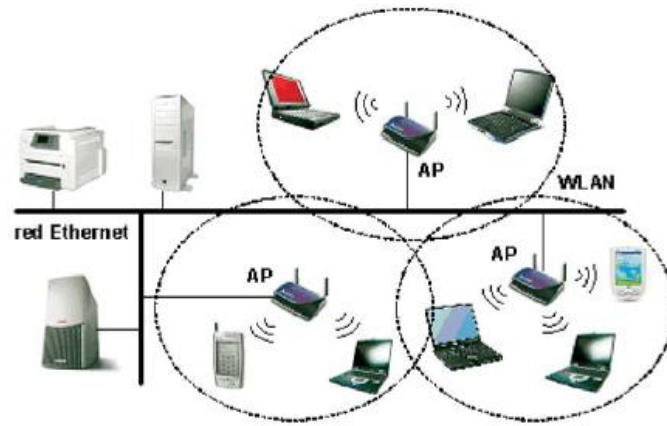


Figura 1.1: Representación de una WLAN (Wireless Local Area Network).

A continuación pasemos a ver las ventajas e inconvenientes de estas redes inalámbricas.

Las ventajas que poseen las WLAN son:

- **Flexibilidad.** Dentro de la zona de cobertura de la red inalámbrica, los nodos que la formen se podrán comunicar sin necesidad de estar unidos por ningún cable. Por este motivo, la tecnología inalámbrica permite llevar a la red a puntos de difícil acceso para un LAN cableada.
- **Poca Planificación.** En una red inalámbrica no nos tenemos que preocupar sobre la distribución física de las máquinas que la componen como ocurre en una red cableada. Sólo nos tenemos que preocupar de que dichas máquinas se encuentren dentro de la zona de cobertura de dicha red.
- **Diseño.** Los receptores son bastante pequeños y pueden integrarse dentro de un dispositivo y llevarlo en un bolsillo, etc. También presentan un consumo de energía muy reducido.
- **Escalabilidad.** Los sistemas de WLAN pueden ser configurados en una variedad de topología para satisfacer las necesidades de las instalaciones y aplicaciones específicas. Las configuraciones son muy fáciles de cambiar y además resulta muy fácil la incorporación de nuevos usuarios de la red.
- **Robustez frente a eventos inesperados.** Como puede ser el tropezón de un usuario con un cable, terremotos, etc. Ante los que una red cableada podría llegar a quedar completamente inutilizada. En estos casos, una red inalámbrica puede sobrevivir bastante mejor a este tipo de percances.
- **Uso del espectro libre.** La mayor parte de las redes inalámbricas operan en un rango de frecuencias de uso libre, es decir, no están

sujetas al pago de ningún tipo de licencias para su uso. El usar esa porción del espectro libre de cánones abarata considerablemente su uso.

Los inconvenientes de las WLAN se muestran a continuación:

- **Calidad de servicio.** Las redes inalámbricas poseen una mayor tasa de error debida a las interferencias. Ésta se puede situar alrededor de 10⁻⁴ frente a las 10⁻¹⁰ de las redes cableadas, lo que significa que hay seis órdenes de magnitud de diferencia (aproximadamente de cada megabit transmitido, un kilobit será erróneo). Esto puede llegar a ser imposible de implantar en algunos entornos industriales con fuertes campos electromagnéticos y ciertos requisitos de calidad.
- **Restricciones.** Estas redes requieren de la asignación de una banda dentro del espectro radioeléctrico. Éste está muy saturado hoy día y las redes deben de amoldarse a las reglas que existan dentro de cada país.
- **Mayor coste.** Aunque se están abaratando los costes asociados a estas tecnologías, todavía resultan más caras que las redes cableadas en la mayoría de los casos.
- **Seguridad e integridad de la información que se transmite.** Este campo está bastante criticado en casi todos los estándares actuales que, según dicen, no se debe de utilizar en entornos críticos en lo que un "robo" de datos pueda ser peligroso. Por otra parte, este tipo de comunicaciones podría interferir en otras redes de comunicación, y esto hay que tenerlo en cuenta en el diseño.

	WLAN	LAN cableada
Velocidad de transmisión	11-54 Mbps	100Mbps o más
Costes de instalación	Medio	Alto
Movilidad	Sí	No
Flexibilidad	Muy alta	Baja
Escalabilidad	Alta	Muy Alta
Seguridad	Alta	Alta
Demanda	Baja	Muy Alta
Configuración e instalación	Fácil	Media
Presencia en empresas	Baja	Alta
Integridad	Alta	Alta
Coste de expansión	Medio	Alto
Licencia	No está regulado	No

Tabla 1.1: Comparación entre las redes WLAN y las redes LAN convencionales.

Las comunicaciones inalámbricas constituyen el futuro de las comunicaciones. Las formas de vida actuales, se encaminan a una movilidad constante, y para ello, la utilización de redes cableadas, como es evidente, no constituyen el futuro. Al igual que la utilización de los teléfonos móviles está siendo un 'boom' en la actualidad, se espera que las redes inalámbricas sustituyan a las redes cableadas en un breve período.

1.2. Tecnologías Inalámbricas.

Tradicionalmente, las redes de comunicaciones se han venido clasificando según su extensión en redes LAN, MAN y WAN. Debido a la portabilidad de los equipos inalámbricos, aparecen además un nuevo tipo de redes: las redes PAN o redes de área personal.

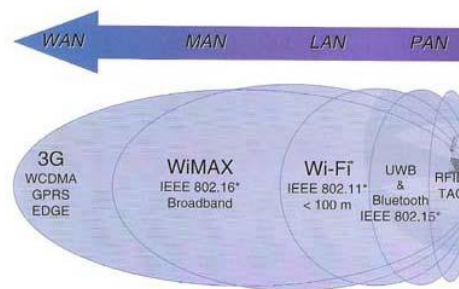


Figura 1.2: Clasificación de las redes inalámbricas según su extensión.

Las primeras comunicaciones vía radio se clasificaban en entornos WAN, en los que se emplea un enlace radioeléctrico para interconectar dos o más puntos entre sí. Un claro ejemplo es la comunicación vía satélite en la que se emplea un repetidor que orbita alrededor de la Tierra (satélite) para enlazar estaciones terrenas. Conforme avanzó la tecnología y a medida que los usuarios fueron demandando servicios más interactivos se fue poniendo de manifiesta la necesidad de nuevas redes con mayor ancho de banda y mejor capacidad bidireccional. La solución vino de la mano de las tecnologías inalámbricas MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution System*, Sistema de multipunto de distribución por microondas) y LMDS (*Local Multipoint Distribution System*), Sistema de multipunto de distribución local). Estas tecnologías tienen un inconveniente común, y es que la movilidad de los terminales de usuarios es muy compleja. Por ello, fue necesario el despliegue

de nuevas tecnologías, redes de telefonía móvil, donde la movilidad de los terminales de usuario era el objetivo fundamental. Estas nuevas tecnologías ofrecían, en un primer momento, comunicaciones de voz (GSM) y, tras la explosión de internet, también permiten las comunicaciones móviles de datos (UMTS).

Las numerosas ventajas de las comunicaciones inalámbricas pronto hicieron que se planteara su utilización en entornos corporativos reducidos. Se trataba de fusionar aspectos como el gran ancho de banda de las redes locales, la libertad de movimientos y la flexibilidad típicas de las redes móviles. Pronto se obtuvo la respuesta: las WLAN.

Las comunicaciones inalámbricas también tienen aplicación en distancias más cortas, dando lugar a las redes WPAN. Estas redes nacieron con el propósito de conseguir puestos de trabajos sin cables. El mayor exponente de las redes WPAN es la tecnología Bluetooth, aunque existen otras como son: IrDA, HomeRF o WiMedia. También Zigbee se utiliza en estos entornos, aunque está más orientada a aplicaciones de menor tasa binaria.

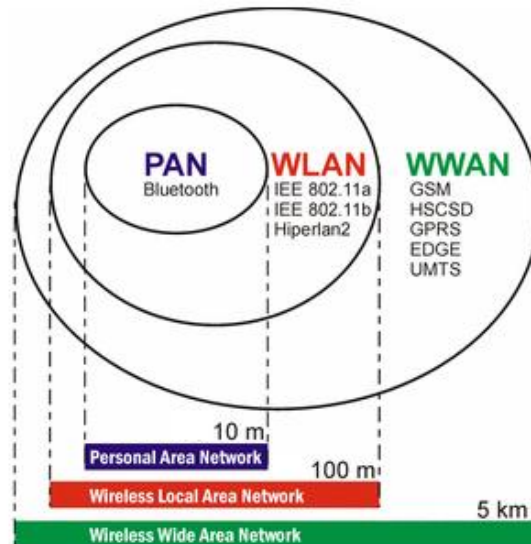


Figura 1.3: Clasificación de las redes inalámbricas teniendo según su alcance.

Como hemos visto en párrafos anteriores, existen multitud de tecnologías inalámbricas, cada una con una particularidad que la hacen más adecuada a un entorno determinado.

Desde el punto de vista de la velocidad, encontramos tecnologías de banda ancha y banda estrecha en función del caudal de información que sea capaz de manejar. Para completar esta clasificación, se puede definir un tercer grupo de banda media, en el que se engloban las tecnologías de características híbridas entre las dos categorías anteriores.

DENOMINACIÓN	ANCHURA DE BANDA
Banda estrecha	De 10 a 100Kbps
Banda media	De 100 a 2000Kbps
Banda ancha	De 2 a 100Mbps (o más)

Tabla 1.2: Tipos de tecnologías inalámbricas según su anchura de banda.

Los valores mostrados en la figura anterior no son fijos, sino que evolucionan en la misma manera que lo hace las tecnologías.

A continuación se muestra un cuadro comparativo de las distintas tecnologías inalámbricas empleadas en la actualidad.

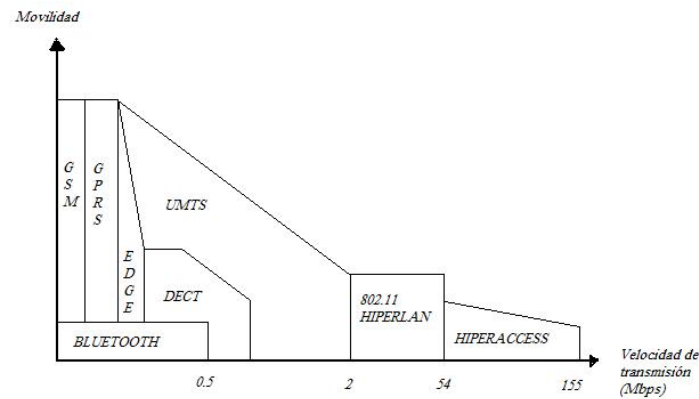


Figura 1.4: Comparación de movilidad y velocidad de las tecnologías inalámbricas.

Como se puede observar en la gráfica anterior, los rangos de actuación de estos estándares son distintos si atendemos a características como la velocidad de transmisión o la movilidad permitida. Hay que destacar, que estos datos sólo sirven para hacernos una idea aproximada de la realidad.

A continuación se presenta un estudio más profundo de las tecnologías mencionadas anteriormente.

1.2.1. Bluetooth

Bluetooth es un enlace de radio de bajo coste, baja potencia y corto alcance para conectividad inalámbrica entre dispositivos móviles y puntos de acceso a redes de área extensa y redes de área local (WAN/LAN). Incluye tanto una especificación hardware como una arquitectura software.

Bluetooth opera en la banda de frecuencia ISM de 2,4 GHz, que no requiere licencia, y este hecho es a la vez una fortaleza y un potencial problema. Debido a que otros numerosos dispositivos inalámbricos y protocolos operan en esta banda, bluetooth ha estado aquejado por problemas de interferencia. Para resolver este problema, los diseñadores Bluetooth utilizaron soluciones de salto de frecuencia, en la que encontraron otro conjunto de problemas diferentes. Algunos países tienen una banda ISM más estrecha que otros, y los dispositivos Bluetooth desarrollados para operar en estos países son incompatibles con los dispositivos Bluetooth de los restantes.

Bluetooth tiene tres modos de seguridad; el de seguridad más baja no tiene ningún mecanismo de seguridad, mientras que el de seguridad más alta obliga a utilizar mecanismo de autenticación, autorización y cifrado en el nivel de enlace.

Bluetooth presenta las siguientes características:

- Posibilidad de utilización en todo el mundo.
- Gestión de datos y de voz.
- La habilidad de establecer conexiones y redes *ad hoc*
- La habilidad de resistir a las interferencias procedentes de otras fuentes que operan en la banda abierta.
- Un consume de potencia despreciable, en comparación con otros dispositivos de uso similar.
- En estándar de interfaz abierta.
- Un bajo coste por unidad, comparado con los equivalentes no basados en Bluetooth.

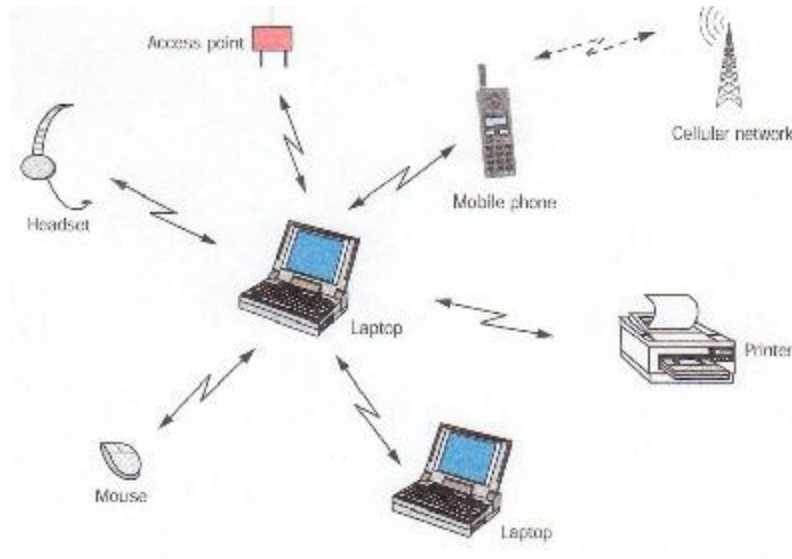


Figura 1.5: Ejemplos de Bluetooth.

Bluetooth utiliza un sistema FH/TDD (salto de frecuencia/división de tiempo dúplex), en el que el canal queda dividido en intervalos de $625\mu\text{s}$, llamados slots, donde cada salto de frecuencia es ocupado por un slot. Esto da lugar a una frecuencia de salto de 1600 veces por segundo, en la que un paquete de datos ocupa para la emisión y otro para la recepción pudiendo ser utilizados alternativamente, dando lugar a un esquema de tipo TDD.

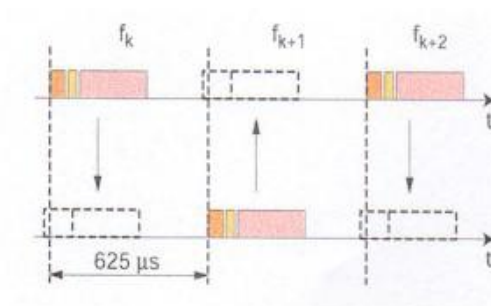


Figura 1.6: Esquema TDD.

La información que se intercambia entre dos unidades Bluetooth se realiza mediante un conjunto de slots que forman un paquete de datos. Cada paquete comienza con un código de acceso de 72 bits, que se deriva de la identidad maestra, seguido de un paquete de datos de cabecera de 54 bits. Éste contiene importante información de control, como tres bits de acceso de dirección, tipo de paquete, bits de control de flujo, bits para la retransmisión automática de la pregunta, y chequeo de errores de campos de cabeza. Finalmente, el paquete que contiene la información, que puede seguir al de cabeza tiene una longitud de 0 a 2745 bits. En cualquier caso, cada paquete que se intercambia en el canal está precedido por el código de acceso.

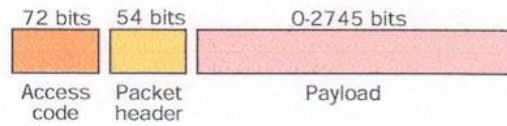


Figura 1.7: Paquete de datos intercambiados entre dos unidades Bluetooth.

Como se mencionó anteriormente Bluetooth opera en una banda de frecuencia que está sujeta a considerables interferencias, por lo que el sistema ha sido optimizado para evitar éstas interferencias. En este caso, la técnica de salto de frecuencia es aplicada a una alta velocidad y una corta longitud de los paquetes (1600 saltos/segundo, para slots-simples).

Los paquetes de datos están protegidos por un esquema ARQ (repetición automática de consulta), en el cual los paquetes perdidos son automáticamente retransmitidos, aun así, con este sistema, si un paquete de datos no llegase a su destino, sólo una pequeña parte de la información se perdería. La voz no se retransmite nunca, sin embargo, se utiliza un esquema de codificación muy robusto. Éste esquema, que está basado en una modulación variable de declive delta (CSVD), sigue la forma de la onda de audio y es muy resistente a los errores de bits. Éstos errores son percibidos como ruido de fondo, que se intensifica si los errores aumentan.

1.2.2. Wimedia/UWB

Algunas aplicaciones, como las comunicaciones multimedia o la transmisión de imágenes digitales de alta resolución, requieren anchos de bandas y calidad de servicio con mayor grado de garantía del que Bluetooth es capaz de ofrecer. Para estos casos la solución es WiMedia, estandarizado por el IEEE como 802.15.3.



Figura 1.8: Aplicaciones de UWB.

WiMedia actúa en la misma banda de frecuencia que Bluetooth (2,4 GHz), y permite seleccionar 5 tasas binarias: 11Mbps, 22Mbps, 33Mbps, 44Mbps y 55Mbps. La potencia transmitida es aproximadamente de 8 dBm y el enlace de las comunicaciones está comprendido entre 5 y 55 m. Además, proporciona características como el control de potencia, seguridad, coexistencia con Bluetooth, WLAN y QoS, que la hacen ideal para el transporte multimedia de alta calidad, la interconexión de dispositivos y las redes ad-hoc.

UWB es una tecnología basada en la transmisión de pulsos muy cortos. Los principales beneficios de UWB en comparación con otras tecnologías son su mayor robustez frente a la propagación multicamino, menor potencia de transmisión, localización de dispositivos y flexibilidad en la relación distancia y ancho de banda. Sin embargo, requieren de antenas de gran ancho de banda y relojes muy precisos.

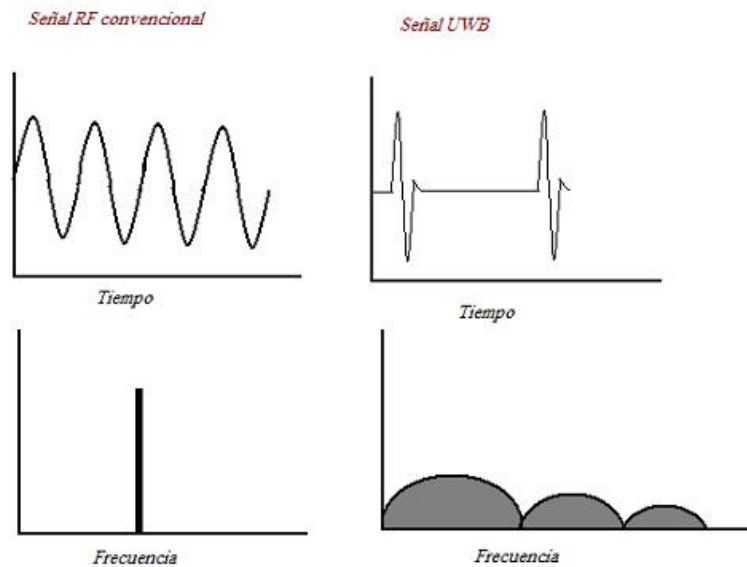


Figura 1.9: Transmisión UWB.

UWB soporta distintos niveles de seguridad. El primer modo, el más sencillo, supone no implementar ninguna seguridad en absoluto. El nivel siguiente consiste en crear una lista de control de acceso (ACL, Access Control List) del terminal utilizando su dirección MAC. Un nivel superior utiliza autenticación criptográfica, protección de la información e integridad de la misma. Finalmente, el grado de seguridad más se basa en la utilización de certificado digital para la autenticación, garantizar la integridad de los datos y comprobar el no repudio.

1.2.3. Zigbee.

En algunas aplicaciones en las que participan pequeños dispositivos como sencillos sensores o actuadores no suelen ser necesarias altas tasas binarias.

Estos sistemas se caracterizan por comunicaciones esporádicas en las que el mayor volumen de información apenas supera unas pocas decenas o centenas de kilobit por segundo y por requerir un alcance limitado a pocas decenas de metros, lo que facilita la portabilidad de la red y la instalación de estos tipos de dispositivos.

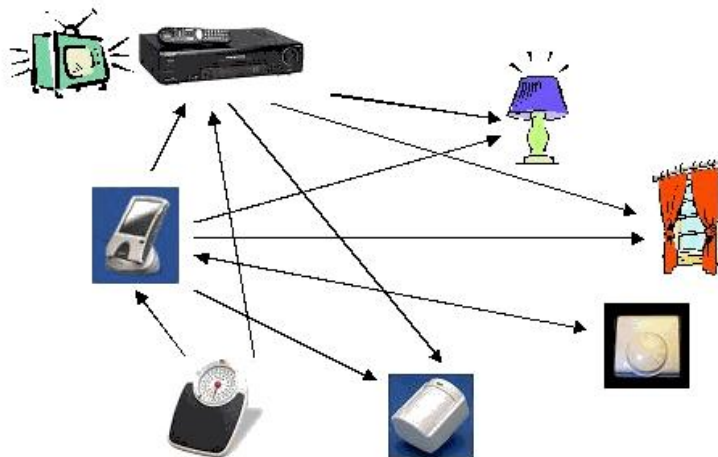


Figura 1.10: Aplicaciones del estándar 802.15.4.

El estándar IEEE 802.15.4, más conocido como Zigbee, es una especificación para aplicaciones de control remoto de dispositivos, juguetes y, en general, cualquier dispositivo que requiere un bajo coste y un bajo consumo de potencia en entornos reducidos como un hogar.

Zigbee puede trabajar a tres bandas de frecuencias diferentes: 868 Mhz, 915 MHz y 2,4 GHz. Las características principales de este estándar se resumen a continuación:

Velocidad de transmisión	250Kbps (2,4GHz), 40Kbps (915MHz) y 20Kbps (868Kbps)
Acceso al medio	CSMA-CD
Topologías	Estrella, punto a punto
Espacio de direcciones	64 bits
Alcance	Entre 5 y 500m dependiendo del entorno, aunque un valor típico es 50m

Tabla 1.3: Características de la tecnología Zigbee.

1.2.4. HomeRF

HomeRF es una especificación para redes inalámbricas que proporciona interconexión entre productos electrónicos de consumo dentro del hogar (con un alcance de unos 50 m.) y que opera en la banda de los 2,4GHz.

Soporta comunicaciones de voz y datos mediante el empleo del protocolo SWAP (Shared Wireless Access Protocol). La nueva especificación SWAP se espera que permita incrementar la velocidad de transmisión de SWAP a los 10Mbps e incluso más.

Una red HomeRF puede configurarse en modo *ad hoc* o infraestructura. En el primer caso, solamente se soporta la comunicación de datos entre dispositivos que se conecten punto a punto para, por ejemplo, compartir ficheros de una manera sencilla. En esta configuración, todos los nodos de la red se comparten por igual y el control de ésta está distribuido entre todos ellos.

En aplicaciones con mayor nivel de interactividad, es necesario un punto de control que se encargue de la coordinación del conjunto. Además el punto de control proporciona funcionalidades como el control de potencia. En esta configuración, el ordenador del usuario desempeña un papel fundamental ya que éste estará conectado por una parte a internet, con lo que constituye la pasarela de conexión entre cualquier dispositivo que forma la red y el exterior y, por otra parte, al punto de control.

En cuanto al resto de dispositivos que forman la red, podemos distinguir dos tipos de clientes:

- *Isócronos*: son los que requieren un ancho de banda garantizado para poder establecer una conexión. Este tipo de clientes siempre se dirige al punto de control cada vez que quieren establecer una comunicación con otro dispositivo.
- *Asíncronos*: se trata de dispositivos que no necesitan del punto de control para establecer una comunicación con otro dispositivo.

A nivel físico, HomeRF emplea un espectro ensanchado por salto en frecuencia (FHSS), al igual que Bluetooth, pero con 50 saltos por segundo frente a los 1600 de Bluetooth. Cuando la transmisión en un canal es imposible debido a la interferencia, se cambia de frecuencia y se transmite.

El nivel MAC se ha optimizado para el entorno del hogar y permite soportar tanto servicios de voz, para el que emplea un esquema TDMA capaz

de soportar hasta 6 conexiones de voz simultáneas basadas en el estándar DECT, como de datos para el que opta por un acceso al medio CSMA/CA típico de las redes WLAN.

HomeRf admite la comunicación de datos hasta 2Mbps y permite conectar hasta un total de 127 dispositivos.

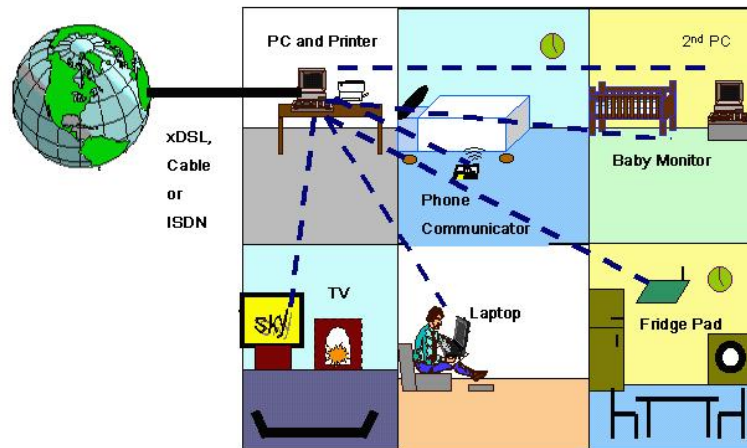


Figura 1.11: Aplicaciones de la tecnología HomeRF.

El primer mecanismo de seguridad proporcionados por HomeRF es la utilización de una dirección IP de 24 bits que da lugar a una subred concreta para cada hogar. De este modo, se evita el acceso de usuarios externos a dicha red. Además, como complemento, se cifran los datos con una clave de 56 bits.

	Bluetooth	HomeRF
Aplicaciones	Sustitución de cables para comunicaciones de dispositivos personales	Wireless Home LAN
Frecuencia	2,4GHz ISM	2,4GHz ISM
Velocidad	1Mbps	1-2Mbps
Alcance	10-100m	100m
Capacidad	8 dispositivos por piconet	128 dispositivos por red
Canales de voz	8 dispositivos por piconet	6 canales
Disponibilidad	Ahora (con limitaciones)	Ahora (con limitaciones)

Tabla 1.4: Comparativa entre tecnología Bluetooth y HomeRF.

1.2.5. IrDA

Otra tecnología inalámbrica muy extendida es IrDA (Infrared Data Association), que especifica un conjunto de estándares para la comunicación en la banda infrarroja.

IrDA se emplea para proporcionar conectividad inalámbrica entre dispositivos. Se trata de enlaces punto a punto con visión directa entre los dos extremos, por lo que su aplicación principal es la conexión de periféricos a un PC en las que el cable se sustituye por un canal inalámbrico. De hecho, las distancias alcanzables se hayan en torno al metro, con velocidades comprendidas entre 9600bps y 16Mbps.

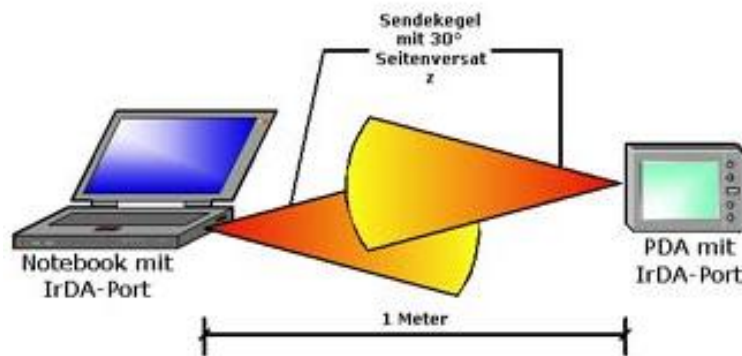


Figura 1.12: Ejemplo de comunicación entre dos dispositivos utilizando la tecnología IrDA.

A continuación presentamos una comparación entre distintas tecnologías WPAN estudiadas como son IrDA, Bluetooth y HomeRF:

	IrDA	Bluetooth	HomeRF
Tasa binaria (kbps)	4.000	1.000	2.000
Alcance (m)	1	10	50
Direccionalidad	30°(direccional)	360°(omnidireccional)	360°(omnidireccional)
Número de dispositivos	2	8	127
Tráfico isócrono	Sí	Sí	Sí
Canales de voz	1	3	6
Penetración de paredes	No	Sí	Sí
Espectro	850nm(óptico)	2,4Ghz(RF)	2,4GHz(RF)
Topología	Punto a punto	Punto a multipunto	Red

Tabla 1.5: Comparativa entre las tecnologías Bluetooth, HomeRF e IrDA.

1.2.6. DECT

El DECT constituye un sistema de acceso a la red telefónica pública y/o redes privadas desde equipos portátiles, con alcances de servicios inferiores a 1Km desde la BS (*Base Station*, estación base). Hay varios tipos de subsistemas DECT, en función de las aplicaciones:

- DECT/BCT (Business Cordless Telecommunications), para aplicaciones comerciales de centralitas privadas sin hilos con transmisión de voz y datos.
- DECT/RS (Residential System), para aplicaciones de gran público de teléfonos sin cordón, en entorno doméstico.
- DECT/Telepoint, para aplicaciones de teléfono público (cabinas) inalámbrico: acceso a la red telefónica pública con el terminal del usuario.

El DECT es un sistema de control descentralizado y con asignación dinámica de canales, que utiliza multiacceso TDMA con dúplex temporal, es decir, el radiocanal está constituido por una sola portadora con intervalos de transmisión y recepción separados.

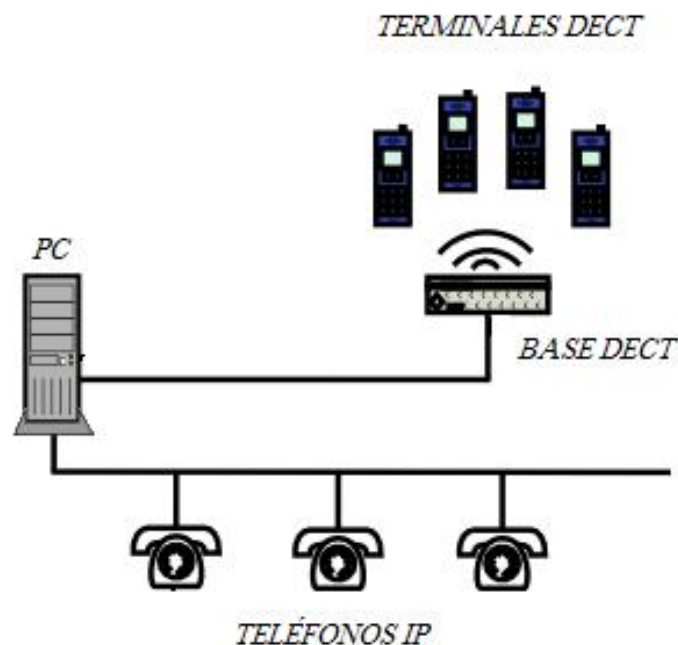


Figura 1.13: Ejemplo de topología de una red DECT.

Se emplea con códec vocal ADPCM de 32Kbps y no se ha incorporado ecualización del canal ya que por ser la zona de servicio, en general, de tamaño reducido, la dispersión de retardo es muy pequeña, y además se abaratan los equipos.

El DECT utiliza actualmente la banda de frecuencia de 1,88 a 1,9GHz, habiéndose previsto una extensión de la banda entre 1,85 y 1,88GHz. Se han asignado 10 portadoras con una separación de canales de 1,728Hz, por lo que la anchura de banda ocupada es de 17,28MHz. La modulación utilizada es GMSK con $B_b \cdot T = 0,5$ y la velocidad de bits es igual a 1.152Kbps.

LA SOLUCIÓN DECT

Banda de frecuencias	1880-1900MHz
Canalización	1.278MHz
Portadoras radio	10
Canales de portadora	12
Potencia emitida	250mW
Modulación	GMSK
CODEC-voz	ADPCM-32Kbps
Velocidad de transmisión	1152Kbits
Técnica de acceso	TDMA/TDD/CDCS
Normalización	ETSI/CNAF-UN-49

Tabla 1.6: Principales características del sistema DECT.

1.2.7. GSM

GSM (Global System for Mobile Communications) es una plataforma de red inteligentes 100 % digital que ofrece capacidades y servicios que superan los sistemas celulares convencionales. GSM proporciona a sus usuarios las siguientes ventajas:

- Posibilidad de localización y seguimiento automáticos, en ámbitos nacional e internacional.
- Número telefónico de abonado único.
- Gran capacidad de tráfico con una utilización del espectro optimizada.
- Mejor calidad de servicio y mayores facilidades que las proporcionadas por los sistemas actuales.
- Posibilidad de coexistencia con los sistemas analógicos actuales en los mismos emplazamientos de estaciones de base.

- Posibilidad de interconexión con la ISDN.
- Inclusión de servicios no telefónicos.
- Posibilidad de utilización de terminales de usuario de reducido tamaño.
- Seguridad y confidencialidad en los accesos a la red y en la transmisión de la información.
- Mayor eficacia de las baterías de los portátiles.
- Utilización de sistemas de señalización avanzados.
- Coste para el usuario no mayor que en los sistemas actuales.

La tecnología GSM utiliza una banda de frecuencia común, reservada en todos los países participantes. Consta de una estructura celular digital. El modo de acceso a la red de GSM se lleva a cabo mediante el acceso múltiple TDMA de banda estrecha. Emplea un algoritmo de codificación de fuente de pequeña velocidad de bits. Esta tecnología también lleva intrínseco un control de potencia y de transmisión/recepción. Utiliza arquitectura OSI y señalización avanzada (CCITT Número 7).

La arquitectura funcional define las entidades que tienen a su cara la ejecución de funciones definidas del sistema. Los interfaces establecen fronteras de repartición funcional. Se han definido dos interfaces básicos, que se denominan interfaces de *línea* e interfaz *aéreo* o interfaz *radio*.

El interfaz de *línea*, denominado *A* separa el Centro de Conmutación (MSC) del Sistema de Estación Base (BSS). Hay un interfaz opcional *A-bis*, entre el Controlador de Estación Base (BSC) y el Transceptor de Estación Base (BTS), los cuales pueden estar físicamente separados. El interfaz radio *Um* delimita la frontera entre la Estación Base (BS) y las Estaciones Móviles (MS).

Las bandas de frecuencias asignadas al sistema son:

ENLACE	FRECUENCIA
Enlace MS-BS	890-915MHz
Enlace BS-MS	935-960MHz

Tabla 1.7: Frecuencias asignadas en GSM.

Estas bandas están divididas en 124 pares de portadoras separadas entre sí 200KHz.

La arquitectura funcional se presenta en la siguiente figura y hace referencia al sistema de estación base, terminales móviles, centro de conmutación y registros de localización de abonados fijo/visitantes.

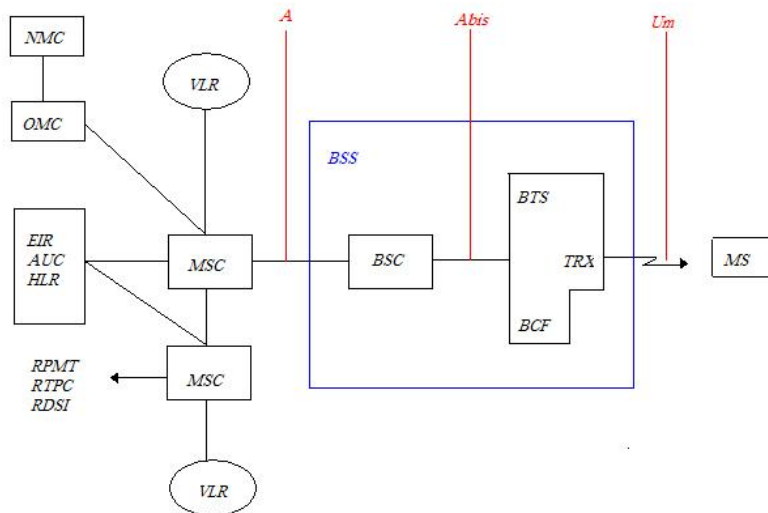


Figura 1.14: Arquitectura funcional de GSM.

1.2.8. GPRS

El servicio general de paquetes por radio GPRS (General Packet Radio Service) soporta el acceso a internet, a un LAN y a redes de conmutación de paquetes X.25, con velocidad de 115,2Kbps (máximo 171,2Kbps utilizando los 8 slots a 21,4Kbps) con un tiempo de establecimiento de la conexión nulo, vía radio utilizando el protocolo IP y el mismo subsistema de estaciones base (BSS) que para los servicios de voz, pero con pasarelas específicas (nodos IP), por lo que se requiere una actualización hardware, para el encaminamiento de la información a través de una red de datos.

GPRS, que junto con EDGE constituye la llamada 2.5G, resulta muy adecuado para aplicaciones tales como pagos electrónicos, telemetría, navegación WAP, etc.

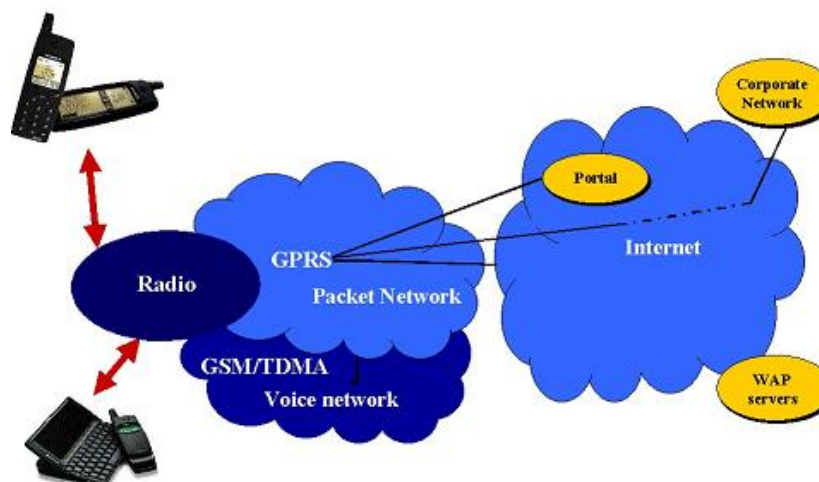


Figura 1.15: Acceso y aplicaciones de GPRS.

GPRS es compatible con todos los protocolos de comunicaciones de datos ampliamente utilizados, incluyendo IP, por lo que se podrá conectar cualquier fuente de datos.

GPRS procura utilizar la infraestructura de red GSM en la medida que sea posible. Sin embargo, deben introducirse nuevos elementos y actualizar algunos de los ya existentes con el fin de soportar la comunicación de paquetes. Las modificaciones exigidas por GPRS en la red GSM se presentan en una tabla a continuación:

ELEMENTO	MODIFICACIÓN NECESARIA
BTS	Actualización del software
BSC	Además de la actualización del software, es necesaria la instalación de un nuevo componente hardware llamado PCU(Packet Control Unit) que encamina el tráfico de datos por la red GPRS.
Red Troncal	Implantación de nuevos elementos de red (SGSN y el GGSN)
Bases de datos	Actualización del software para soportar los nuevos modelos de llamada y las nuevas funcionalidades.

Tabla 1.8: Modificaciones exigidas por GPRS en la red GSM.

Los terminales de usuarios son completamente distintos a los de GSM. Los terminales de GPRS pueden ser de tres tipos, en función de si soportan servicios GSM y GPRS simultáneamente o no.

La red GPRS encapsula todos los paquetes de red utilizando su propio protocolo de encapsulamiento, llamado GTP (GPRS Tunneling Protocol), para garantizar la seguridad en el backbone de la red y simplificar los mecanismos de encaminamiento y entrega de paquetes.

GPRS define nueve tipos de calidad de servicio, en función de la tasa de pico ofrecida.

1.2.9. EDGE

EDGE(Enhanced Data rates for GSM Evolution) es el siguiente paso en la evolución de GSM hacia la tercera generación permitiendo a las redes actuales ofrecer prestaciones similares a las redes 3G gracias a una mayor velocidad de transmisión y a una más eficiente utilización del espectro.

EDGE soporta tasas binarias reales de 384Kbps, aunque el límite teórico se encuentra en los 473,6Kbps. Para ello introduce nuevos esquemas de modulación y codificación que, junto con técnicas de control del enlace, pueden emplearse tanto en servicios de conmutación de circuitos (voz) como en servicios de conmutación de paquetes (datos). EDGE emplea una modulación 8PSK/GMSK y una codificación alternativa sobre una portadora GSM.

A continuación presentamos una tabla resumen de las diferencias entre los estándares GPRS y EDGE:

	GPRS	EDGE
Velocidad de símbolo	270Kbaudio/s	270Kbaudio/s
Velocidad de modulación	270Kbps	810Kbps
Modulación	GMSK	8PSK/GMSK
Velocidad de usuario	160Kbps	476,6Kbps

Tabla 1.9: Comparación entre la tecnología GPRS y EDGE.

Una de las principales ventajas de EDGE es que se puede añadir sobre las redes actuales GSM/TDMA/GPRS con una inversión relativa pequeña y un bajo riesgo. EDGE utilizará la actual infraestructura 2G de un modo muy eficaz: la planificación de la red de radio no se verá demasiado afectada; se podrán reutilizar muchas de las instalaciones de las estaciones bases existentes; los nodos de conmutación de paquetes GPRS no se verán afectados, ya que funcionan de modo independiente de la tasa de bits del usuario; asimismo, cualquier modificación que se realice en los nodos de conmutación se limitará a actualizar el software. Los canales de EDGE también serán adecuados para los servicios 2G estándar y no será necesario asignar canales fijos entre servicios EDGE, GPRS y GSM/TDMA.

El siguiente paso en la evolución hacia UMTS consiste en mejorar la red de acceso radio, en lo que se conoce como GERAN (GSM Radio Access Network).

1.2.10. UMTS

El concepto UMTS define la llamada tercera generación de las comunicaciones móviles que se caracteriza por la acentuación del grado de personalización de estas comunicaciones, la oferta de nuevos servicios, especialmente los multimedia y cobertura universal con múltiples estructuras celulares.

Los objetivos de UMTS son los siguientes:

- Sustentación de velocidades de usuario asta 144Kbps con cobertura y movilidad completas en zonas extensas y hasta 2Mbps en situación de movilidad limitada y cobertura local.

- Prestación de servicios con terminales fijos y móviles, portátiles y vehículo.
- Elevado rendimiento espectral.
- Alta calidad de voz con velocidad de bits reducida.
- Posibilidad de introducción flexible de nuevos servicios tales como los de datos por paquetes de alta velocidad, multimedia y asimétricos.
- Compatibilidad con los sistemas de segunda generación GSM y DCS: funcionamiento en modo dual e itinerancia GSM/UMTS.

Para el estándar UMTS se han establecido dos categorías de asignaciones de frecuencias, como sigue:

1. Frecuencias no emparejadas (*unpaired* para aplicaciones que requieren funcionamiento en dúplex temporal (TDD). Se han reservado dos sub-bandas con una anchura de banda total de 35 MHz:

1.900-1.920MHz

2.010-2.015MHz

En estas aplicaciones, cada radiocanal estará constituido por una sola frecuencia portadora.

2. Frecuencias emparejadas (*paired*) para aplicaciones con dúplex en frecuencia (FDD), en las que cada radiocanal está formado por una pareja de frecuencias con una separación dúplex de 90MHz. Se han reservado otras dos sub-bandas, de 60MHz de anchura cada una que se dividen en cuatro segmentos:

1.920-1.980MHz

2.110-2.170MHz

Para la interfaz radio se propusieron varias alternativas que se redujeron a dos: CDMA de banda ancha (W-CDMa) y de banda estrecha TDMA-CDMA (TD-CDMA). La W-CDMA tiene ventajas para cobertura de grandes áreas pero no resulta adecuada para el funcionamiento en TDD debido a la complejidad de gestión de la potencia en las estaciones base y móviles. La TD-CDMA puede operar mejor en el multiacceso TDD y al mismo tiempo permite un funcionamiento asimétrico (necesario en algunas aplicaciones de UMTS como, por ejemplo, el acceso a internet) y cierto grado de asignación por demanda. Además disponiendo la estructura temporal de 8 intervalos por trama, permite cierta compatibilidad con la norma GSM.

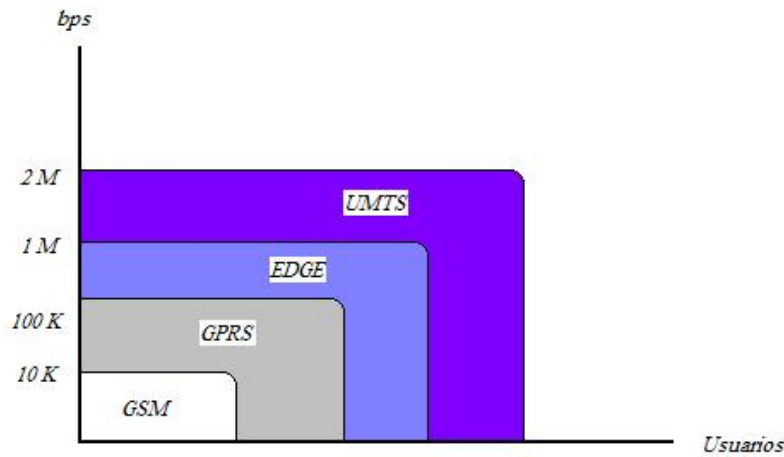


Figura 1.16: Evolución de las actuales redes GSM.

1.2.11. HiperLAN

HiperLAN fue desarrollado por la ETSI entre 1991 y 1996 con el objetivo de superar las velocidades entre 1 y 2Mbps que, por aquel entonces, ofrecía IEEE 802.11.

La principal ventaja de HiperLAN es que proporciona un ancho de banda dedicado entre 5,1GHz y 5,3GHz, por lo que no es necesaria ninguna técnica de espectro ensanchado. En este ancho de banda se definen 5 canales de amplitud fija y en los que se emplea una velocidad de señalización de 23.5MHz.

Otra de las ventajas de HiperLAN es su encaminamiento de redes *ad-hoc*: si el destino está fuera del alcance del nodo origen, se emplea nodos intermedios para hacer llegar el paquete al destino deseado.

Los inconvenientes más importantes de HiperLAN son que no proporciona ningún soporte para servicios isócronos, no especifica mecanismos de punto de acceso y que, hasta la actualidad, no se ha probado en redes grandes. Para resolver estos problemas se desarrolló el estándar HiperLAN/2.

1.2.12. HiperLAN/2

El estándar HIPERLAN/2 tuvo su origen en el proyecto WAND (Demostrador de Red ATM Inalámbrica), que fue parte del programa de Servicios y tecnologías de Comunicaciones Avanzadas (ACTS) de la comunidad europea.

HIPERLAN/2 fue diseñado teniendo en cuenta los requerimientos de una red multimedia inalámbrica, al cual debería cumplir con los requisitos de calidad de servicio (QoS) tal como lo hace una red ATM cableada. Entre los

servicios que pueden ser soportados por la red HIPERLAN/2 se encuentran:

- Conferencias multimedia.
- Telefonía/audio.
- Aplicaciones generales de redes de computadoras.
- Bases de datos multimedia.
- Seguridad y monitoreo.
- Navegación por internet.
- Teletrabajo.

A continuación se muestra el modelo de referencia genérico de HiperLAN/2:

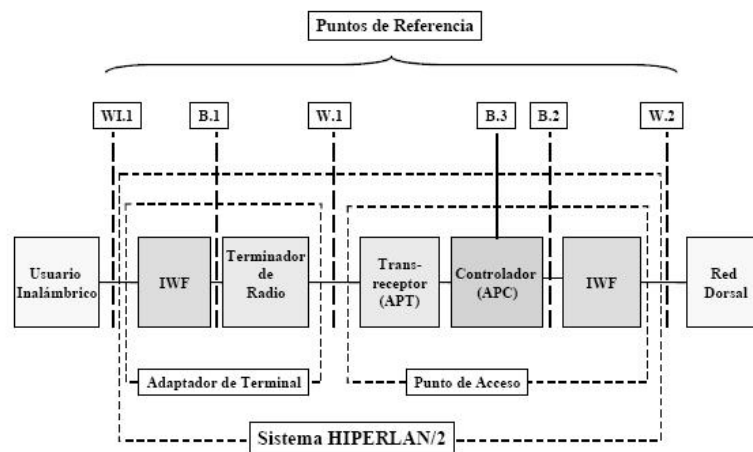


Figura 1.17: Modelo de referencia HiperLAN/2.

HiperLAN/2 puede conectar terminales portátiles con redes de banda ancha basadas en IP, ATM y otras tecnologías. Para servir como red de acceso, opera en modo centralizado, a través de un punto de acceso fijo. También proporciona la capacidad de trabajar en modo directo, para construir una red *Ad-hoc*; en este caso se selecciona (dinámicamente) un terminal como Controlador Central (CC).

Las redes HiperLAN están diseñadas para trabajar en las bandas:

- 5.150-5.350GHZ
- 5.470-5.725GHZ

La configuración de referencia de la cadena de transmisión se muestra en la siguiente figura:

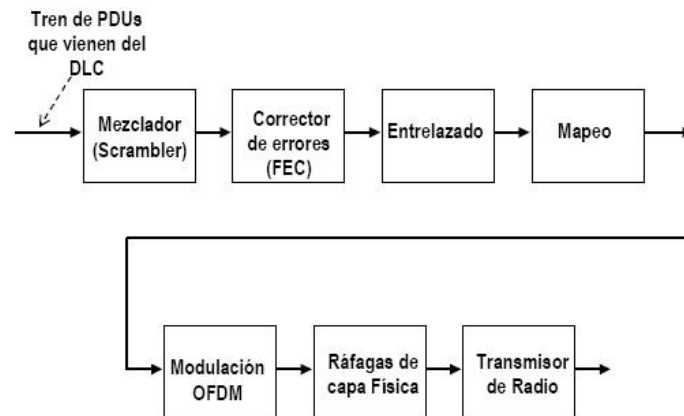


Figura 1.18: Modelo transmisor HiperLAN/2.

La tasa efectiva de transmisión puede ser variada desde 6 hasta 54Mbps, usando varios alfabetos de señales para la modulación de las subportadoras OFDM y aplicando diferentes tasas de codificación convolucional para el canal, tal como se muestra a continuación.

Modulación	Tasa codificación R	Tasa Tx (Mbps)
BPSK	1/2	6
BPSK	3/4	9
QPSK	1/2	12
QPSK	3/4	18
16QAM	9/16	27
16QAM	3/4	36
64QAM	3/4	54

Tabla 1.10: Tasas de bits para HiperLAN/2.

1.2.13. Hiperaccess

Hiperaccess hace referencia a redes de acceso fijo inalámbrico de banda ancha para aplicaciones multimedia. El estándar Hiperaccess se desarrolló en relación con el grupo de trabajo 802.16 del IEEE, que es responsable a su vez del estándar WIMAX.

Es una variante de largo alcance para acceso fijo en configuración punto a multipunto y de alta velocidad, llegando a los 25Mbps, para uso residencial.

Hiperaccess puede funcionar tanto en bandas libres como en bandas bajo licencia.

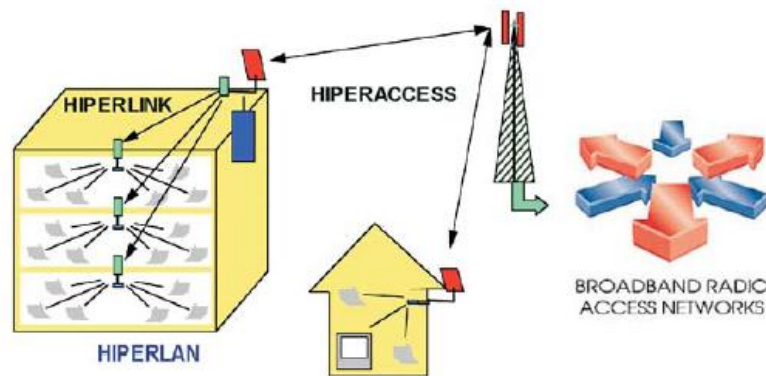


Figura 1.19: Ejemplo de los estándares HIPERLAN, HIPERLINK e HIPER-ACCESS.

1.2.14. Hiperlink

Hiperlink define enlaces radio de alta capacidad (hasta 155Mbit/s) para la interconexión de redes Hiperaccess o de puntos de acceso HiperLAN con un alcance inferior a los 200m.

Su función no es la de dar servicios a equipos con movilidad, sino a equipos estáticos y vía radio. La banda que tiene asignada está centrada en los 17GHz.

	HiperLAN	HiperLAN/2	Hiperaccess	Hiperlink
Aplicación	WLAN	WATM	WLL	WP2P
Rango de frecuencias	5 GHz	5 GHz	5 GHz	17 GHz
Velocidad	23,5Mbps	20Mbps	20Mbps	155Mbps

Tabla 1.11: Comparación entre los distintos estándares.

1.2.15. WiMAX

A pesar de que el proyecto para la creación de este nuevo estándar se gestó hace 6 años en el IEEE, no fue hasta abril de 2002 cuando la primera versión del mismo, la 802.16, su publicó, y se refería a enlaces fijos de radio con visión directa (LoS) entre transmisor y receptor utilizando eficientemente varias frecuencias dentro de la banda de 10 a 66GHz.

Un año más tarde, en marzo de 2003, se ratificó una nueva versión, el 802.16a, y fue entonces cuando WiMAX, como una tecnología de banda ancha inalámbrica, empezó a cobrar relevancia.

Tiene un alcance desde 40 a 70 kilómetros, operando en la banda de 2 a 11GHz, parte del cual es de uso común y no requiere licencia para su operación. Es válido para topologías punto a multipunto y, opcionalmente, para redes en malla, y no requiere línea de visión directa.

Emplea las bandas de 3,5GHz y 10,5GHz, válidas internacionalmente, que requieren licencia en Estados Unidos, y las de 2,4GHz y 5,725-5,825GHz que son de uso común y no requieren disponer de licencia alguna.

Un aspecto importante del estándar 802.16x es que define un nivel MAC (*Media Access Layer*) que soporta múltiples enlaces físicos (PHY). Esto es esencial para que los fabricantes de equipos puedan diferenciar sus productos y ofrecer soluciones adaptadas a diferentes entornos de uso.

	WiMAX 802.16	WiFi 802.11	UMTS
Velocidad	124Mbps	11-54Mbps	2Mbps
Cobertura	40-70Km	300 m	10Km
Licencia	Si/No	No	Si
Ventajas	Velocidad y alcance	Velocidad y precio	Rango y movilidad
Desventajas	Interferencias	Bajo alcance	Lento y caro

Tabla 1.12: Comparativa de WiMAX frente a otras tecnologías.

El estándar 802.16 puede alcanzar una velocidad de comunicación de más de 100Mbit/s en un canal con un ancho de banda de 28MHz (en la banda de 10 a 66GHz), mientras que el 802.16a puede llegar a los 0Mbit/s, operando en un rango de frecuencias más bajo (¡11GHz). Es un claro competidor de LMDS.

Estas velocidades tan elevadas se consiguen gracias a utilizar la modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) con 256 subportadoras, la cual puede ser implementada de diferentes formas, según cada operador, siendo la variante de OFDM empleada un factor diferenciador del servicio ofrecido. Esta técnica de modulación es la que también se emplea para la TV digital, sobre cable o satélite, así como para Wi-Fi (802.11a) por lo que está suficientemente probada. Soporta los modos FDD y TDD para facilitar su interoperabilidad con otros sistemas celulares o inalámbricos.

Soporta varios cientos de usuarios por canal, con un gran ancho de banda y es adecuada tanto para tráfico continuo como a ráfagas, siendo independiente del protocolo; así, transporta IP, Ethernet, ATM, etc. y soporta múltiples servicios simultáneamente ofreciendo Calidad de Servicio (QoS) en 802.16e, por lo cual resulta adecuado para voz sobre IP (VoIP), datos y vídeo.

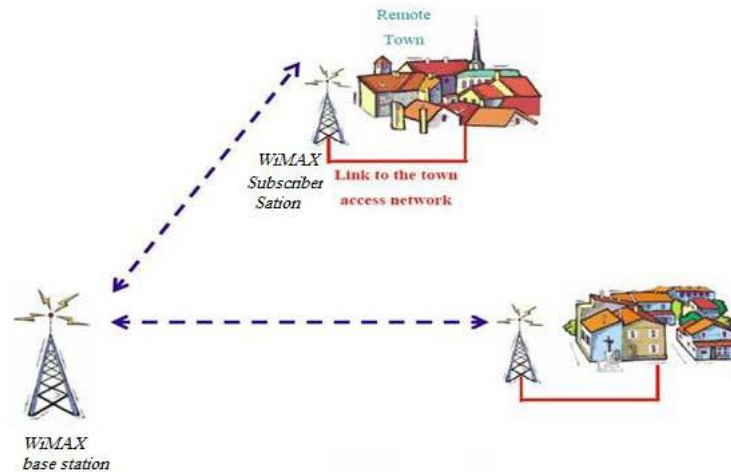


Figura 1.20: Ejemplo de enlace WiMAX.

Otra característica de WiMAX es que soporta las llamadas antenas inteligentes (smart antenas), propias de las redes celulares de 3G, lo cual mejora la eficiencia espectral, llegando a conseguir 5 bps/Hz, el doble que 802.11a. Estas antenas inteligentes emiten un haz muy estrecho que se puede ir moviendo, electrónicamente, para enfocar siempre al receptor, con lo que se evitan las interferencias entre canales adyacentes y se consume menos potencia al ser un haz más concentrado.

En cuanto a seguridad, incluye medidas para la autenticación de usuarios y la encriptación de los datos mediante los algoritmos Triple DES (128 bits) y RSA (1.024 bits)