

1 WLAN: REDES DE ÁREA LOCAL INALÁMBRICAS

1.1 INTRODUCCIÓN.

Una WLAN (red de área local inalámbrica) es un sistema de comunicaciones de datos que transmite y recibe datos utilizando ondas electromagnéticas, en lugar del par trenzado, coaxial, o fibra óptica utilizados en LAN convencionales, y que proporciona conectividad inalámbrica de igual a igual (peer to peer), dentro de un edificio, de una pequeña área residencial/urbana o de un campus universitario. En EEUU proliferan estas redes para acceso a Internet, en donde hay más de 4000 zonas de acceso, y en Europa es previsible que pronto se extiendan.

Las WLAN se encuadran dentro de los estándares desarrollados por el IEEE para redes locales inalámbricas. Otras tecnologías como Hiperlan (apoyada por el ETSI) y el nuevo estándar HomeRF para el hogar, también pretenden acercarnos a un mundo sin cables y, en algunos casos, son capaces de operar en conjunción y sin interferirse entre sí. Otro aspecto a destacar es la integración de las WLAN en entornos de redes móviles de tercera generación (UMTS) para cubrir las zonas de alta concentración de usuarios (los denominados “hot spots”), como solución de acceso público a la red de comunicaciones móviles.

Como todos los estándares 802 para redes locales del IEEE, en el caso de las WLAN también se centran en los dos niveles inferiores del modelo OSI (el físico y el de enlace), por lo que es posible correr por encima cualquier protocolo (TCP/IP o cualquier otro) o aplicación, soportando los sistemas operativos de red habituales, lo que supone una gran ventaja para los usuarios, que pueden seguir utilizando sus

aplicaciones habituales con independencia del medio empleado, sea por red de cable o por radio.

Otra tecnología de acceso inalámbrico en áreas de pequeña extensión (PAN: Personal Area Network) es la denominada Bluetooth, que aunque pueda parecer competencia directa de las WLAN, es más bien complementaria a ella. Bluetooth pretende la eliminación de cables, como por ejemplo todos los que se utilizan para conectar el PC con sus periféricos, o proporcionar un medio de enlace entre dispositivos situados a muy pocos metros, sirviendo también como mando a distancia. La tecnología Bluetooth se puede incorporar con un coste muy bajo en multitud de dispositivos: teléfonos, PDAs, automóviles, impresoras, equipos de medida, etc. La velocidad de transmisión que consigue no es muy elevada, pero suficiente para la transferencia de información entre varios dispositivos.

Las WLAN tienen su campo de aplicación específico, igual que Bluetooth, y ambas tecnologías pueden coexistir en un mismo entorno sin interferirse gracias a los métodos de salto de frecuencia que emplean. Sus aplicaciones van en aumento y conforme su precio se vaya reduciendo, serán más y más los usuarios que las utilicen, por las innegables ventajas que supone su rápida implantación y la libertad de movimientos que permiten.

1.2 ORÍGENES DE LAS WLAN.

El origen de las LAN inalámbricas se remonta a la publicación en 1979 de los resultados de un experimento realizado por ingenieros de IBM en Suiza, consistente en utilizar enlaces infrarrojos para crear una red local en una fábrica. Estos resultados, publicados por el IEEE, pueden considerarse como el punto de partida en la línea evolutiva de esta tecnología. Las investigaciones siguieron adelante tanto con infrarrojos como con microondas, donde se utilizaba el esquema de espectro expandido (spread spectrum).

En Mayo de 1985 y tras cuatro años de estudios, la FCC (Federal Communications Commission) asignó las bandas ISM (Industrial, Scientific, and Medical) 902-928 MHz, 2.4-2.4835 GHz, 5.725-5.85 GHz para uso en las redes inalámbricas basadas en Spread Spectrum (SS), con las opciones DS (Direct Sequence) y FH (Frequency Hopping). La técnica de espectro ensanchado es una técnica de modulación que resulta ideal para las comunicaciones de datos, ya que es muy poco susceptible al ruido y crea muy pocas interferencias. La asignación de esta banda de frecuencias propició una mayor actividad en el seno de la industria y ese respaldo hizo que las WLAN empezaran a dejar ya el entorno del laboratorio para iniciar el camino hacia el mercado.

Desde 1985 hasta 1990 se siguió trabajando ya más en la fase de desarrollo, hasta que en Mayo de 1991 se publicaron varios trabajos referentes a WLAN operativas que superaban la velocidad de 1 Mbps, el mínimo establecido por el IEEE 802 para que la red sea considerada realmente una LAN con aplicación empresarial.

Las redes WLAN se componen fundamentalmente de dos tipos de elementos: los puntos de acceso y los dispositivos de cliente. Los puntos de acceso actúan como un concentrador o hub que reciben y envían información vía radio a los dispositivos de

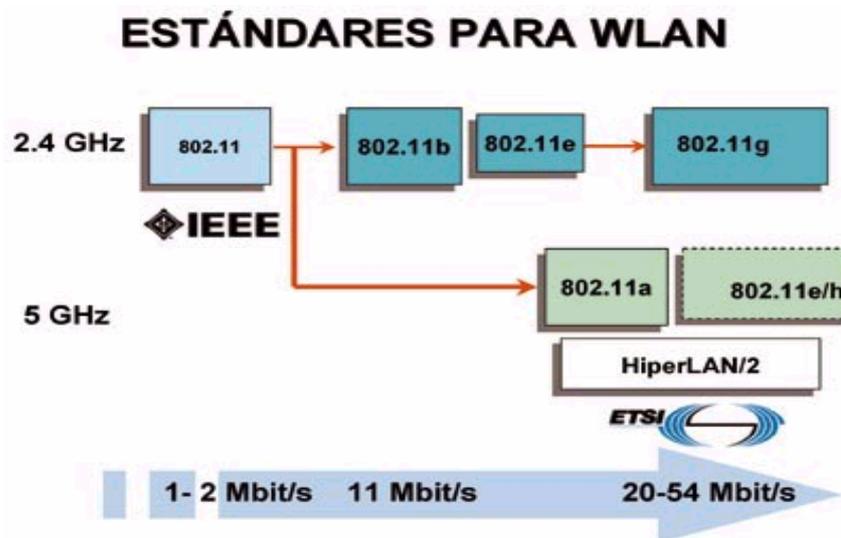
cliente, que pueden ser de cualquier tipo, habitualmente un PC o PDA con una tarjeta de red inalámbrica, con o sin antena, que se instala en uno de los slots libres o bien se enlazan a los puertos USB de los equipos.

La principal ventaja de este tipo de redes (WLAN), que no necesitan licencia para su instalación (bandas ISM) es la libertad de movimientos que permite a sus usuarios, ya que la posibilidad de conexión sin hilos entre diferentes dispositivos elimina la necesidad de compartir un espacio físico común y soluciona las necesidades de los usuarios que requieren tener disponible la información en todos los lugares por donde puedan estar trabajando. Además, a esto se añade la ventaja de que son mucho más sencillas de instalar que las redes de cable y permiten la fácil reubicación de los terminales en caso necesario.

También presentan alguna desventaja, o más bien inconveniente, que es el hecho de la “baja” velocidad que alcanzan, por lo que su éxito comercial es más bien escaso y, hasta que los nuevos estándares no permitan un incremento significativo, no es de prever su uso masivo, ya que por ahora no pueden competir con las LAN basadas en cable.

El uso más popular de las WLAN implica la utilización de tarjetas de red inalámbricas, cuya función es permitir al usuario conectarse a la LAN empresarial sin la necesidad de una interfaz física.

1.3 NORMALIZACIÓN PARA WLAN.



1.3.1 IEEE: 802.11

En 1989 se forma en el seno de IEEE 802 el comité IEEE 802.11, que empieza a trabajar para tratar de generar una norma para las WLAN, pero no es hasta 1994 cuando aparece el primer borrador, y habría que esperar hasta el año 1999 para dar por finalizada la norma 802.11.

Actualmente son cuatro los estándares reconocidos dentro de esta familia:

- 802.11: Es la original.
- 802.11a (evolución a 802.11e/h): Define una conexión de alta velocidad basada en ATM.
- 802.11b: Es la que goza de una más amplia aceptación y aumenta la tasa de transmisión de datos propia de la 802.11 original.
- 802.11g: Compatible con el anterior pero proporciona velocidades aún mayores.

1.3.1.1 802.11

En Junio de 1997 el IEEE ratificó el estándar para WLAN IEEE 802.11, que alcanzaba una velocidad de 2 Mbps, con una modulación de señal de espectro expandido por secuencia directa (DSSS), aunque también contempla la opción de espectro expandido por salto de frecuencia (FHSS), y en la banda de 2.4 GHz. Se definió el funcionamiento y la interoperabilidad entre redes inalámbricas.

El estándar define el protocolo para redes con topologías “ad-hoc” y “cliente-servidor”. La topología ad-hoc consiste en una red simple donde las comunicaciones son establecidas entre múltiples estaciones en un área de cobertura dada sin el uso de un punto de acceso o servidor. La topología cliente-servidor usa un punto de acceso que controla en que instante transmite cada estación y permite que las estaciones móviles pasen de una célula a otra dentro del área de cobertura, y además cursa el tráfico entre el acceso radio y el sistema de distribución (cableado o inalámbrico) de la red cliente-servidor.

El 802.11 es una red local inalámbrica que usa la transmisión por radio en la banda de 2.4 GHz, o infrarroja, con regímenes binarios de 1 a 2 Mbps. El método de acceso al medio (MAC: Medium Access Control) es mediante escucha pero sin detección de colisión (CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). La dificultad en detectar la portadora en el acceso WLAN consiste básicamente en que la tecnología utilizada es Spread Spectrum y con acceso por división de código (CDMA), lo que conlleva que el medio radioeléctrico es compartido, ya sea por DSSS o por FHSS. El acceso por código CDMA implica que pueden coexistir dos señales en el mismo espectro utilizando códigos diferentes, y eso para un

receptor de radio implica que detectaría la portadora inclusive con señales distintas de las de la propia red WLAN. Hay que mencionar que la banda de 2.4 GHz está reglamentada como banda de acceso público y en ella funcionan gran cantidad de sistemas, entre los que se incluyen los teléfonos inalámbricos Bluetooth.

1.3.1.2 802.11b

En el año 1999 se aprobó el estándar 802.11b, una extensión del 802.11 para WLAN empresariales, con una velocidad de 11 Mbps (otras velocidades normalizadas a nivel físico son 5.5, 2, y 1 Mbps) y un alcance de 100 metros, que al igual que Bluetooth y HomeRF, también emplea la banda de ISM de 2.4 GHz, pero en lugar de una simple modulación de radio digital y salto de frecuencia (FH), utiliza una modulación lineal compleja (DSSS). Permite mayor velocidad, pero presenta una menor seguridad, y el alcance puede llegar a los 100 metros, suficientes para un entorno de oficina o residencial.

1.3.1.3 802.11g

El IEEE también está trabajando en el estándar 802.11g, para tenerlo listo a finales del 2002, compatible con el 802.11b, capaz de alcanzar una velocidad doble (hasta 22 Mbps) para competir con los otros estándares que prometen velocidades mucho más elevadas pero que son incompatibles con los equipos 802.11b ya instalados, aunque pueden coexistir en el mismo entorno debido a que las bandas de frecuencia que emplean son distintas.

1.3.1.4 802.11a

El IEEE ratificó en Julio de 1999 el estándar 802.11a (los productos comerciales empiezan a aparecer a mediados del 2002), que con una modulación 64-QAM y la codificación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) alcanza una velocidad de hasta 54 Mbps en la banda de 5 GHz, menos congestionada y, por ahora, con menos interferencias, pero con un alcance limitado a 50 metros, lo que implica tener que montar más puntos de acceso que si se utilizase 802.11b para cubrir el mismo área, con el coste adicional que ello supone. La banda de 5 GHz que utiliza se denomina UNII (Infraestructura de Información Nacional sin Licencia), que en los EEUU está regulada por la FCC, el cual ha asignado un total de 300 MHz, cuatro veces más de lo que tiene la banda ISM, para uso sin licencia, en tres bloques de 100 MHz, siendo en el primero la potencia máxima de 50 mW, en el segundo de 250 mW, y en el tercero puede llegar hasta 1W, por lo que se reserva para aplicaciones en el exterior.

1.3.1.5 COMPATIBILIDAD Y SEGURIDAD: Wi-Fi y WEP

A finales de la década de los 90, los líderes de la industria inalámbrica crean la WECA (Wireless Ethernet Compatibility Alliance), una alianza para la Compatibilidad Ethernet Inalámbrica, cuya misión es la de certificar la interfuncionalidad y compatibilidad de los productos de redes inalámbricas 802.11b y promover este estándar para la empresa y el hogar. Para indicar la compatibilidad entre dispositivos inalámbricos, tarjetas de red o puntos de acceso de cualquier fabricante, se les incorpora el logo “Wi-Fi” (estándar de Fidelidad Inalámbrica), y así los equipos con esta marca,

soportada por más de 150 empresas, se pueden incorporar en las redes sin ningún problema, siendo incluso posible la incorporación de terminales telefónicos Wi-Fi a estas redes para establecer llamadas de voz.

Las redes inalámbricas son inseguras aunque sólo sea porque el medio de transporte que emplean es el aire. Por tanto, un elemento esencial a tener en cuenta en este tipo de redes es la encriptación. En general se utiliza WEP (Wired Equivalent Privacy) , que es un mecanismo de encriptación y autenticación especificado en el estándar 802.11 para garantizar la seguridad de las comunicaciones entre los usuarios y los puntos de acceso. La clave de acceso estándar es de 40 bits, pero existe otra opcional de 128 bits, y se asigna de forma estática o manual (no dinámica), tanto para los clientes, que comparten todos el mismo conjunto de cuatro claves predeterminadas, como para los puntos de acceso a la red, lo que genera algunas dudas sobre su eficacia. WEP utiliza un esquema de cifrado simétrico en el que la misma clave y el algoritmo se utilizan tanto para el cifrado de los datos como para su descifrado.

1.3.2 ETSI: HIPERLAN

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) empezó a desarrollar HIPERLAN (HIgh Performance Radio Local Area Network) en 1991. En esa época el proyecto 802.11 ya se estaba desarrollando y varias soluciones propietarias para comunicación inalámbrica de datos se estaban comercializando, pero a velocidades muy limitadas. Para alcanzar tasas binarias superiores que soportasen las aplicaciones multimedia emergentes se buscó una banda de frecuencias para HIPERLAN.

El comité HIPERLAN de ETSI denominado RES (Radio and Equipment Systems) 10 trabajó con CEPT (European Conference of Postal and

Telecommunications Administration) para identificar su objetivo de espectro. El CEPT identificó la banda 5.15-5.25 GHz (que permite tres canales) con una expansión opcional en la banda de 5.30 GHz (extensión a cinco canales). Cualquier país en el área CEPT (que cubre toda Europa, y otros países que también implementan las recomendaciones CEPT) puede decidir implementar esta recomendación. La mayoría de los países CEPT permiten que los sistemas HIPERLAN usen esta banda denominada “de 5 GHz”. En EEUU, la FCC siguió aproximadamente el modelo europeo. La banda UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) cubre aproximadamente 300 MHz en tres bandas diferentes entre 5.1 y 5.8 GHz. Los órganos reguladores en Japón también tienden a alinearse con la banda de 5 GHz. Además una segunda banda desde 17.1 a 17.3 GHz ha sido identificada por CEPT pero aún no se han desarrollado sistemas que usen esta banda.

La familia de estándares HIPERLAN incluye a HIPERLAN tipo 1 (HIPERLAN/1), HIPERLAN tipo 2 (HIPERLAN/2), HIPERACCESS (inicialmente llamado HIPERLAN tipo 3), y HIPERLINK (inicialmente HIPERLAN tipo 4).

HIPERACCESS se refiere acceso fijo inalámbrico (bucle local inalámbrico), e HIPERLINK a radioenlaces punto a punto de alta velocidad.

1.3.2.1 HIPERLAN/1 (O HIPERLAN)

Este estándar se alinea con la familia IEEE 802 (es compatible con 802.11) y podríamos compararlo con una Ethernet inalámbrica. HIPERLAN/1 se completó y ratificó en 1996, y define el funcionamiento de la parte inferior del modelo de referencia OSI (nivel de enlace y nivel físico).

El nivel de enlace (DLC: Data Link Control layer) se divide en dos subniveles: el CAC (Channel Access Control sublayer) y el MAC (Medium Access Control sublayer). El nivel CAC define cómo un intento de acceso a un canal dado se hace dependiendo de si el canal está ocupado o libre, y del nivel de prioridad de ese intento de acceso. El nivel MAC define los protocolos que proveen las características de HIPERLAN/1 de ahorro de potencia, seguridad, y el servicio de transferencia de datos que se ofrece a los niveles superiores al de enlace.

HIPERLAN/1 usa la misma modulación que GSM (GMSK). Presenta una tasa binaria de 23.5 Mbps en el interfaz aire y una tasa máxima para datos de usuario (por canal) de 18 Mbps. El alcance para entornos “indoor” es de 35 a 50.

1.3.2.2 HIPERLAN/2

Este estándar puede describirse como una versión inalámbrica de ATM. HIPERLAN/2 es un estándar desarrollado por ETSI, y que puede ser usado en todo el mundo.

Se definen tres capas básicas: capa PHY (física), capa DLC (enlace), y capa CL (convergencia). Por encima de ellas estarían los niveles superiores tradicionales. La capa DLC incluye funciones tanto para acceso al medio y transmisión (plano de usuario) como para manejo del terminal/usuario y de la conexión (plano de control). La capa CL adapta el servicio requerido por los niveles superiores al servicio ofrecido por la capa DLC, y convierte las células (en ATM) o paquetes (en Ethernet) a un tamaño fijo que es usado en la capa DLC.

HIPERLAN/2 hace uso de un método de modulación llamado OFDM (Orthogonal FDM) para transmitir las señales analógicas, alcanzando tasas binarias muy altas (en capa física hasta 54 Mbps y en la capa CL hasta 25 Mbps).

Las conexiones entre los terminales móviles (MT) y los puntos de acceso (AP) son multiplexadas en tiempo (TDM) en el interfaz aire. Hay dos tipos de conexiones: punto a punto (bidireccional) y punto a multipunto (unidireccional hacia los MT). Además existe un canal de difusión dedicado a través del cual el tráfico llega a todos los terminales asociados a un AP.

HIPERLAN/2 permite implementar QoS (Quality of Service), gestión dinámica de frecuencias, ahorro de potencia, y seguridad (autenticación y encriptación). También soporta la movilidad de los terminales en el sentido de que los MT se asocian al AP con la mejor señal radio y así transmiten (y reciben) datos sólo hasta (y desde) el AP “más cercano”.

HIPERLAN/2 es “independiente de la red”, en el sentido de que es fácilmente adaptable e integrable con una gran variedad de redes fijas. Una red HIPERLAN/2 puede ser usada como el “último salto” (inalámbrico) en una red Ethernet conmutada o como una red de acceso para un sistema celular de tercera generación (como UMTS). Todas las aplicaciones que hoy en día funcionan sobre una infraestructura fija pueden también funcionar sobre una red HIPERLAN/2.

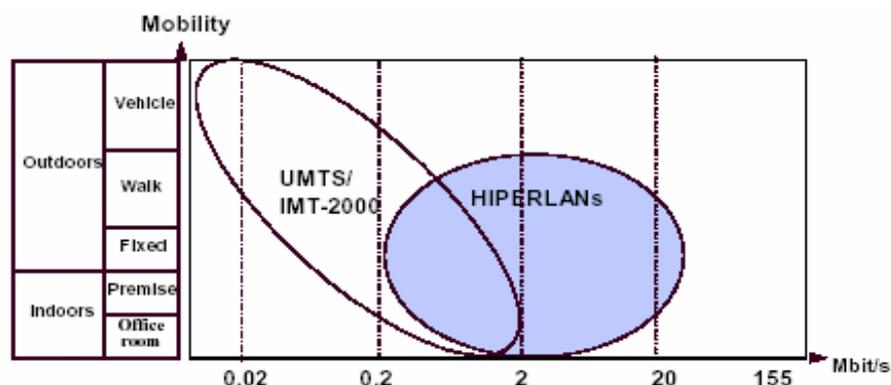


Figure 1: The relationship between HIPERLANs and UMTS/IMT-2000

1.3.3 OTROS ESTÁNDARES

El estándar industrial Open Air apareció en 1996 y trabaja en la banda de 2.4 GHz con modulación FHSS. Opera a una tasa de 1.6 Mbps por canal, con 15 canales independientes (patrones de salto) disponibles. Esta arquitectura multicanal permite que múltiples e independientes WLANs operen en el mismo espacio físico, incrementando significativamente el ancho de banda agregado de la red. La especificación está diseñada para ser transparente a los usuarios de la red, trabajando con entornos operativos de red estándar como Microsoft Windows NT, UNIX, Novell NetWare, Banyan Vines, IBM LAN Server, y protocolos que incluyen a IPX, IP, NetBEUI, y DECnet.

El grupo de trabajo HomeRF (incluye a Compaq, Ericsson, HP, IBM, Intel, Microsoft, etc) publicó y ratificó la especificación SWAP (Shared Wireless Access Protocol) a finales de 1998 para comunicaciones inalámbricas de voz y datos en hogares y pequeñas oficinas.

En Mayo de 1998 el grupo de trabajo Bluetooth (incluye a Ericsson, IBM, Intel, Nokia, Toshiba, etc.) anunció su intención de publicar una especificación para comunicaciones abiertas inalámbricas de bajo coste y corto alcance, para voz y datos.

1.4 HIPERLAN/2

1.4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL.

El propósito básico del proyecto BRAN (Broadband Radio Access Networks) de ETSI es estandarizar sólo la red de acceso radio, y algunas de las funciones de la capa de convergencia para diferentes núcleos de redes (con “núcleo” nos referimos a la red a la que se está accediendo a través de una subred inalámbrica de área local, y que puede ser UMTS, TCP/IP, ATM/B-ISDN, IEEE 1394, etc.).

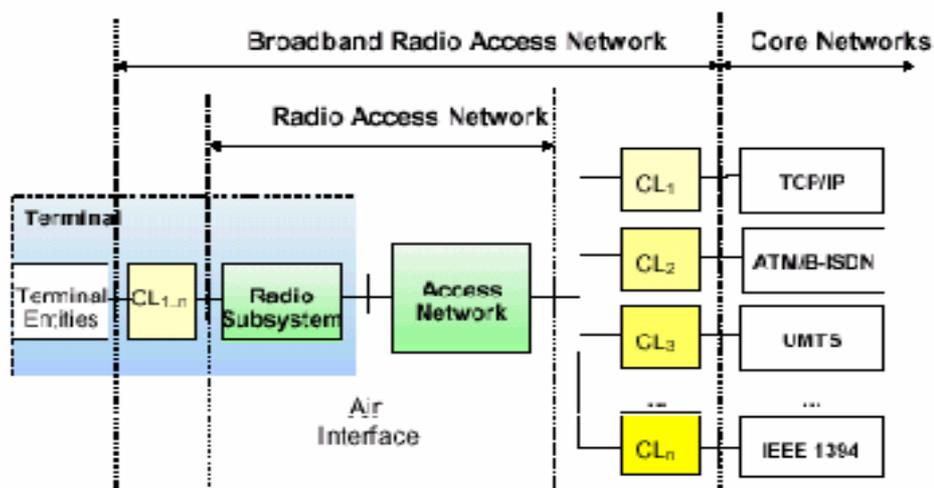


Figure 1: Reference Model

El alcance de la especificación técnica HIPERLAN/2 se limita al interfaz aire, las interfaces de servicio del subsistema inalámbrico, las funciones de la capa de convergencia y las capacidades necesarias para soportar los servicios. El interfaz aire será usado por múltiples operadores.

La siguiente figura ilustra la pila de protocolos en un terminal:

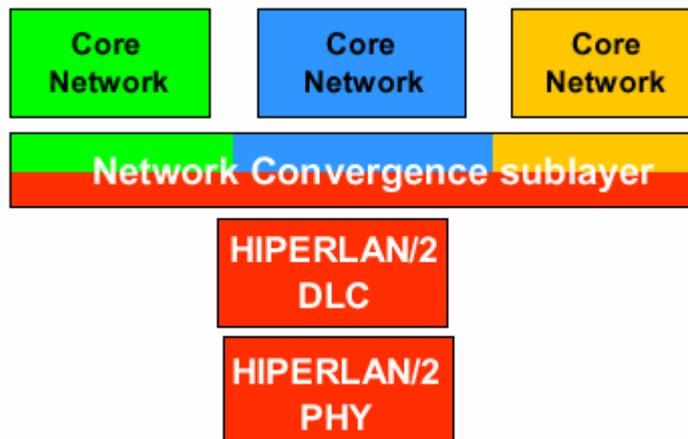


Figure 2: Terminal view

La especificación describe las capas física (PHY) y de enlace (DLC), las cuales son independientes del núcleo de la red, y las capas de convergencia específicas para cada núcleo de red. Hay que hacer notar que para especificar un sistema completo basado en HIPERLAN/2 se requieren otras especificaciones para las capas de red y superiores, que no están incluidas en HIPERLAN/2.

HIPERLAN/2 es un estándar para sistemas de comunicación via radio de alta velocidad, con velocidades típicas desde 6 Mbps hasta 54 Mbps. Conecta dispositivos portátiles con redes de banda ancha basadas en IP, ATM, y otras tecnologías. Existen dos modos de funcionamiento: centralizado y “ad-hoc”.

El modo centralizado es usado para que HIPERLAN/2 opere como red de acceso a través de un punto de acceso (AP) fijo. El otro modo de funcionamiento se usa para que HIPERLAN/2 opere como una red “ad-hoc” (por sí misma), sin apoyarse en una infraestructura de red celular (que es lo que ocurre en el modo centralizado). En el modo ad-hoc un controlador central (CC), que es dinámicamente seleccionado entre los dispositivos portátiles, provee el mismo nivel de soporte para QoS que un punto de acceso fijo.

HIPERLAN/2 es capaz de soportar aplicaciones multimedia gracias a que ofrece mecanismos para conseguir QoS. También soporta movilidad restringida de los dispositivos portátiles dentro de un área de servicio local.

1.4.1.1 SERVICIOS Y FUNCIONES

Una red HIPERLAN/2 para entorno empresarial consiste típicamente en un conjunto de puntos de acceso (AP), cada uno cubriendo una determinada área geográfica. Todos juntos forman una red de acceso radio con cobertura parcial o total de un área de casi cualquier tamaño. Las áreas de cobertura pueden (o no) solaparse unas a otras, simplificando así el movimiento de los terminales dentro de la red de acceso. Cada AP sirve a un número de terminales móviles (MT) que tienen que estar asociados a él. En el caso de que la calidad del enlace radio se degrade hasta un nivel inaceptable, el terminal puede moverse hacia otro AP realizándose un “handover”.

Para entorno doméstico, una red HIPERLAN/2 opera como una red de área local ad-hoc, que puede ponerse en funcionamiento de un modo “plug and play”. El sistema doméstico para HIPERLAN/2 comparte sus características básicas con el sistema empresarial si definimos las siguientes equivalencias entre ambos sistemas:

- Una subred en la configuración ad-hoc es equivalente a una célula en la configuración celular para la red de acceso.
- Un controlador central (CC) en la configuración ad-hoc es equivalente a un punto de acceso (AP) en la configuración celular.
- Múltiples subredes en un entorno doméstico son posibles teniendo múltiples CCs operando a diferentes frecuencias.

HIPERLAN/2 soporta dos modos de funcionamiento básico:

- **MODO CENTRALIZADO:** En este modo un AP está conectado al núcleo de la red, y dicho AP actúa como servidor a los MTs asociados a él. Todo el tráfico tiene que pasar por el AP, tanto si el intercambio de datos es entre un MT y un terminal en algún lugar del núcleo de la red, como si es entre dos MTs pertenecientes a un mismo AP. El caso más habitual es que la mayor parte del tráfico es intercambiado con terminales en cualquier lugar de la red.
- **MODO DIRECTO:** En este modo el acceso al medio también es gestionado de forma centralizada por un CC. Es de esperar que en algunas aplicaciones (especialmente en entornos domésticos) una gran parte de los datos de usuario intercambiados ocurre entre terminales asociados con un único CC.
 - **NOTA:** Un CC puede también ser conectado al núcleo de una red y, así, podría operar tanto en modo centralizado como directo.

La pila de protocolos típica de HIPERLAN/2 en el extremo del AP/CC se muestra en la siguiente figura:

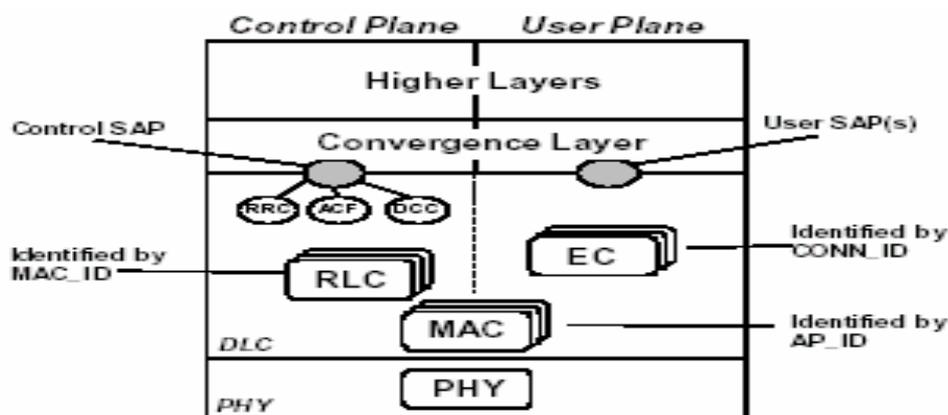


Figure 3: HIPERLAN/2 protocol stack and functions

La capa de convergencia (CL) ofrece servicio a las capas superiores, las cuales están fuera del alcance de la especificación HIPERLAN/2. La capa física lleva a cabo una función básica de transporte de datos, a través de un módem de banda base y de una parte de RF. El módem de banda base contiene una función para FEC (Forward Error Correction).

1.4.2 CAPA FÍSICA

1.4.2.1 CONFIGURACIÓN DE REFERENCIA

Para elaborar la especificación de las funciones de capa física (ETSI TS 101 475) se usó la configuración de referencia mostrada en la siguiente figura:

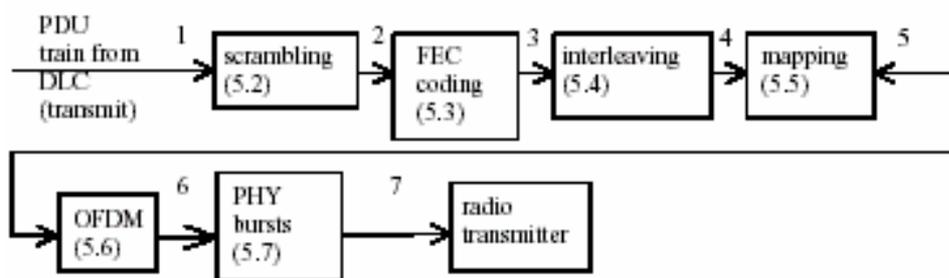


Figure 1: Reference configuration

Hay que decir que la especificación sólo considera de forma explícita la parte de transmisión, mientras que la de recepción se encuentra implícita en los requisitos de implementación del sistema.

Los números 1 a 7 de la figura anterior corresponden a:

- 1) bits de información;
- 2) bits aleatorizados;

- 3) bits codificados;
- 4) bits entrelazados;
- 5) símbolos de las subportadora;
- 6) símbolos OFDM complejos y en banda base;
- 7) ráfagas físicas (PHY bursts).

Los números dentro de los bloques funcionales (5.2 a 5.7) se refieren al apartado de la especificación TS 101 475 donde se definen los respectivos bloques. Dichas entidades funcionales son brevemente descritas en el apartado siguiente.

1.4.2.2 ENTIDADES FUNCIONALES DE CAPA FÍSICA

La capa física de HIPERLAN/2 ofrece servicios de transferencia de información a la capa de enlace (DLC) de HIPERLAN/2. Para este propósito realiza funciones que mapean las diferentes DLC-PDU (unidades de datos de protocolos de la capa DLC) en formatos de trama llamados “ráfagas” de capa física. Dichas ráfagas son apropiadas para la transmisión y recepción de información de usuario y de gestión entre un AP y un MT en el modo centralizado o entre dos MTs en el modo directo. Para ello, el transmisor incluye las siguientes entidades funcionales:

- Configuración de la velocidad binaria de transmisión eligiendo el modo físico (PHY mode) adecuado, basado en el mecanismo de adaptación de enlace (se ve en apartado siguiente).
- Aleatorización del contenido de la DLC-PDU.
- Codificación de los bits aleatorizados según el modo FEC (Forward Error Correction) impuesto en la configuración de la capa física.

- Entrelazado de los bits codificados en el transmisor según el esquema apropiado para el modo físico seleccionado.
- Modulación de las subportadoras mapeando los bits entrelazados en puntos de la constelación de la modulación.
- Generación de la señal en banda base compleja según una modulación OFDM.
- Inserción de las subportadoras piloto, añadiendo el preámbulo apropiado para la correspondiente PDU. Construcción de la ráfaga física.
- Realización de la transmisión radio mediante la modulación de la portadora de RF con la señal en banda base compleja.

NOTA 1: En la terminología ISO-OSI la DLC-PDU se denomina PHY-SDU (unidad de datos del servicio de capa física).

NOTA 2: De forma análoga las ráfagas físicas (PHY bursts) se corresponden con las PHY-PDU (unidades de datos de protocolo de capa física) de ISO-OSI.

1.4.2.3 CONFIGURACIÓN DE LA CAPA FÍSICA

La capa física de HIPERLAN/2 se basa en el esquema de modulación **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Para conseguir mejorar la capacidad del enlace radio (limitada por diferentes situaciones de interferencia y distancia de los MTs a los APs), se aplica una capa física multi-velocidad, donde el modo “apropiado” será seleccionado por un esquema de adaptación de enlace.

Las tasas binarias de transmisión van de los 6 Mbps a los 54 Mbps, y se consiguen variando el alfabeto de señal usado en la modulación de las subportadoras OFDM, y aplicando diferentes tasas de codificación a un código convolucional. Los formatos de modulación BPSK, QPSK, y 16-QAM son obligatorios, mientras que el 64-QAM es opcional tanto en el AP como en el MT. Los parámetros dependientes de la configuración de la capa física (mode dependent parameters) se muestran en la siguiente tabla:

Table 1: Mode dependent parameters

Modulation	Coding rate R	Nominal bit rate [Mbit/s]	Coded bits per sub-carrier N_{BPSK}	Coded bits per OFDM symbol N_{CBPS}	Data bits per OFDM symbol N_{DBPS}
BPSK	1/2	6	1	48	24
BPSK	3/4	9	1	48	36
QPSK	1/2	12	2	96	48
QPSK	3/4	18	2	96	72
16QAM	9/16	27	4	192	108
16QAM	3/4	36	4	192	144
64QAM	3/4	54	6	288	216

