

Redes de computadores: Apuntes oficiales II

Escrito por Profesores de redes de computadores de la Facultad de Informática de la UPM.

Editado por Marta Sepúlveda Municio y Pau Arlandis Martínez.

Tema 3: Redes de Acceso y Redes de Área Local

Introducción y objetivos

Una vez se ha explicado a lo largo del tema anterior el funcionamiento de Internet y cómo se interconectan los ordenadores de diferentes redes para intercambiar información a través de las mismas, en este tema se va a explicar cómo un usuario final puede acceder a Internet, bien desde su domicilio o desde su trabajo, creando además redes donde todos sus equipos puedan compartir recursos y se comuniquen entre sí.

En la primera parte de este tema se describen las principales tecnologías utilizadas para ofrecer acceso a Internet a dichos usuarios finales, haciendo especial hincapié en la tecnología ADSL. En la segunda parte, se van a presentar las tecnologías necesarias para crear, en entornos locales (domicilios, empresas, corporaciones...) redes que permitan que sus equipos y sistemas se comuniquen entre sí, y que accedan a Internet compartiendo el acceso a través de alguna de las tecnologías explicadas en la primera parte.

Redes de Acceso

Introducción

Para que un usuario final pueda conectarse a Internet necesita contratar los servicios de una empresa que le proporcione dicho acceso a la red de redes. Estas empresas se conocen como Proveedores de Servicios de Internet (ISP del inglés Internet Service Provider), y suelen ofrecer, además del acceso a la red, otros servicios como correo electrónico, alojamiento de páginas Web, o pueden incluso ser hasta operadores globales de telecomunicaciones que ofrecen telefonía fija y móvil, televisión, etc. Existe también otra modalidad de proveedores conocidos como Proveedores de Acceso a Internet (IAP del inglés Internet Access Provider), los cuales ofrecen únicamente el servicio de acceso a Internet.

El método más común de ofrecer dicho acceso es a través de la línea telefónica del usuario. Esto se podía realizar por medio de módems o líneas RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), aunque su uso está muy limitado debido a las bajas velocidades que alcanzan. Actualmente, la tecnología más utilizada son los módems ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line ó Línea de Abonado Digital Asimétrica), que permiten canalizar sobre el bucle de abonado (par de cobre que llega de la centralita de telefonía a sus casas) las señales de voz y datos de manera simultánea. Sin embargo, existen otras alternativas a ADSL como tecnología de acceso que se verán más adelante.

Tecnologías para el bucle de abonado. ADSL

La tecnología ADSL permite transmitir simultáneamente voz y datos a través del bucle de abonado, pudiéndose alcanzar velocidades de transmisión teóricas de hasta 24 Mbps. Su principal ventaja respecto a las tecnologías existentes con anterioridad, además del evidente incremento en la velocidad, es que se puede realizar una llamada telefónica mientras se navega por Internet.

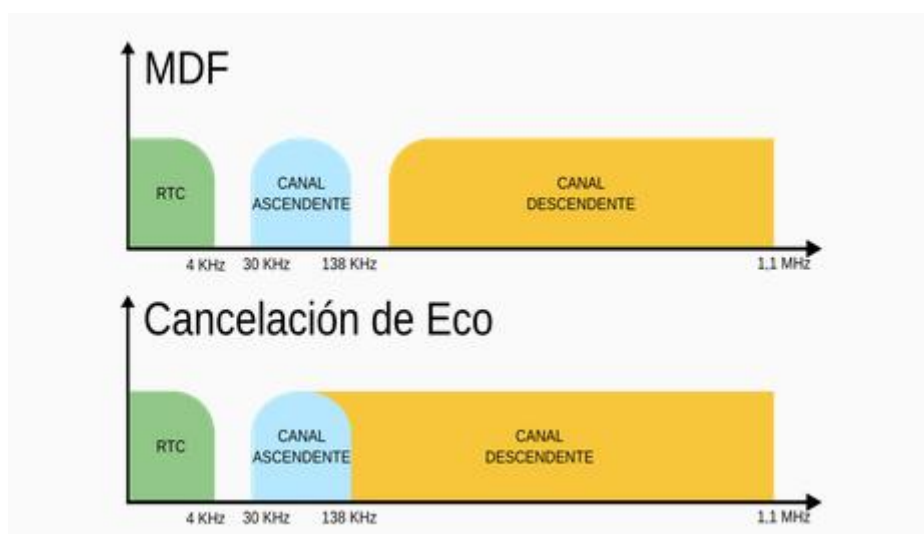
ADSL no puede ser utilizado sobre bucles de abonado que superen los 6 Km, aunque la distancia máxima y velocidades van a depender de la tecnología concreta de ADSL empleada finalmente, más ciertos factores físicos, como el ruido o la atenuación de la misma.

Otra de las peculiaridades de ADSL es que es una tecnología de acceso asimétrica, aprovechando que un acceso típico a Internet suele producir mayor tráfico hacia el usuario (descarga de páginas Web y otros archivos, streaming de música o vídeo, etc.) que hacia Internet (peticiones y confirmaciones). Por tanto, el canal de bajada es de mayor ancho de banda que el canal de subida.

La transmisión de datos en ADSL, además de funcionar simultáneamente con las llamadas de voz, es full-duplex, lo que significa que se pueden enviar y recibir datos en el mismo instante.

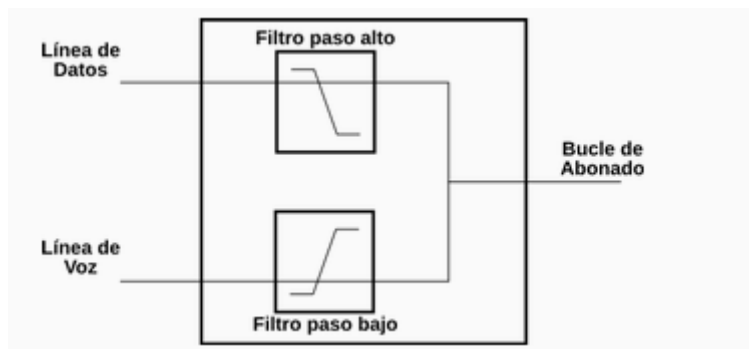
Para lograr un acceso asimétrico en el que se pueda hablar a la vez por teléfono, una conexión ADSL diferencia tres canales posibles de comunicación: el canal de voz, el canal de datos ascendente y el canal de datos descendente. Para lograr esta separación de canales, se utiliza una de las dos siguientes técnicas:

- **Multiplexación por división en frecuencia (FDM):** los tres canales utilizan bandas de frecuencias separadas por una banda de guarda.
- **Cancelación de eco:** permite maximizar el uso del ancho de banda solapando el canal ascendente con el descendente, y diferenciándolos por medio de la técnica de cancelación de eco.

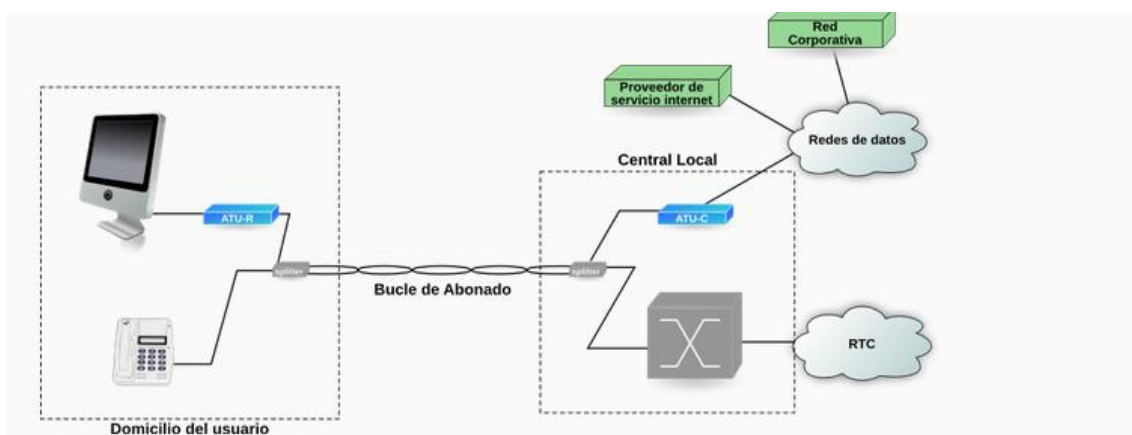


Para poner en funcionamiento una red ADSL, es necesario disponer de un módem ADSL en el domicilio del usuario, también conocido como ADSL Terminal Unit Remote (ATU-R), el cual se

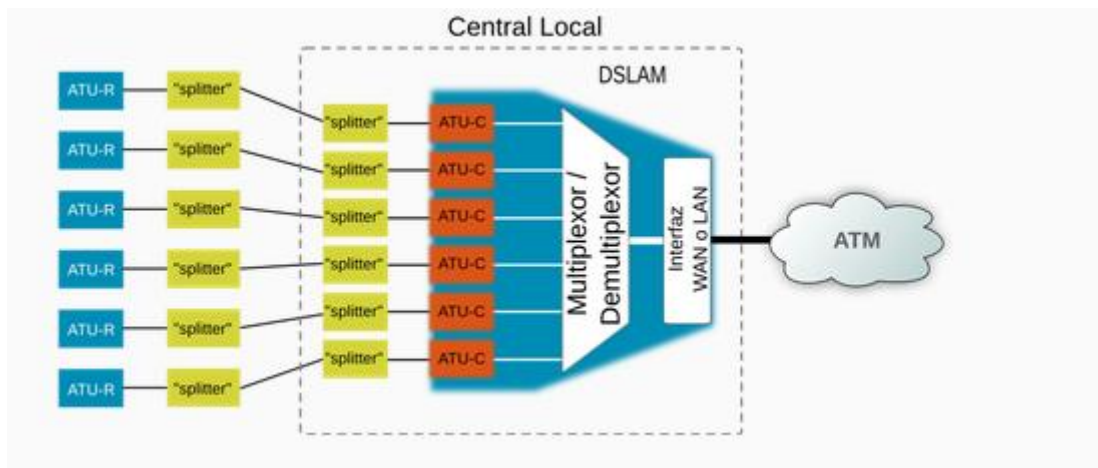
encarga de modular y transmitir por el par de cobre de telefonía los datos que provienen del ordenador o red de ordenadores del usuario. Estos módems ADSL suelen combinar un router, switch Ethernet y punto de acceso WiFi. Asimismo, es necesario disponer de un elemento “separador” de frecuencias o splitter, que se encarga de separar, a la entrada del domicilio del usuario, la banda de frecuencias de telefonía (0-4 KHz) por un lado, en una red aislada en la que se encuentran los teléfonos, y la banda de frecuencias restante por otro hacia el módem ADSL o ATU-R. El splitter está compuesto de un filtro paso bajo, para la señal de voz, y un filtro paso alto para la señal de datos. Existe la posibilidad de prescindir del splitter por medio de instalación de micro-filtros en cada uno de los teléfonos, impidiendo que accedan a las frecuencias por encima de 4 KHz que se reservan para los canales de datos.



En la centralita que proporciona servicio de telefonía al usuario es necesario disponer de un ADSL Terminal Unit Central (ATU-C) que se comporta como entidad par del ATU-R en el domicilio del usuario, así como de otro splitter que permita dirigir la señal de voz hacia la Red Telefónica Conmutada (RTC) y la señal de datos hacia el propio ATU-C.



El ISP ha de disponer de un ATU-C por cada usuario de ADSL, lo que se realiza agrupándolos en un dispositivo denominado DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer), que a su vez concentra el tráfico de todos los ATU-C hacia una red de área extensa o WAN. La implantación de los DSLAM fue determinante para el despliegue de las redes ADSL actuales.



Tecnologías de Modulación DMT

La transmisión de datos en una línea ADSL se realiza utilizando la modulación DMT (Discrete MultiTone). La modulación DMT consiste en dividir los canales de subida y bajada en múltiples portadoras o bandas, cada una de las cuales transmite una fracción del flujo total de datos a transmitir.

El ancho de banda total utilizado por una conexión ADSL (1,1 MHz) se divide en 256 portadoras separadas entre sí 4,3125 KHz, y con un ancho de banda de 4KHz. A través de cada portadora se transmite información utilizando modulación en cuadratura QAM, que es una combinación de modulación en fase (PSK) y en amplitud (ASK).



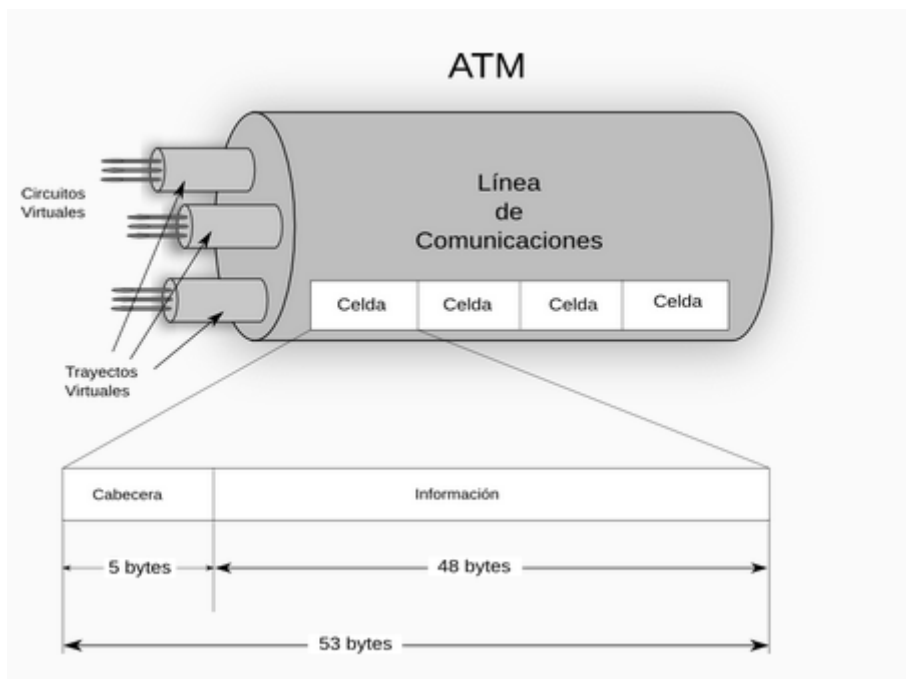
Cada una de estas bandas puede utilizar diferente número de bits por canal en función de la relación Señal/Ruido (SNR), de modo que a mayor SNR mayor cantidad de información se puede transmitir por cada portadora. La estimación de SNR se hace en la fase de establecimiento de la conexión entre el ATU-R y el ATU-C.

Conexión con la red de datos del ISP

La conexión de las diferentes líneas ADSL concentradas en un DSLAM suele realizarse por medio de una red de conmutación ATM. Las redes ATM se caracterizan por realizar una conmutación muy rápida de celdas (paquetes de datos) debido a que éstas poseen una estructura muy sencilla. ATM está orientado a conexión, puesto que se establecen unos

circuitos y trayectos virtuales que simplifican la retransmisión de las celdas, aunque ofrece un servicio no fiable. Además, están definidos diferentes niveles de calidad de servicio (QoS), y puede realizarse una asignación dinámica del ancho de banda disponible. Por sus características, las redes ATM se utilizan para la retransmisión de contenidos multimedia en tiempo real y para la creación de redes de datos de área extensa, como la utilizada para ofrecer ADSL.

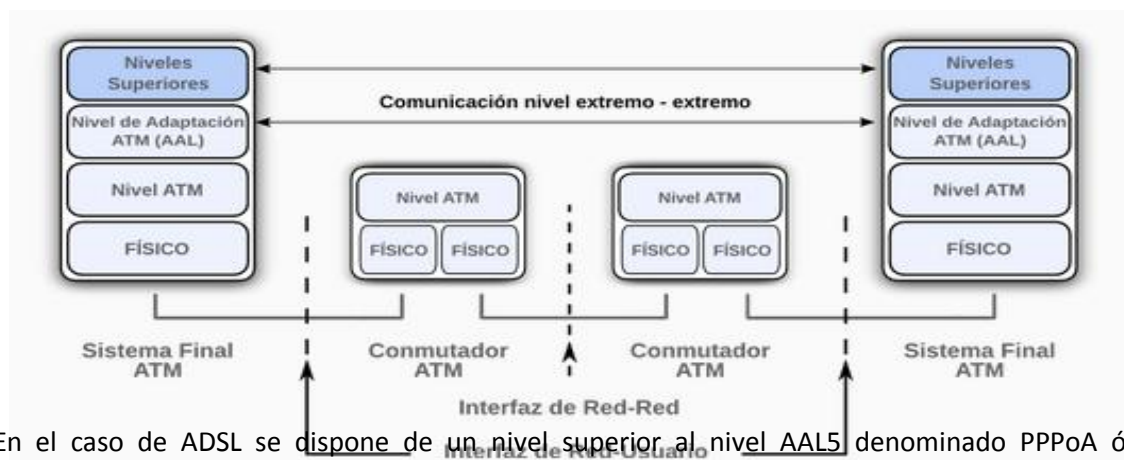
Las celdas ATM son muy pequeñas y simples con el objetivo de ser conmutadas por hardware, en lugar de tener que ser encaminadas por software. Estas tramas están formadas por 53 octetos de los cuales, 5 corresponden a la cabecera y los restantes 48 a la información transmitida. En la cabecera se encuentran los identificadores del circuito y trayecto virtual que cada nodo ha de utilizar para retransmitir la celda.



ATM está estructurado en tres niveles distintos:

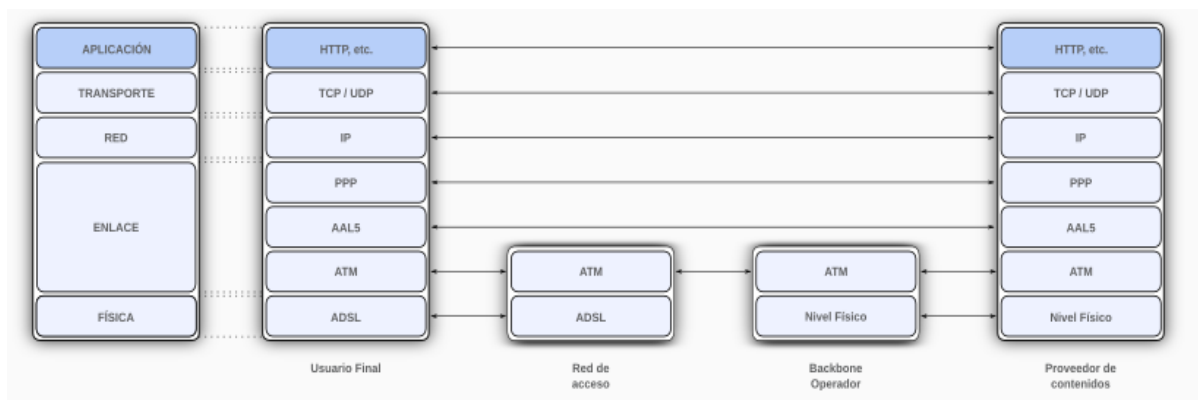
- **Nivel de adaptación:** es el encargado de ofrecer servicios de comunicación a los niveles superiores, evitando que tengan que trabajar con los tamaños de celda y adaptando la información transmitida. Se han definido cinco niveles de adaptación ATM (AAL1, AAL2, AAL3, AAL4 y AAL5), de los cuales AAL5 está orientado a la transmisión de datos, y es el que se utiliza en conexiones ADSL. AAL5 se encarga de las tareas de segmentación y reensamblado de los paquetes AAL5, que contienen los PDUs del protocolo de nivel superior.
- **Nivel ATM:** es el nivel encargado de realizar el encaminamiento y multiplexación de las células de diferentes conexiones.
- **Nivel físico:** es el nivel que transporta físicamente las celdas ATM.

En la siguiente figura se pueden observar las pilas de protocolos que se utilizan en sistemas finales ATM, así como en sistemas intermedios o conmutadores. Estos conmutadores no disponen de más niveles de protocolos, lo que hace muy rápido su funcionamiento.



En el caso de ADSL se dispone de un nivel superior al nivel AAL5 denominado PPPoA ó Protocolo de Punto a Punto (PPP) sobre ATM, y es el encargado de encapsular tramas PPP dentro de paquetes AAL5. El protocolo PPP sirve para autenticar al usuario y asignar dinámicamente la dirección IP pública del router por parte del ISP. Cada datagrama IP se encapsula dentro de una trama PPP para su transporte, trama que será segmentada por el nivel AAL5 en múltiples celdas ATM y reensamblada en destino. Cabe destacar que los conmutadores ATM sólo conmutan las celdas, y no reensamblan la trama PPP.

La arquitectura de protocolos de ADSL en el módem del usuario, los conmutadores ATM de la red de acceso y en el equipo del ISP es la siguiente.



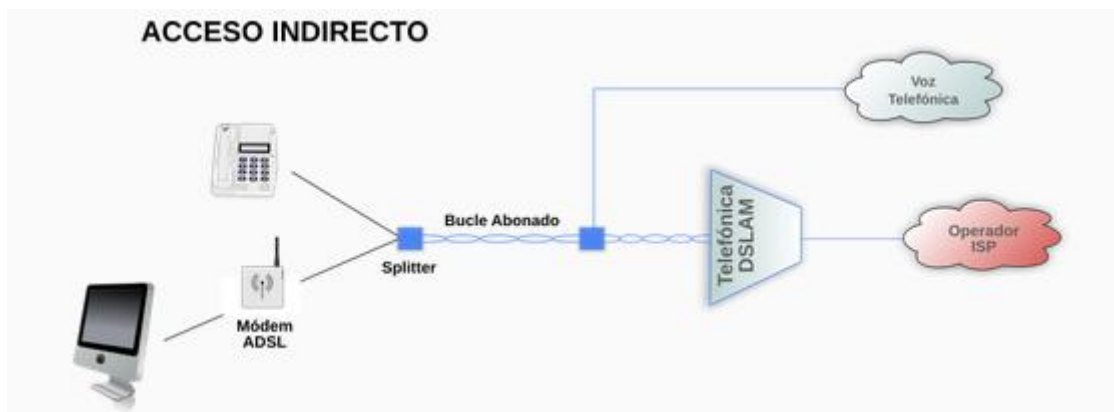
El servicio ADSL en España

El servicio de ADSL que se ofrece en España a día de hoy lo realizan múltiples ISPs. Sin embargo, debido al pasado monopolio legal en telefonía, Telefónica de España es la única empresa que dispone de una red de telefonía básica (RTB), y que por tanto llega hasta el domicilio de los usuarios a través del conocido como bucle de abonado. Esto implica que toda conexión ADSL, independientemente del proveedor al que se contrate el servicio, utiliza en mayor o menor medida los recursos de la red de Telefónica.

Al liberalizarse el mercado telefónico, se estableció que Telefónica debía ofrecer a los demás proveedores alguna forma de acceder a los bucles de abonado, de modo que éstos proveedores puedan llegar también hasta el usuario final. Se establecieron entonces varias modalidades de acceso ADSL, controladas por la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones, las cuales se pueden dividir en accesos indirectos (GigADSL y ADSL-IP) y accesos desagregados, dependiendo de si la red propia del ISP alcanza o no la centralita telefónica donde se conecta el usuario.

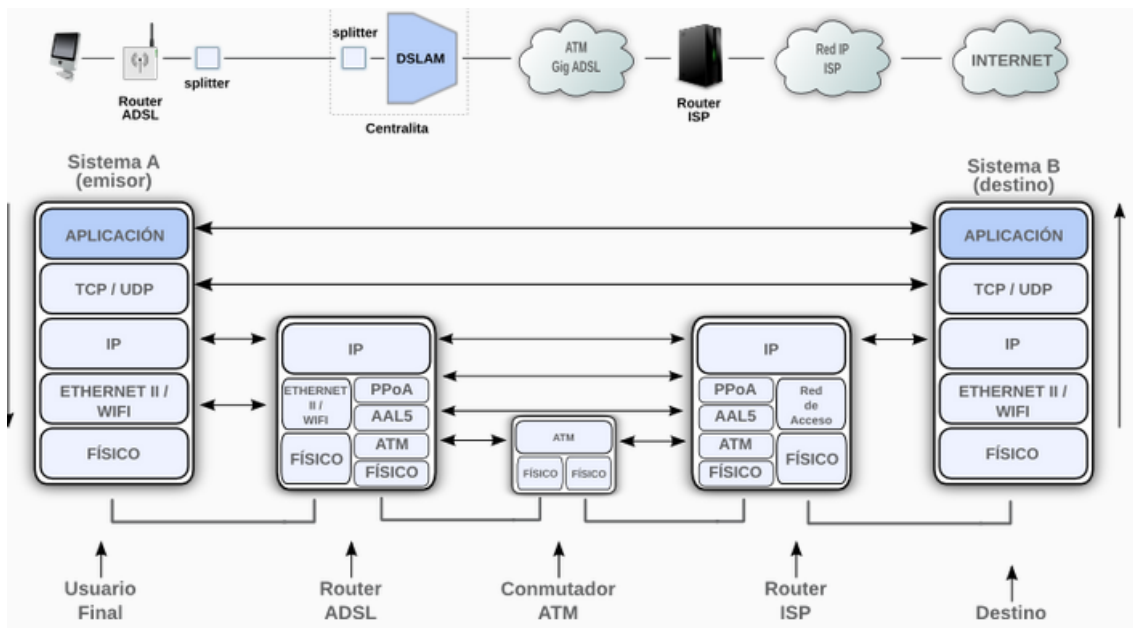
Acceso Indirecto

En aquellos lugares donde el ISP alternativo no dispone de red propia, el proveedor alquila a Telefónica el acceso ADSL. El servicio de acceso indirecto al bucle de abonado ofrecido por Telefónica es una facilidad de acceso que posibilita, mediante técnicas basadas en tecnologías xDSL, la concentración del tráfico procedente de un número variable de usuarios sobre una única interfaz de operador, compartiendo el acceso de cada uno de dichos usuarios con el servicio telefónico.

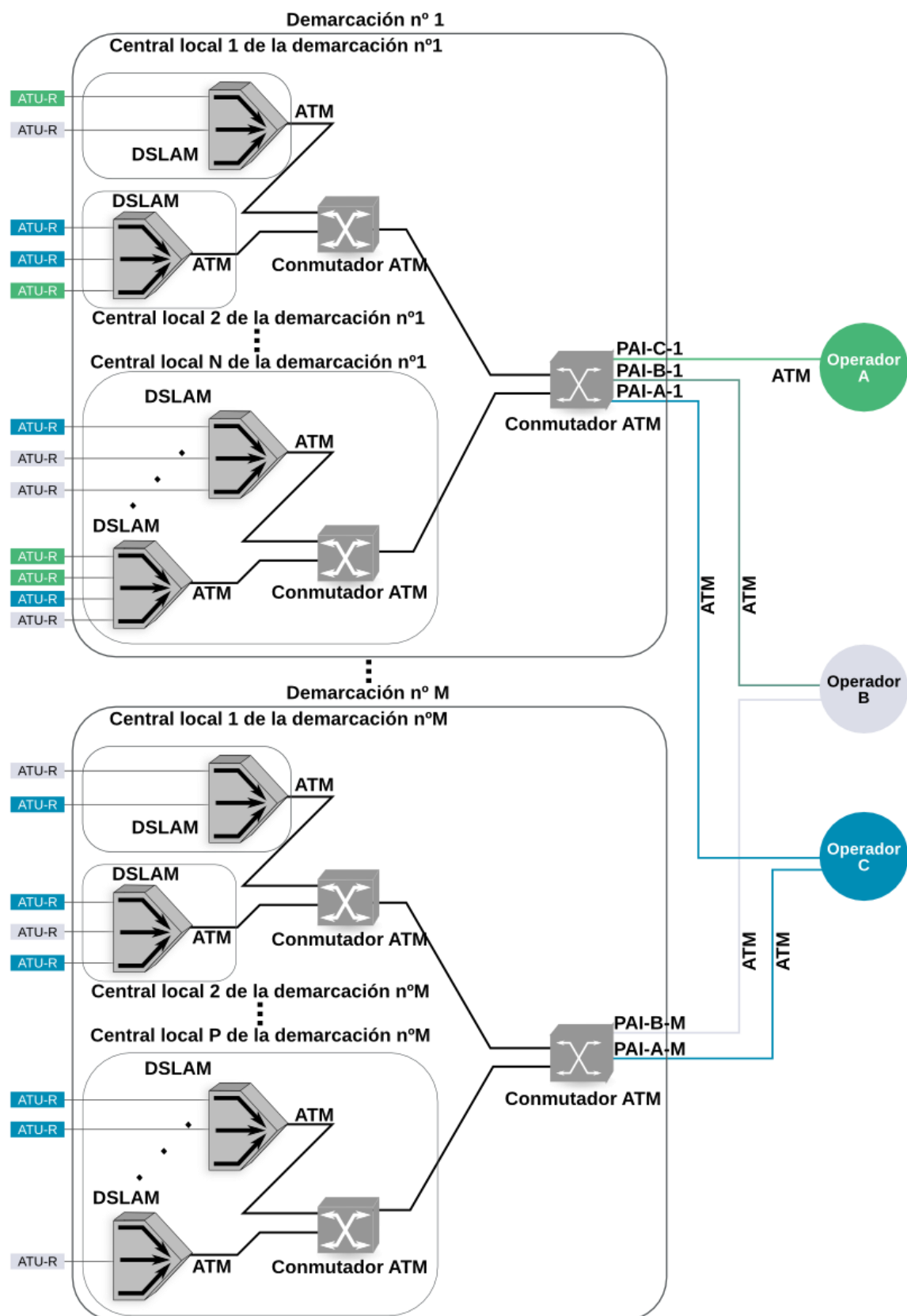


Hay dos variantes de acceso indirecto: GigADSL y ADSL-IP.

- **El servicio GigADSL** de Telefónica fue el primero que se ofreció, cuando nadie más que Telefónica disponía de la capacidad técnica para ofertar un ADSL propio. En esta modalidad, la facilidad de acceso indirecto al bucle de abonado permitirá la conexión del usuario con la red del operador cuando ambos estén situados dentro de una misma demarcación xDSL. Existen 109 demarcaciones en España, y en cada una de estas demarcaciones, el ISP tiene que llegar con su red y haber solicitado la conexión a un Punto de Acceso Indirecto (PAI), donde se concentrará todo el tráfico proveniente de sus usuarios.

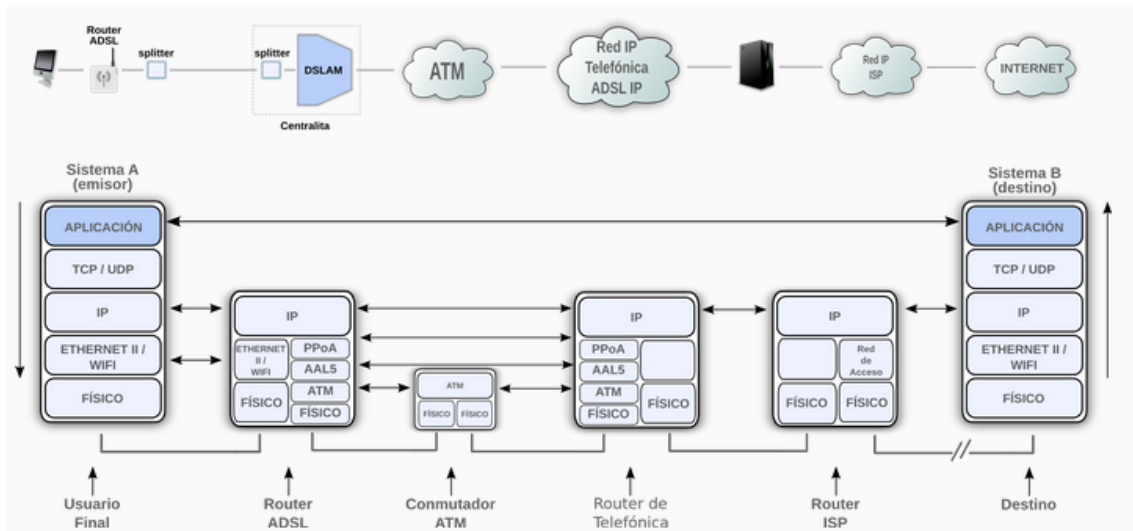


En esta variante de acceso, el ISP alquila todos los niveles de la conexión a Telefónica, siendo esta quien provee el enlace ATM y la dirección IP, por lo que se podría interpretar como un acceso ADSL de Telefónica revendido al cliente final.

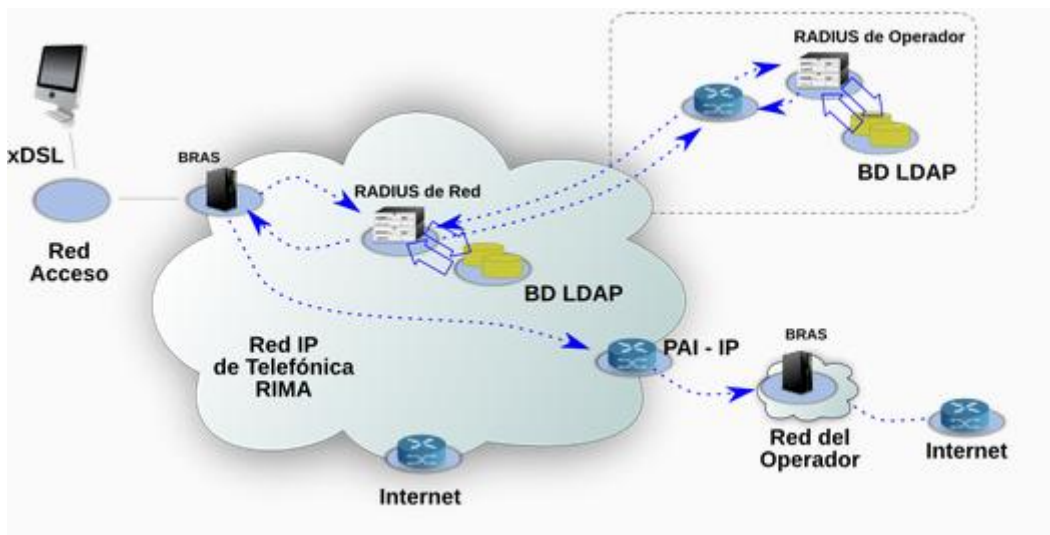


- La **segunda variante de acceso indirecto** se basa en el servicio **ADSL-IP**, donde el ISP alternativo alquila a Telefónica el enlace ATM, pero aporta en esta ocasión el nivel IP.

Esta facilidad de acceso se basa en conexiones PPP extremo a extremo, que garantizan la transparencia a la información generada por el usuario. Desde el punto de vista de arquitectura de protocolos, se transportan sesiones PPP encapsuladas en túneles L2TP. El tráfico procedente de usuarios finales se transporta hasta uno de los tres Puntos de Acceso Indirecto IP (PAI-IP) ofrecidos por Telefónica, dos en Madrid y uno en Barcelona



Esta modalidad es la más utilizada por los proveedores actualmente cuando no disponen de cobertura directa, ya que resulta más económica que GigADSL.

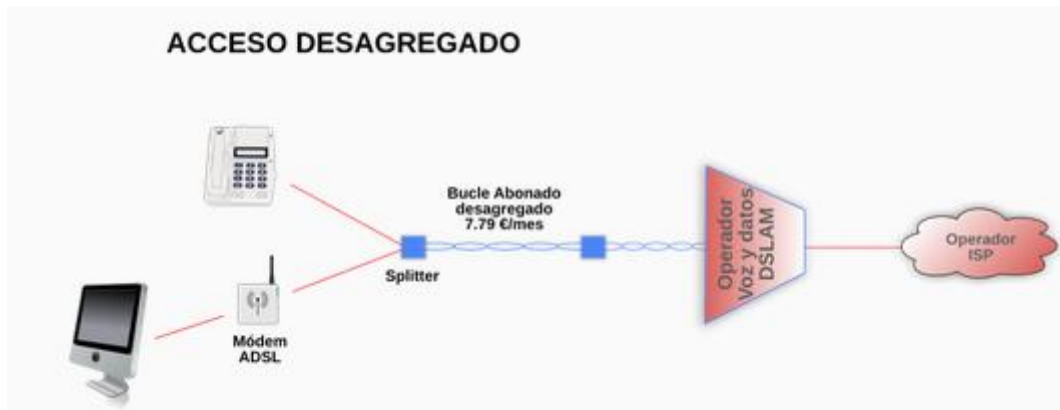


ADSL desagregado

En los principales núcleos urbanos españoles, los operadores alternativos han desplegado una red (generalmente ATM) que alcanza las centralitas en las que desean dar servicio. De esta forma, surge la posibilidad de desagregación del bucle de abonado en sustitución del alquiler del servicio ADSL mayorista de Telefónica.

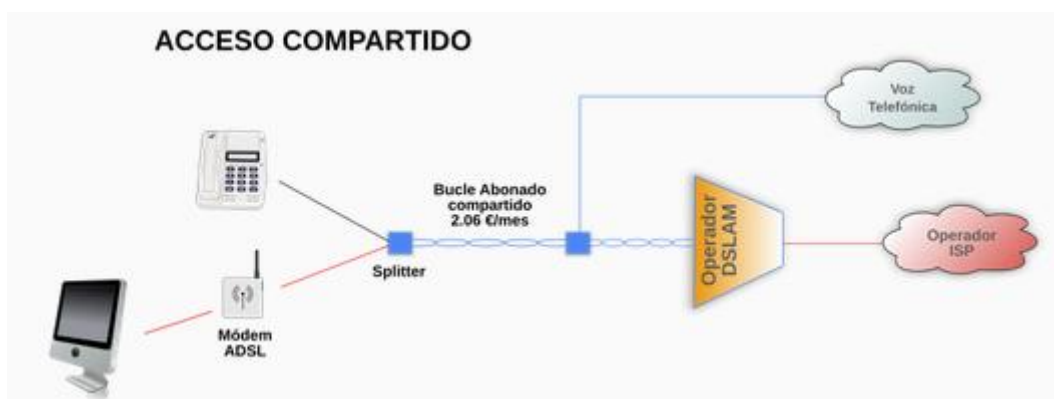
El operador debe pedir permiso para instalarse en la central a Telefónica, y ésta se lo concede siempre que pague el precio establecido por la CMT. Una vez se acepta la solicitud del operador, éste instala sus DSLAMs para ofrecer servicio, a los que conectará los bucles de abonado de sus usuarios.

El ADSL desagregado permite a los proveedores ofrecer mayores velocidades con un menor precio, si bien exige, como ya se ha comentado anteriormente, que el proveedor lleve su red propia hasta la central telefónica de la que depende el abonado, por lo que su cobertura suele ser menor que en los accesos indirectos.



Existen tres modalidades de acceso al bucle de abonado desagregado:

- **Acceso compartido.** En este caso, Telefónica cede al operador el uso de las frecuencias altas del par, por encima del rango de frecuencias utilizado por el servicio telefónico, mientras que las frecuencias bajas siguen a disposición de Telefónica para ofrecer servicio de telefonía básico o RDSI.



En este caso, el bucle de abonado debe disponer de un splitter que separe las frecuencias.

- **Acceso compartido sin STB** (Servicio Telefónico Básico). En esta modalidad, el proveedor dispone de las frecuencias altas del par para ofrecer sus servicios de voz (sobre IP) y banda ancha.

- **Acceso totalmente desagregado.** El operador alternativo dispone del uso de todo el rango de frecuencias del par de cobre.

Versiones de ADSL

La especificación original de ADSL que soportaba canales de bajada de hasta 8 Mbps (1,5 en la versión G.Lite con mayor alcance). Con el objetivo de ofrecer mejor velocidad y alcance han surgido nuevos estándares.

ADSL2

ADSL2 (G.992.3) es una mejora de ADSL que alcanza una velocidad de hasta 12 Mbps /2 Mbps (bajada/subida) manteniendo el ancho de banda utilizado por ADSL (1,1 MHz). La mejora de la velocidad se consigue principalmente modificando las técnicas de modulación y codificación.

La mejora de la velocidad se consigue a cortas distancias (< 2500m), aunque también se consigue ofrecer servicio de ADSL a distancias superiores a las conseguidas con ADSL.

Otras mejoras que aporta ADSL2 son la reducción del consumo eléctrico y ciertas mejoras en la gestión del estado de la conexión. La mejora del consumo eléctrico se ha realizado introduciendo dos estados nuevos para los módems ATU-C del ISP. Estos estados son los llamados L2 y L3 que permiten soportar bajas velocidades con menor consumo o poner el ATU-C en reposo, respectivamente. Las mejoras en la gestión se basan en la introducción de capacidades de medición del ruido, la relación S/R y la atenuación de la línea en los equipos utilizados, pudiéndose realizar un ajuste de la velocidad de cada canal en función, por ejemplo, de los errores que éste produzca.

La versión G.Lite (G.992.4) ofrece mayor alcance a costa de una velocidad máxima inferior (1,5 Mbps / 512 Kbps), y puede funcionar sin necesidad de utilizar splitters (aunque son recomendables).

ADSL2+

La diferencia fundamental que aporta ADSL2+ frente a ADSL2 es la utilización de una banda de frecuencias de 2,2 MHz (frente a los 1,1 MHz de ADSL y ADSL2). Este aumento se traslada al canal de bajada que aumenta su capacidad máxima hasta los 24 Mbps, mientras que el canal de subida sigue en 2 Mbps.

Sin embargo, este aumento del ancho de banda obliga a utilizar frecuencias más altas en las que las interferencias y la atenuación son mayores. Como consecuencia la longitud del bucle de abonado influye notablemente en la velocidad conseguida, siendo los usuarios más próximos los que notan el incremento de velocidad, pero haciéndolo despreciable a partir de los 3 Km.

ADSL2+ requiere cambios en la infraestructura de la red, y el ISP debe sustituir los módems (ATU-C) de sus DSLAMs, por lo que su implantación es lenta.

Anexo M

El Anexo M es una recomendación sobre ADSL2 y ADSL2+ que permite incrementar la velocidad de subida modificando su ancho de banda hasta los 276 KHz (en detrimento del canal de bajada). En consecuencia la velocidad de subida se incrementa hasta un máximo

teórico de 3,5 Mbps. (Otros autores hablan de 3 Mbps, aunque el aumento real suele ser hasta los 2,5 Mbps).

Actualmente, el ISP español Jazztel lo ofrece mediante el nombre ‘Turbo Up’ a sus usuarios de ADSL2+.

RE-ADSL2

Reach Extended ADSL2, ó ADSL2 de alcance extendido es una modificación al estándar G.992.3, Anexo L, que ofrece mayor alcance que ADSL2 (hasta 7 Km). Para ello, READSL restringe el canal de bajada hasta los 552 KHz, considerando que la banda de frecuencias por encima de dicho límite es prácticamente inútil en bucles de abonado de larga distancia, e incrementa la potencia utilizada.

Terminal remoto

El rendimiento de una línea ADSL depende en gran medida de la calidad, y sobre todo de la longitud del bucle de abonado. La atenuación y el ruido se incrementan con la longitud del bucle, especialmente en las frecuencias altas del espectro utilizado por ADSL, limitando la velocidad máxima conseguida.

Para conseguir mejores velocidades se puede instalar un Terminal Remoto (RT) más próximo al domicilio del abonado que la centralita telefónica que le ofrece servicio. El RT hace las funciones de ATU-C, y el resto del par de cobre hasta el domicilio funciona exactamente igual que en una ADSL conectada directamente a la centralita, por lo que el ATU-R no se tiene que modificar. El RT tiene que estar conectado mediante una línea de datos con la centralita sobre la que encaminar el tráfico de los usuarios conectados a él.

Alternativas al acceso del bucle de abonado

Aunque ADSL es la opción más utilizada para disponer de acceso de banda ancha a Internet, existen otras múltiples tecnologías que también cumplen dicho propósito, y que no están basadas en la utilización del par de cobre telefónico

Internet Móvil

Las redes de telefonía móvil soportan tráfico de datos para ofrecer acceso a Internet, ya sea a través de un teléfono móvil o a través de un módem conectado a un ordenador personal (o incluso a un router).

La denominada Tercera Generación (3G) supera en velocidad a la red de datos ofrecida sobre GSM llamada GPRS, aunque al requerir cambios en la infraestructura no está presente en todas las estaciones de telefonía móvil GSM, a diferencia de GPRS.

Los primeros dispositivos 3G estaban basados en UMTS y soportaban velocidades de hasta 2 Mbps. UMTS está siendo reemplazado por HSPA (con sus versiones de mayor ancho de banda de bajada y subida, HSDPA y HSUPA respectivamente) con velocidades de hasta 21 Mbps de bajada o 5 Mbps de subida. Se espera que una versión mejorada de HSPA denominada HSPA+ incremente la velocidad máxima teórica, aunque otras tecnologías como WIMAX o LTE

también son candidatas a hacerse con un mercado de Internet móvil de alta velocidad en lo que se ha venido a llamar cuarta generación.

WiFi

Las redes inalámbricas WiFi (Wireless Fidelity), además de su uso como redes de área local, también pueden ser utilizadas para ofrecer acceso a Internet a barrios o poblaciones enteras. Para ello se requiere disponer de una infraestructura de acceso, un conjunto de puntos de acceso interconectados entre sí que ofrezcan encaminamiento de tráfico hasta un acceso a Internet. Se han lanzado diferentes proyectos locales para ofrecer acceso a Internet mediante WiFi en algunas ciudades mediante iniciativa tanto particular como pública.

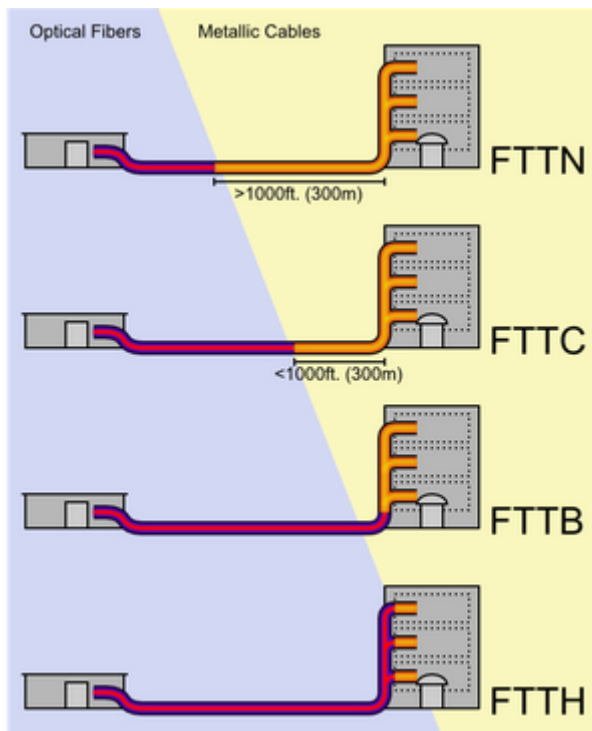
Sistemas inalámbricos de Banda Ancha

Una de las tecnologías que se han utilizado para ofrecer acceso a Internet y otros servicios (voz, video...) salvando la última milla sin utilizar el bucle de abonado es LMDS (Local Multipoint Distribution Service). LMDS es una tecnología inalámbrica de acceso ofrecida en dos bandas en torno a los 27 GHz y 29 GHz para establecer conexiones punto-a-multipunto, en la que una estación puede dar servicio a diferentes clientes, generalmente corporativos. El alcance puede llegar a 8 Km, aunque las condiciones climatológicas limitan su utilización práctica por debajo de los 3 Km.

FTTx

Existen diferentes nombres para denominar al acceso mediante fibra óptica al usuario final en función del punto hasta el cual se despliega la fibra óptica, y todas ellas se conocen como FTTx (Fiber to the ...):

- **FTTN** (Fiber to the neighbourhood): La fibra llega a algún punto cercano al vecindario del abonado, es la que deja la fibra óptica más lejos del domicilio del usuario.
- **FTTC** (Fiber to the curb): La fibra llega más cerca que en FTTN, se supone que hasta la acera del usuario.
- **FTTB** (Fiber to the building): Se despliega fibra hasta el propio edificio, utilizándose los cables telefónicos desplegados por el mismo para dar servicio a cada uno de los apartamentos.
- **FTTH** (Fiber to the home): La fibra óptica llega hasta el propio domicilio del abonado.



Técnicas de Control de Acceso al Medio

Introducción

Una gran parte de las redes de datos comparten un mismo medio de transmisión (par de cobre, cable coaxial, ondas de radio) para poder conectar múltiples estaciones. De esta forma diversas estaciones transmiten y reciben a través del mismo medio, por lo que es necesario un mecanismo para evitar que varias estaciones transmitan a la vez, pues sus transmisiones se interferirían entre sí.

Hay dos grupos de técnicas para decidir cual es la estación que puede transmitir:

- **Selección:** Las técnicas de selección designan cual es la siguiente estación con permiso para transmitir. La selección puede realizarse de forma centralizada, denominada sondeo o polling, o distribuida mediante un testigo que se intercambian las estaciones.
- **Contienda:** Se denomina así porque las estaciones compiten por el uso del medio de transmisión común. Las estaciones desean transmitir datos de manera aleatoria, y en esos momentos compiten por la utilización del canal de transmisión.

Las técnicas de contienda tienen su origen en el protocolo ALOHA, que fue concebido para crear redes de datos inalámbricas. El protocolo es muy sencillo y se basa en dos pasos: si una estación desea transmitir datos, lo hace; si al cabo de un tiempo (tiempo para que la señal vaya hasta el destino más lejano y vuelva más un incremento fijo) no ha recibido confirmación, reenvía la trama más tarde. Hay que destacar que las estaciones no escuchan el medio antes de transmitir. La simplicidad del protocolo hace que su eficiencia sea muy baja, por lo que fue mejorado en una nueva versión llamada ALOHA ranurado, que permite que las transmisiones se realicen sólo en ciertos instantes de tiempo, y no en cualquier momento.

La técnica de acceso múltiple con detección de portadora , CSMA (del inglés Carrier Sense Multiple Access), aporta como mejora fundamental frente a ALOHA la necesidad de escuchar el medio antes de transmitir. De esta forma, si una estación detecta que se está realizando una transmisión, deberá esperar antes de transmitir. Hay que destacar que tanto CSMA como ALOHA transmiten las tramas completas independientemente de que se haya producido una colisión. Por lo tanto, el medio permanece inutilizable durante toda la transmisión de las tramas que colisionan.

ALOHA y CSMA no se utilizan actualmente, pero son la base de las técnicas de acceso al medio de redes como Ethernet o WiFi.

CSMA/CD

En CSMA, cuando se produce una colisión el medio permanece inutilizable hasta que se terminan de transmitir las tramas, y el rendimiento es muy bajo si el tiempo de transmisión es relativamente largo en comparación con el tiempo de propagación. Para mejorar el rendimiento se introdujo la técnica de detección de colisiones (CD, del inglés Collision Detection).

El funcionamiento de CSMA/CD es el siguiente:

1. Una estación que tiene datos que transmitir escucha el medio, si éste está libre, transmite.
2. Si el medio se encuentra ocupado, continúa escuchando hasta que se queda libre, y entonces transmite inmediatamente.
3. Si durante la transmisión se detecta una colisión se transmite una señal de interferencia que todas las estaciones entienden como que se ha producido una colisión. En ese momento deja de transmitir.
4. Tras detectar la colisión, la estación espera un periodo de tiempo variable, que se calcula siguiendo el algoritmo de espera exponencial binaria, y entonces intenta transmitir.

Para retransmitir una trama se espera un número de slots o ranuras de tiempo indicado por el algoritmo de **espera exponencial binaria** (binary exponential backoff). Este algoritmo establece que el número de slots se escoge al azar entre 0 y un número que crece si se siguen produciendo colisiones. Tras la primera colisión se espera 0 ó 1 slots, si se colisiona se elige un valor entre 0 y 3 slots, subiendo exponencialmente el límite superior de acuerdo a la fórmula $2^i - 1$, siendo i el número de colisiones que se han producido en ese intento.

Según la normativa IEEE, una colisión debe poder ser detectada antes de terminar de transmitir la trama, por lo que el tiempo de transmisión de la trama ha de ser mayor que el máximo tiempo posible para detectar una colisión (una señal vaya hasta la estación más lejana y vuelva). Para ello se define una **longitud mínima de trama**, que representa el número de octetos cuya transmisión tarda más que el doble del tiempo de propagación entre las estaciones más alejadas.

$$t_{\text{transm}} > 2 * t_{\text{prop}}$$

La técnica CSMA/CD se ha utilizado en implementaciones antiguas de Ethernet, mientras que en redes Ethernet construidas con switches ya no se utiliza.

CSMA/CA

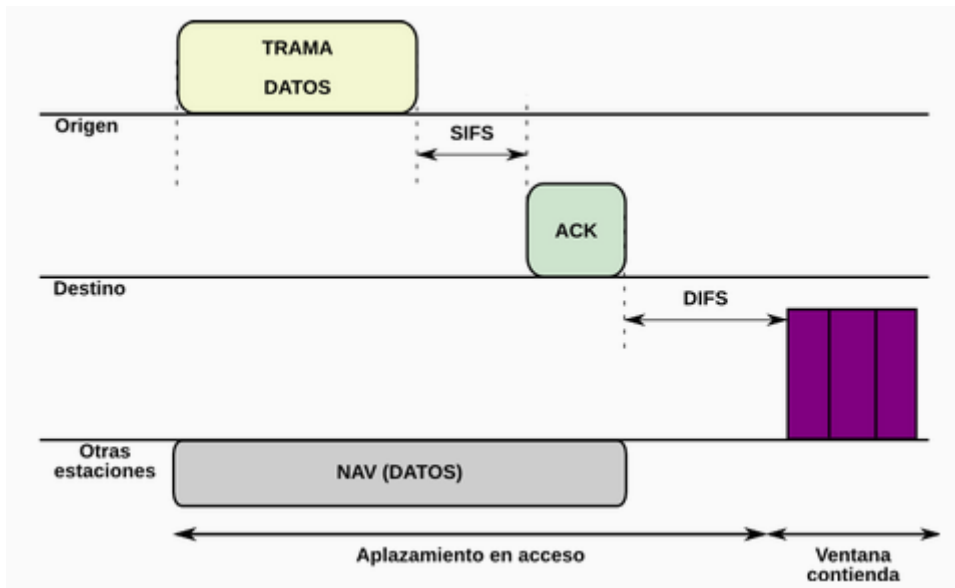
CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance) es un mecanismo de control de acceso al medio basado en contienda que está orientado a **medios de transmisión inalámbricos**. En transmisiones inalámbricas una estación no puede detectar colisiones mientras está transmitiendo, por lo que no se puede saber que se está produciendo una colisión y dejar de transmitir (como en CSMA/CD), sino que las detecciones se deducen al no recibir una trama de confirmación ACK.

El mecanismo básico de transmisión en CSMA/CA consiste en escuchar el medio antes de transmitir. Si el medio se encuentra libre se espera un intervalo de tiempo conocido como IFS (Interframe Space) antes de transmitir la trama de datos. Si por el contrario se detecta una transmisión en el medio, se espera a que dicha transmisión finalice. Se espera también un intervalo IFS así como un tiempo de espera aleatorio y, si todavía no se detecta transmisión, la estación transmite su trama.

La estación receptora transmite una trama de confirmación ACK tras un corto intervalo de tiempo conocido como SIFS (Short Interframe Space). Las tramas ACK indican que la trama se ha recibido correctamente y no se han producido colisiones, porque la estación emisora no podría haber detectado una colisión mientras transmitía la trama.

La detección del medio libre u ocupado se realiza a dos niveles: detección de portadora física y detección de portadora virtual. La detección de portadora física la proporciona el nivel físico, de la misma forma que en redes de cable. Sin embargo, la detección de portadora virtual la proporciona el nivel MAC mediante un mecanismo basado en vectores de reserva. Cuando una estación comienza a transmitir se incluye en la transmisión información para calcular cuanto tiempo va a mantener ocupado el medio físico. Las estaciones que lo escuchan establecen un **vector de reserva** (NAV, Network Allocation Vector) a partir de dicha duración. El NAV puede verse como una cuenta regresiva, cuando llega a cero la portadora virtual indica que el medio está libre, y mientras es distinto de cero el medio permanece ocupado.

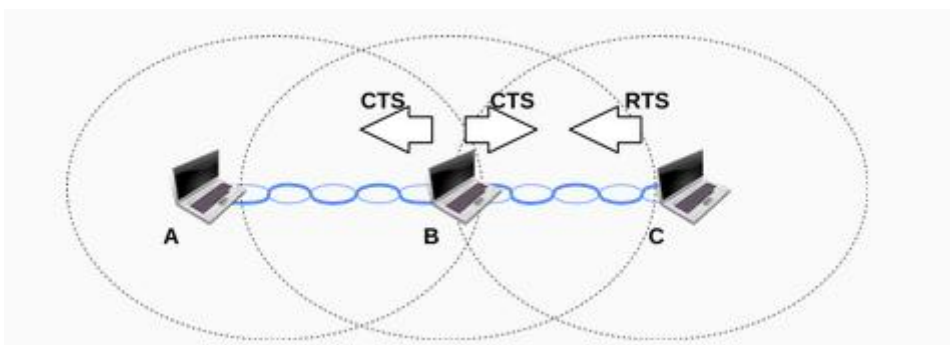
El mecanismo de espera aleatoria establece un número aleatorio de slots de tiempo que una estación espera antes de comenzar a transmitir. De esta forma se evita riesgo de colisiones al estar varias estaciones esperando a que finalice la misma transmisión para transmitir. Si durante este tiempo se detecta una transmisión en el medio, se vuelve a esperar a que termine, se espera un nuevo IFS y otra espera aleatoria. Al igual que en CSMA/CD, cada vez que se produce un nuevo intento de transmitir el rango para elegir aleatoriamente el número de slots que se espera se incrementa.



En la transmisión por medios inalámbricos se puede presentar un problema conocido como el terminal oculto. Una estación A que se encuentra en el rango de otra estación B, pero no en el de una estación C no puede detectar cuando C está transmitiendo a B. En este caso se pueden producir colisiones al realizar A y C transmisiones simultáneas.

RTS/CTS

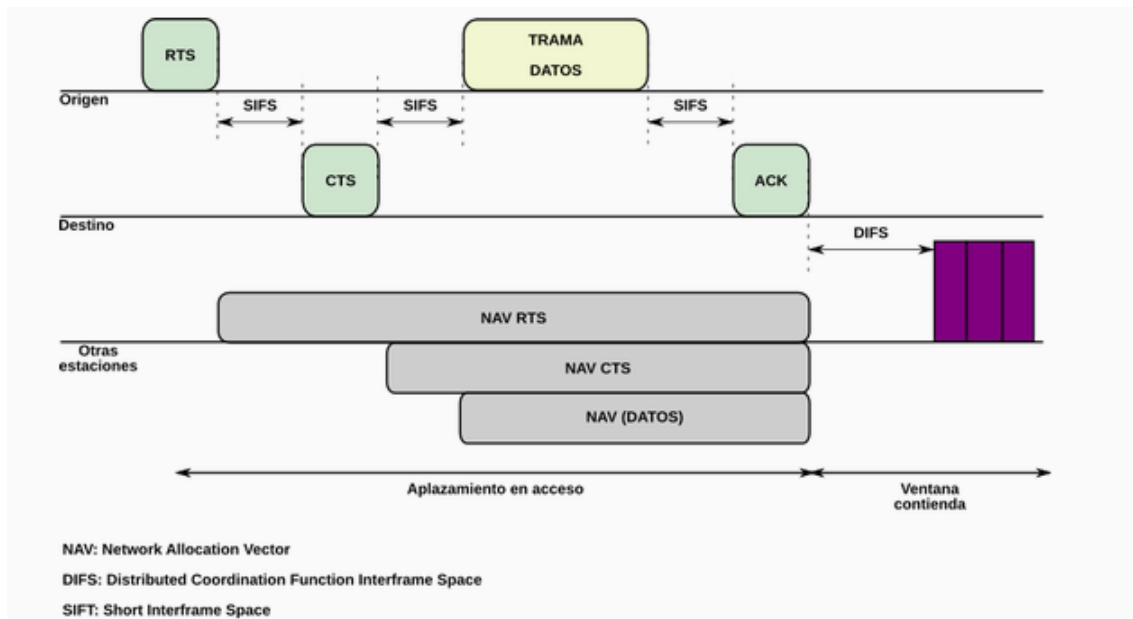
Para solucionar el problema del terminal oculto se utiliza un mecanismo de solicitud de transmisión que introduce dos nuevas tramas de control: RTS (Request to send) y CTS (Clear to send). La estación que desea transmitir comienza enviando un paquete RTS al receptor, el cual contesta con un CTS **alertando a sus estaciones vecinas** de la transmisión que se va a llevar a cabo. Cuando el emisor recibe el mensaje CTS, y tras un tiempo de espera SIFS, transmite la trama de datos y espera la recepción de la confirmación ACK.



Las tramas RTS y CTS establecen en las estaciones que las escuchan nuevos vectores de reserva NAV, cada uno con una duración diferente que permiten a cualquier estación (esté en el rango del emisor o del receptor) conocer el instante en el que la transmisión va a finalizar.

En el mecanismo RTS/CTS se pueden producir colisiones en las tramas RTS, no así en las tramas de datos puesto que todas las estaciones aceptadas deberán considerar el medio ocupado

todo el tiempo que vaya a durar la transmisión (indicado tanto en la trama RTS, CTS y en la trama de datos).



Este mecanismo opcional es especialmente útil para evitar retransmisiones muy largas. En redes inalámbricas se define un tamaño de trama, denominado **umbral RTS**, a partir del cual las tramas han de enviarse utilizando RTS/CTS. Este umbral se negocia al inicio de la comunicación como un parámetro más.

Arquitecturas de Comunicaciones en las RALs

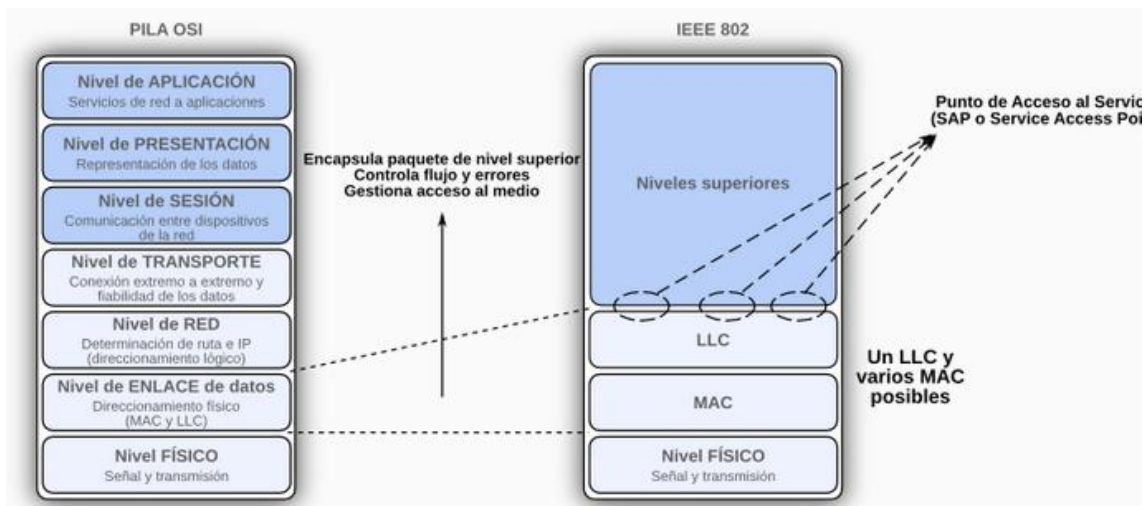
Protocolos de comunicación en las RALs

Para entender la arquitectura de comunicaciones de las redes de área local desplegadas en cualquier oficina o domicilio hoy en día es imprescindible hacer un repaso a los estándares y protocolos que gobiernan la comunicación entre los sistemas que las forman, así como algunos otros protocolos que han dado lugar a las soluciones actuales.

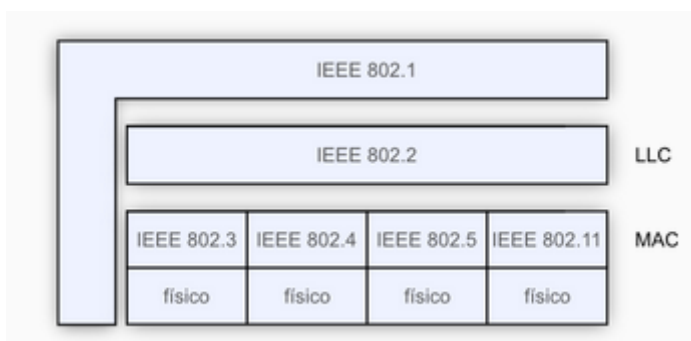
Según OSI, los niveles superiores (3-7) son independientes de la arquitectura de red utilizada, por lo que una RAL se restringe a los dos niveles inferiores. Es por ello que este tema se centra en las funcionalidades que ofrecen el nivel físico y, principalmente, el nivel de enlace del modelo de referencia OSI.

En una red de área local la elección del medio de transmisión tiene gran relevancia, pues determina las características que tendrá la red. El medio de transmisión afecta también al nivel superior, e interfiere en su funcionamiento.

Sobre el nivel físico se encuentran los protocolos que ofrecen los servicios del nivel de enlace. IEEE decidió separar en dos niveles las tareas del nivel de enlace: LLC y MAC. El primero de ellos sería el encargado de ofrecer una interfaz a los protocolos de nivel superior y de realizar control de flujo y errores, mientras que el nivel MAC se encargaría de las tareas de encapsulación y reensamblado, así como de realizar el control de acceso al medio físico.



Esta separación en niveles está enfocada a ofrecer un nivel LLC común, pero utilizar diferentes niveles MAC en función del medio físico y topología de la red. IEEE definió el nivel LLC en el estándar 802.2, que se apoyaba en diferentes estándares MAC según fuera el medio de transmisión, entre los que destacan IEEE 802.3 para redes de cable e IEEE 802.11 para redes inalámbricas. El estándar IEEE 802.1 es una familia de estándares que agrupan funciones de control y gestión de una red de área local.



Frente a esta visión fuertemente estandarizada de IEEE se encuentra una propuesta ampliamente utilizada y que se encuentra en la mayoría de las redes de cable actuales, como es Ethernet II (Ethernet DIX o simplemente Ethernet). A lo largo de este apartado se presentan las similitudes y diferencias, así como la integración de protocolos de nivel superior (especialmente TCP/IP) en cada una de ellas.

Subnivel LLC

El subnivel LLC (Logical Link Control) se corresponde con la parte superior del nivel de enlace en la arquitectura OSI, y es el encargado de ofrecer una interfaz común a las capas superiores independiente de los diferentes subniveles MAC que pudieran existir para utilizar diferentes medios de transmisión y topologías de red. Por lo tanto, este nivel es común para el uso de cualquier tecnologías de red según la pila de protocolos estandarizada por el IEEE.

La interfaz a las capas superiores consiste en ofrecer diferentes **puntos de acceso al servicio** (o Service Access Points, SAPs) en los que conectar los diferentes protocolos de nivel superior. Estos SAPs sirven para multiplexar los protocolos que se transmiten sobre la capa MAC y decodificarlos en la recepción, para así entregar los datos a la entidad correspondiente.

El subnivel LLC también lleva a cabo tareas de control de errores y control de flujo, ofreciendo diferentes **tipos de operación**:

- Tipo 1: **Servicio no orientado a conexión**. Este tipo de operación no incluye mecanismos de control de errores lógicos ni de flujo puesto que las tramas no están numeradas, no garantizándose la correcta recepción de los datos.
- Tipo 2: **Servicio orientado a conexión**. Realiza control de errores y flujo, similar al que ofrece HDLC. Se basa en números de secuencia que se envían en las cabeceras de los mensajes, así como confirmaciones de recepción.
- Tipo 3: **Servicio no orientado a conexión con confirmación**. Es un tipo de servicio en el que se confirman las tramas de forma individual, aunque no se realiza previamente un establecimiento a conexión entre las entidades LLC implicadas. Se utiliza en situaciones en las que la entidad emisora necesita saber que una información ha alcanzado su destino, pero no resulta eficiente tener que establecer una conexión previamente, por el tiempo de establecer la conexión o el coste de mantener conexiones con múltiples entidades.

De estos tipos de operación es el tipo 1 el más utilizado en redes de área local, en las que los errores físicos y lógicos son prácticamente despreciables. Los errores físicos pueden ser detectados por el subnivel inferior MAC (aunque no corregidos), y los protocolos de niveles superiores pueden encargarse de realizar las recuperaciones oportunas extremo a extremo así como el control de flujo. El uso de este tipo de operación es muy eficiente porque estas tareas no se encuentran duplicadas en diferentes niveles.

Las tramas LLC están formadas por un campo de control similar al de HDLC, y dos campos para definir los puntos de acceso al servicio en destino (DSAP, Destination Service Access Point) y en origen (SSAP, Source Service Access Point), que definen el protocolo de nivel superior que utiliza LLC en origen y en destino. A continuación se incluye el campo de información que contendrá la PDU del nivel superior. La trama ó PDU de LLC es pasada al subnivel inferior, MAC, que añade sus cabeceras.



La inclusión de los campos DSAP y SSAP para poder identificar al protocolo de nivel superior permite la utilización de subniveles MAC que no cuentan con un campo para identificar el tipo de datos que transportan.

El campo de control puede ocupar 8 ó 16 bits en función del tipo de trama que se envíe. En las tramas de supervisión (S) o de información (I) el campo de control es de 16 bits, e incluye números de secuencia y campos de supervisión para llevar a cabo las tareas de control de errores y de flujo. En las tramas no numeradas (U), que son las únicas que se utilizan con operaciones de tipo 1, este campo es de sólo 8 bits. En las tramas U prácticamente sólo se utilizan órdenes del tipo “información no numerada”, que únicamente transportan datos. Estas

tramas tienen el campo de control fijo con el valor en hexadecimal 0x03 (que se traduce por 11000000 si se tiene en cuenta que los bits de la izquierda son los menos significativos).

Subnivel MAC

Las redes de área local están basadas en la compartición de un medio de transmisión. En este sentido, el subnivel MAC (Medium Access Control) es el encargado de hacer un uso eficiente de la capacidad del medio utilizado, y realiza las tareas de control de acceso al medio. Otras funciones que realiza el subnivel MAC son las de empaquetado y desempaquetado de los datos en tramas MAC, así como la detección de errores y el direccionamiento a nivel MAC.

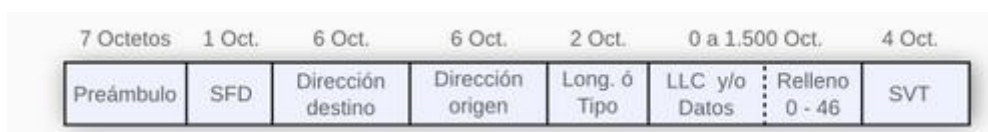
Los diferentes tipos de redes tienen una implementación del subnivel MAC diferente según IEEE. Este subnivel depende del medio físico de transmisión y su topología, por lo que existen diferentes estándares para el subnivel MAC dentro de la arquitectura propuesta por IEEE. Entre ellos, los más relevantes son IEEE 802.3 para redes de cable e IEEE 802.11 para redes inalámbricas. A continuación se describen cada uno de ellos.

Ethernet

El subnivel Ethernet definido por IEEE es el estándar IEEE 802.3. Sin embargo, este estándar no es el más utilizado en redes Ethernet debido a que cuando IEEE estandarizó 802.3 ya se venía utilizando con éxito el protocolo Ethernet II (también conocido como Ethernet DIX). Ethernet II es similar a IEEE 802.3 pero prescinde del subnivel LLC, ya que incorpora un campo tipo que identifica el protocolo de nivel superior utilizado. El subnivel MAC de redes Ethernet utiliza **CSMA/CD** como técnica de control de acceso al medio.

Los formatos de trama de IEEE 802.3 y Ethernet II son muy similares, y la única diferencia estriba en el uso del campo longitud o tipo. Mientras 802.3 utiliza este campo para indicar la longitud, en número de octetos, contenida en el campo de datos, Ethernet II lo utiliza como identificador del protocolo del nivel superior, siendo éste generalmente IP que contiene su longitud en su propia cabecera.

El formato de una trama Ethernet es el siguiente:



La trama se inicia con un preámbulo de 7 octetos iguales (concretamente su valor es 10101010), seguidos de un octeto de delimitación de inicio de trama (SFD, Start of Frame Delimiter), cuyo valor es 10101011. Estos octetos permiten al receptor sincronizarse y localizar el primer bit de la trama.

A continuación se encuentran las direcciones MAC origen y destino de la trama, de 6 octetos cada una. La dirección destino puede ser de una única estación, dirección multicast o dirección broadcast.

El siguiente campo es un segmento de 2 octetos que tiene dos interpretaciones excluyentes. Si su valor es menor o igual a 1500, se corresponde con la longitud del campo de datos en número de octetos. Si su valor es mayor o igual a 1536, entonces indica el **tipo** del protocolo del nivel superior.

Los datos del nivel superior se incluyen a continuación, en un campo que tiene una longitud mínima de 46 octetos y máxima de 1500. Para el correcto funcionamiento de la detección de colisiones en CSMA/CD es necesario que el campo de datos tenga una longitud mínima de 46 octetos, extendiéndose con octetos de relleno si el número de octetos a transmitir es menor.

Al finalizar la trama se introduce una Secuencia de Verificación de trama de 4 octetos, calculada sobre toda la trama excepto el preámbulo, el SFD y la propia SVT. Por lo tanto se pueden detectar errores de transmisión tanto en los datos como en las direcciones o el campo longitud/tipo.

Direcciones MAC

Las direcciones MAC utilizadas como origen y destino de las tramas ocupan 6 octetos y tienen un formato definido. La primera mitad de la dirección es un identificador de la organización que la fabrica (OUI, Organizational Unique Identifier), mientras que la segunda mitad es el identificador que la propia organización de asigna a la tarjeta (MUI, Manufacturer Unique Identifier). Los OUIs son asignados por la autoridad de registro de IEEE, y los MUI los controla cada organización, no repitiendo el mismo identificador en dos tarjetas fabricadas por la compañía. De esta forma se asegura que no hay dos tarjetas en el mundo con la misma dirección, y se evita el trabajo de asignar direcciones MAC en una LAN.

El bit menos significativo del primer octeto (M) indica si la trama es o no una trama multicast, y el segundo bit menos significativo del mismo octeto (L) se utiliza para poder establecer direcciones administradas localmente (direcciones no sujetas a la normativa de identificadores OUI). La dirección con todos los bits a 1 es la dirección de broadcast o difusión.

Las direcciones MAC se suelen mostrar en grupos de dos caracteres hexadecimales separados por “:”. La transmisión se suele realizar comenzando por el bit menos significativo, por lo que la dirección 01:23:45:67:89:AB se transmitiría como 10000000 11000100 10100010 11100110 10010001 01011101. Obsérvese que este formato de transmisión envía el bit M en primer lugar, seguido del bit L.



Versiones de Ethernet

Los estándares de Ethernet han sufrido numerosas evoluciones, y existen diferentes versiones que estandarizan las diferentes velocidades y medios de transmisión sobre los que se transmite.

Ethernet

Se conoce como Ethernet (a secas) a un conjunto de estándares que describían redes a una velocidad máxima de 10Mbps sobre diferentes medios de transmisión: cable coaxial, par trenzado y fibra óptica. Estas redes funcionan en modo semidúplex, lo que significa que una estación puede enviar y recibir datos, pero no al mismo tiempo. Este tipo de redes están en desuso.

Fast Ethernet

La denominación de Fast Ethernet se aplica al conjunto de estándares que establecen redes Ethernet que operan a 100 Mbps. En función del medio físico utilizado para transmisión se crearon diferentes versiones de Fast Ethernet:

- **100BASE-TX:** Utiliza dos pares de cable trenzado no apantallado (UTP, Unshielded Twister Pair) de categoría 5 como medio físico, uno para transmitir y otro para recibir, y la señalización se hace mediante MLT-3 para equilibrar el uso de señales V+ y V- reduciendo las interferencias y la radiación emitida. Estas redes funcionan en modo Full-Duplex, para lo cual se utilizan switches como elementos de interconexión, lo que crea un dominio de colisión por cada enlace entre estaciones. En cada enlace (o dominio de colisión) sólo se encuentran dos estaciones, y puesto que se envía por un par trenzado y se recibe por otro, no se pueden producir colisiones. Por compatibilidad con redes y elementos de redes Ethernet se sigue utilizando CSMA/CD y el mismo formato de trama, aunque no se detecten colisiones ni se necesite un tamaño mínimo de trama.
- **100BASE-FX:** Esta versión requiere de dos cables de fibra óptica, uno para recibir y otro para transmitir, aplicando el esquema de codificación 4B/5B NRZI. Tampoco existen colisiones en 100BASE-FX.
- **100BASE-T4:** Está diseñada para mejorar la velocidad de las redes Ethernet manteniendo instalaciones de cable UTP de categoría 3. Debido a la inferior calidad del cable no se pueden alcanzar las mismas velocidades de señalización, por lo que los 100 Mbps se dividen en tres flujos de datos, enviando cada uno por un par trenzado. De esta forma se necesitan 3 pares para transmitir y 3 para recibir, y puesto que las instalaciones disponen de 4 pares de cable trenzados, dos cables se comparten, impidiendo funcionar en modo dúplex (se limita la operación de 100BASE-T4 al modo Semi-Dúplex). La codificación empleada en estas redes es 8B6T NRZ, que transmite a una velocidad de señalización de $6/8 \times 33\text{Mbps} = 25\text{Mbaudios}$

Giga Ethernet

Las redes Giga Ethernet alcanzan velocidades de 1 Gbps sobre cables de par trenzado o sobre fibra óptica. Estas redes pueden funcionar en modo dúplex o semidúplex. Funcionando en modo dúplex, al igual que las redes Fast Ethernet, no es necesario detectar colisiones ni existen limitaciones de longitud de trama, aunque se mantiene el uso del protocolo CSMA/CD.

Para funcionar en modo semidúplex sobre un medio compartido es necesario que el tiempo de transmisión de una trama sea superior a dos veces el tiempo de propagación, por lo que se tiene que utilizar una trama mínima de 512 octetos, lo que se conoce como **extensión de portadora**. Si una estación dispone de diversas tramas cortas para transmitir, también se pueden enviar esas tramas en modo ráfaga (**frame bursting**), lo que evitaría tener que utilizar la extensión de portadora.



10 Giga Ethernet

Una vez que las conexiones Giga Ethernet se han hecho habituales, ha sido necesario disponer de conexiones más veloces, no sólo para interconectar switches de gran capacidad, sino también para interconectar edificios, como backbone de redes empresariales o para interconectar LANs.

Se han definido 4 estándares de 10 Giga Ethernet que abarcan enlaces desde 300 m (10GBASE-S) hasta 10 Km (10GBASE-L) ó 40 Km (10GBASE-E), o incluso que utilizan DWDM para enviar diferentes flujos de información (10GBASE-LX4). La codificación empleada es 64B/66B, que ofrece una sobrecarga muy inferior a 4B/5B.

Más recientes son estándares de Ethernet a 40 Gbps ó 100 Gbps orientadas a la interconexión de centros de datos masivos.

WiFi

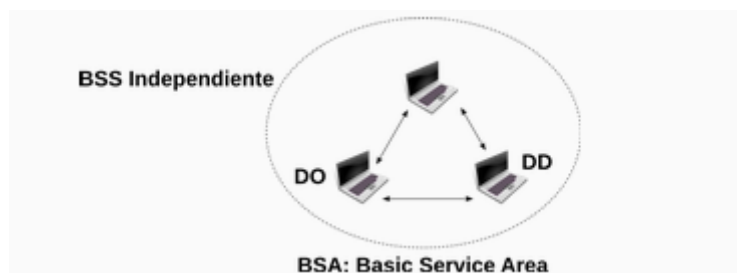
WiFi es la marca comercial propiedad de una alianza de empresas que promueven el uso y desarrollo de redes inalámbricas basadas en los estándares IEEE 802.11. Bajo esta denominación se conocen diferentes versiones de redes inalámbricas definidas por el conjunto de estándares 802.11, aunque no todos los productos que cumplan estos estándares lleven la marca WiFi o hayan sido certificados por la WiFi Alliance. Por lo tanto se suelen utilizar WiFi y 802.11 indistintamente para referirse a redes inalámbricas de la familia de estándares IEEE 802.11.

IEEE 802.11 es por tanto un conjunto de estándares que definen servicios y opciones del nivel físico y acceso para crear redes de área local inalámbricas. La gran diferencia con las redes Ethernet es el medio de transmisión, que prescinde de la necesidad de instalar redes de cable o fibra óptica, con la consiguiente reducción de costes. Otros problemas derivados de la dependencia de una red física desplegada como son las dificultades para realojar equipos o personal también se solucionan con las redes inalámbricas. Sin embargo, éstas no han acabado reemplazando a las redes Ethernet en la creación de LANs sino complementándolas. Otros usos muy extendidos de las redes inalámbricas son la interconexión punto a punto de edificios

o la creación de redes ad hoc (sin infraestructura). El descenso del precio de los equipos disponibles y el aumento de su velocidad ha disparado su utilización en los últimos años.

Tipos de redes

El elemento básico de la arquitectura IEEE 802.11 es el Conjunto Básico de Servicios, BSS (Basic Service Set). Se define un BSS como un conjunto de estaciones inalámbricas que coordinan el acceso al medio compartido mediante un procedimiento dado. El área de cobertura geográfica de un BSS se conoce como Área de Servicios Básicos, BSA (Basic Service Area), y es similar a una celda en una red de comunicaciones celular. Este área puede tener una dimensión de varias decenas de metros. Conceptualmente todas las estaciones de una BSS pueden comunicarse directamente entre sí, y en la misma zona pueden coexistir diferentes BSS independientes.



Se puede usar un solo BSS para formar una red ad hoc. Este tipo de redes consiste en un grupo de estaciones dentro de un área común de cobertura, y con naturaleza normalmente temporal. La red se puede constituir como tal de forma espontánea en cualquier lugar y se puede deshacer tras un periodo de tiempo dado. En este modo de operación las estaciones se comunican directamente entre sí utilizando una Función de Coordinación Distribuida, DCF (Distributed Coordination Function) en el acceso al medio, la cual se explica más adelante.

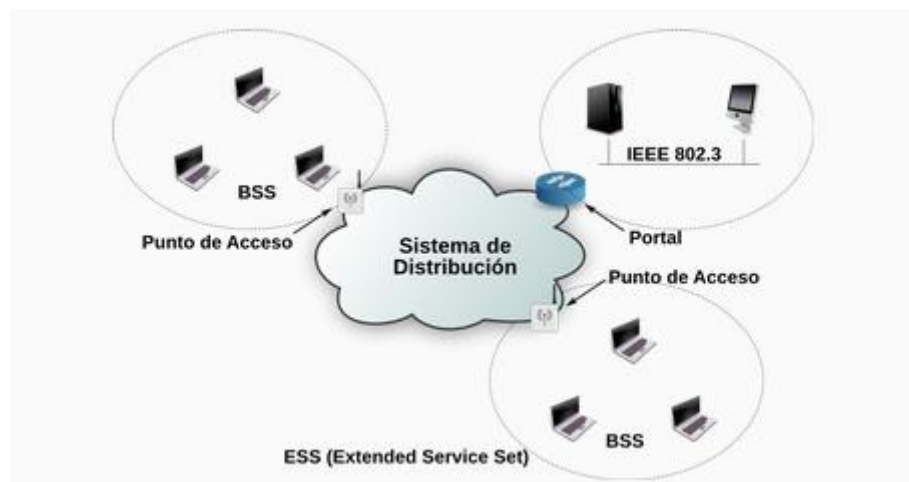
Una red de infraestructura (BSSI ó BSS de Infraestructura) es una extensión de las redes ad-hoc, que proporciona a los usuarios inalámbricos una extensión del servicio, normalmente proporcionando el acceso a una red fija. Las redes de infraestructura de acuerdo al estándar IEEE 802.11 se constituyen utilizando Puntos de Acceso, AP (Access Point). El AP actúa como un puente permitiendo a las estaciones inalámbricas conectarse con equipos de, por ejemplo, una red Ethernet. Para ello el AP incorpora las funciones de un portal, que es una entidad lógica que extiende el rango de la red (puente) y realiza las traducciones entre los diferentes formatos de trama.



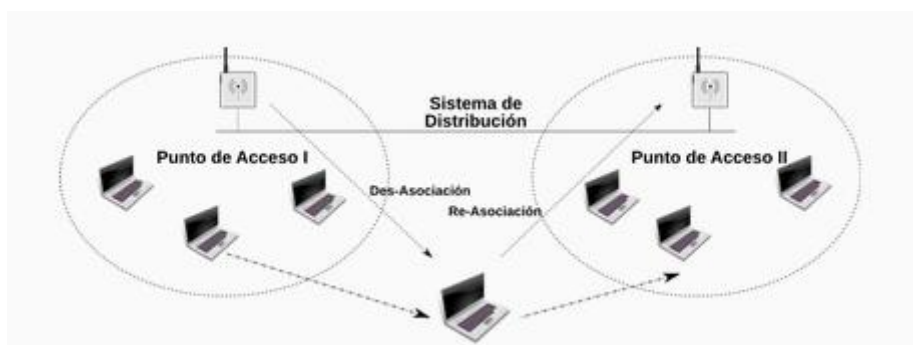
En una red de infraestructura las estaciones han de asociarse con el AP. El proceso de asociación permite que el AP sea consciente de las estaciones que tiene conectadas en un determinado momento. La asociación puede estar acompañada de servicios de seguridad como la autenticación del usuario. De la misma forma existe un proceso de des-asociación

para indicar a un AP que la estación va a abandonar el BSS. La des-asociación se debería llevar a cabo al desconectar, apagar el equipo o desplazarse fuera de la BSA, aunque el subnivel MAC está preparado para funcionar correctamente aunque no reciba los mensajes de des-asociación.

Por medio de puntos de acceso se puede extender el ámbito de funcionamiento de una BSA interconectando varias BSS a través de un Sistema de Distribución, DS (Distributed System) ofreciendo lo que se conoce como Conjunto de Servicios Ampliados, ESS (Extended Service Set). El DS es cualquier red, generalmente de cable, que interconecta diferentes BSS a través de sus APs y sirve como backbone para transportar paquetes entre diferentes BSSs. A través de un ESS se puede proporcionar cobertura inalámbrica a un edificio o un campus, que no podrían ser cubiertas mediante un único AP.



Las estaciones pueden desplazarse (roaming) dentro del área cubierta por un ESS. Cuando las condiciones de cobertura lo requieran, pueden cambiar de un BSS a otro a través del proceso conocido como re-asociación. Cuando una estación se aleja del AP al que se encuentra asociada y dispone de otro AP con una señal de mayor intensidad, ésta se des-asocia del primer AP y se re-asocia al segundo AP.



Formato de trama

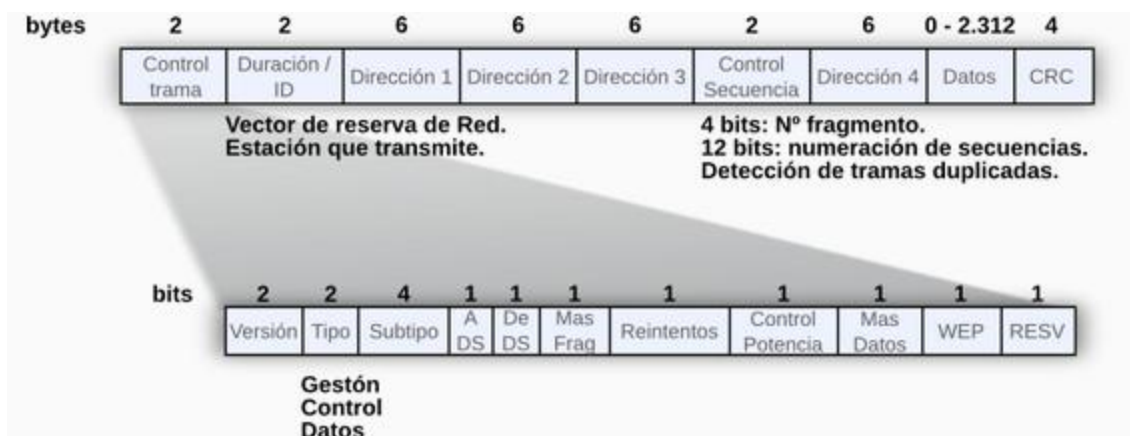
El estándar IEEE 802.11 describe tres tipos diferentes de tramas:

- **Control:** son las tramas que se utilizan para llevar a cabo el control de acceso al medio. Existen tres tramas de control, ACK, RTS y CTS. ACK es la trama de confirmación que se envía tras una recepción correcta, y que suple la detección de colisiones mediante

confirmaciones de la recepción. Las tramas RTS y CTS son las que se utilizan para reservar un periodo de tiempo para transmitir y para concederlo, según el funcionamiento de CSMA/CA.

- **Gestión:** se utilizan para implementar los procesos de asociación y des-asociación de las estaciones inalámbricas frente al AP, para sincronismo, autenticación y planificación en el acceso al medio.
- **Datos:** son las tramas que transportan los datos recibidos del nivel superior.

El formato de una trama IEEE 802.11 es el siguiente:



La trama contiene una cabecera de 30 octetos, seguida del campo de datos y de una suma de redundancia cíclica de 4 octetos calculada sobre la cabecera y los datos. El campo de datos tiene una longitud variable desde 0 hasta 2312 octetos, por lo que el tamaño máximo de una trama WiFi es de 2346 octetos.

Los 2 primeros octetos de la cabecera corresponden al campo de control, el cual está compuesto por diferentes apartados:

- La **versión** del protocolo
- El **tipo** de la trama, si es de gestión (00), de control (01) o de datos (10).
- El **subtipo** de la trama para las tramas de gestión.
- Los campos que indican si la trama se dirige **hacia el DS** o viene **desde el DS**, que sirven para decidir el significado de los 4 campos de dirección de la cabecera, tal y como se explica a continuación.
- Un flag que indica si la trama actual viene seguida de **más fragmentos** de la misma unidad de datos LLC.
- El **campo reintentos** que indica si la trama es una retransmisión de una trama previa, lo que ayuda al receptor en la gestión de las tramas.
- El campo que indica el modo de **control de potencia**.
- El campo **más datos** para indicar a una estación que se encuentra en modo de bajo consumo que el AP tiene más unidades de datos para ella.
- El flag de utilización del sistema de cifrado **WEP**.
- Un bit **reservado** para opciones futuras

A continuación se encuentra un campo de 16 bits que tiene dos utilizaciones diferentes: generalmente contiene el valor del tiempo que se reserva el medio físico; en tramas de subtipo sondeo indica la estación que transmite la trama. La trama contiene también 4 campos para indicar direcciones MAC, un campo de **control de secuencia** que identifica la secuencia (12 bits) y el fragmento (4) que se está enviando, y un campo de control de redundancia cíclica.

El subnivel MAC de IEEE 802.11 define 4 campos distintos para representar direcciones cuyo significado depende de tipo de transmisión que se esté realizando, ya sea una trama que se transmite dentro de un BSS o a través de un DS. Las dos primeras direcciones corresponden a la dirección MAC del receptor y transmisor (respectivamente) de la trama a través de la interfaz aire, mientras que las siguientes direcciones, si son necesarias, representan la dirección de las estaciones destino y origen cuando se conectan a través de un DS. De esta forma se pueden diferenciar 4 tipos de tramas diferentes:

A DS	De DS	Dir. 1	Dir. 2	Dir. 3	Dir. 4	Significado
0	0	Estación destino	Estación origen	BSSID	-	Trama de datos entre dos estaciones del mismo BSS
0	1	Estación destino	BSSID origen	Estación origen	-	Trama de datos proveniente de una estación externa a través del DS
1	0	BSSID destino	Estación origen	Estación destino	-	Trama de datos dirigida a una estación externa a través del DS
1	1	BSSID destino	BSSID origen	Estación destino	-	Trama de datos entre dos estaciones externas

Cuando en las direcciones se expresan identificadores de BSS se utiliza el identificador conocido como BSSID, que se corresponde con la dirección MAC del AP de dicho BSS. Además de dicho identificador también existe un identificador alfanumérico que describe el DSS conocido como SSID.

Estas direcciones son evidentemente las que se utilizan en la interfaz aire de las transmisiones (entre estaciones inalámbricas). Los portales de los APs se encargan de realizar las traducciones oportunas para interconectar con el DS, generalmente Ethernet donde se utilizan también direcciones de 48 octetos.

Mecanismo de acceso CSMA/CA

A diferencia de las redes de cable, cuando el medio físico de transmisión es inalámbrico no se pueden detectar colisiones mientras se transmite, por lo que no es adecuado utilizar CSMA/CD como mecanismo de control de acceso al medio. En su lugar se utiliza CSMA/CA, sustituyéndose la detección de colisiones por confirmaciones de recepción correcta. Una trama de información es respondida con una trama de confirmación ACK que indica que no ha habido problemas en su recepción (por ejemplo, colisiones), siendo indivisible el envío y recepción de dichas tramas. También se puede utilizar el mecanismo de reserva del medio RTS/CTS.

Todas las conexiones inalámbricas, debido al ruido, las interferencias y las características físicas del entorno, ofrecen una fiabilidad baja, y es lo mismo que sucede con 802.11. Los errores de transmisión pueden recuperarse a niveles superiores, pero esto tendría mucho retardo y una penalización excesiva debido a la alta probabilidad de fallo. Es por ello que en el subnivel MAC se incluye un mecanismo de intercambio de tramas basado en confirmaciones

ACK, siendo el nivel MAC de la estación transmisora el encargado de realizar las retransmisiones de las tramas de las que no reciba confirmación.

Existen dos modos de funcionamiento complementarios para el nivel MAC de IEEE 802.11. El mecanismo básico de acceso se rige por una Función de Coordinación Distribuida (DCF, Distributed Coordination Function), mientras que existe la posibilidad de realizar una coordinación del acceso controlada por una estación, lo que se conoce como Función de Coordinación Centralizada (PCF, Point Coordination Function).

Función de Coordinación Distribuida

La Función de Coordinación Distribuida (DCF) está basada en el mecanismo de control de acceso CSMA/CA, utilizando dos tiempos diferentes de espera:

- **SIFS:** Short IFS, es un tiempo de espera corto que un receptor espera entre la recepción de un mensaje y el envío de su correspondiente confirmación.
- **DIFS:** (distributed coordination function IFS), intervalo de tiempo superior a SIFS que se espera como retardo mínimo para enviar tramas asíncronas por estaciones que compiten por el medio.

La función de coordinación distribuida implementa de forma opcional el mecanismo RTS/CTS, con el que soluciona el problema de la estación oculta y se mejora el rendimiento en situaciones de muchas colisiones. El mecanismo RTS/CTS implica la utilización de dos tramas de control RTS y CTS

Función de Coordinación Centralizada

La función de coordinación centralizada (PCF) es un mecanismo de acceso alternativo basado en polling (o sondeos) que está implementado sobre DCF, y que permite garantizar un determinado volumen de tráfico para ciertas estaciones. PCF consiste en peticiones que realiza la estación coordinadora a las diferentes estaciones para ver si tienen datos que transmitir (respuestas). PCF hace uso de un intervalo de tiempo denominado PIFS (point coordination function IPS) que es inferior a DIFS, por lo que tendría preferencia sobre una transmisión asíncrona.

La estación central realiza sondeos a las diferentes estaciones que son contestados con tramas de confirmación acompañadas o no de datos. Para no monopolizar el medio e impedir transmisiones asíncronas se definen periodos de larga duración en los que se realizan los sondeos y, una vez terminados los sondeos, se pueden producir transmisiones asíncronas hasta la finalización de dicho periodo.

DCF y PCF funcionan utilizando tres intervalos (IFS) de diferente longitud:

- SIFS es el intervalo más corto y es el que se espera entre la recepción de una trama y la transmisión de la confirmación correspondiente, de forma que otra trama no se intente transmitir antes de dicha confirmación.
- PIFS es el intervalo inmediatamente superior, pero es menor que DIFS de forma que la función de coordinación centralizada pueda tomar el control en situaciones de congestión.

- DIFS es el intervalo de mayor duración, y se corresponde con el menor tiempo que ha de esperar una estación tras detectar el medio libre para realizar una transmisión asíncrona. Hay que indicar que se ha de esperar, además, el tiempo especificado por el algoritmo de espera aleatorio.

Estándares

La especificación original denominada **IEEE 802.11** contemplaba transmisión mediante infrarrojos, así como FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) y DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), a velocidades teóricas de 1 y 2 Mbps en la banda de 2,4 GHz.

IEEE 802.11b es una extensión de IEEE 802.11 basado en DSSS que ofrece dos velocidades superiores de 5,5 y 11 Mbps.

En EEUU se habilitó una banda en torno a los 5 GHz para su libre uso en redes inalámbricas, que tiene la ventaja de estar menos saturada y de disponer de un mayor ancho de banda. Esta banda es aprovechada por el estándar **IEEE 802.11a** utilizando OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), un tipo de FDM que utiliza múltiples portadoras ortogonales, todas ellas dedicadas a la misma transmisión (no se reparte el ancho de banda entre múltiples fuentes que intentan transmitir, sino que una fuente utiliza todas las portadoras dividiendo su flujo de datos entre ellas). IEEE 802.11a utiliza hasta 48 portadoras que pueden estar moduladas utilizando diferentes técnicas en cada una. Su velocidad máxima es de 54 Mbps.

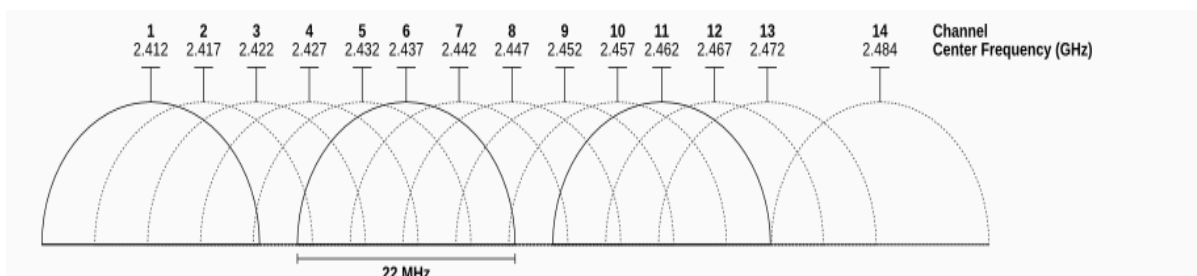
IEEE 802.11g opera sobre la banda de 2.4 GHz y es compatible con 802.11 y 802.11b. En las velocidades que comparte con estos estándares utiliza sus mismas técnicas de modulación (1, 2, 5.5 y 11 Mbps), pero utiliza OFDM en otras tasas de velocidad (6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 y 54 Mbps).

Finalmente, el último estándar es **IEEE 802.11n**, el cual estuvo funcionando como borrador durante varios años, puede funcionar sobre las bandas de 2,4 y 5 GHz, y es compatible con las versiones b/g y a del estándar. IEEE 802.11n mejora la velocidad basándose en modificaciones en la trama física, en la transmisión de radio y principalmente en el uso de antenas MIMO (Multiple-input-multiple-output). MIMO se basa en el uso de varias antenas en el transmisor y el emisor, dividiendo el flujo de datos en varios subflujos que son enviados por cada una de las antenas. Además, 802.11n puede combinar dos canales para crear uno del doble de capacidad, en el que por tanto se pueden crear el doble de subcanales (mediante OFDM). De esta forma 802.11n puede alternar el funcionamiento en canales de 20 ó 40 MHz por medio del modo de operación PCO (Phased Co-existence Operation), que le permite cambiar dinámicamente de canales de 20 a 40 MHz cuando se comunica con equipos b/g/a ó n, respectivamente.

En lo que respecta al nivel MAC, 802.11n puede utilizar agregación de tramas, lo que se traduce en el envío de una única cabecera y varias tramas de datos como parte de una única transmisión. Los asentimientos también se pueden hacer de diferentes tramas (no individuales) para no enviar varios.

Una peculiaridad de los estándares que operan en la banda de 2,4 GHz es la división del ancho de banda disponible. Este ancho de banda se divide en hasta 14 canales (dependiendo de la regulación del país se podían utilizar 10, 11, 13 ó los 14) de 22 MHz, pero separados

únicamente por 5 MHz, por lo que gran parte de los canales se solapan, sólo existiendo 3 canales completamente separados (salvo en Japón con el 14).



Implementación de Redes de Área Local

Dispositivos de interconexión

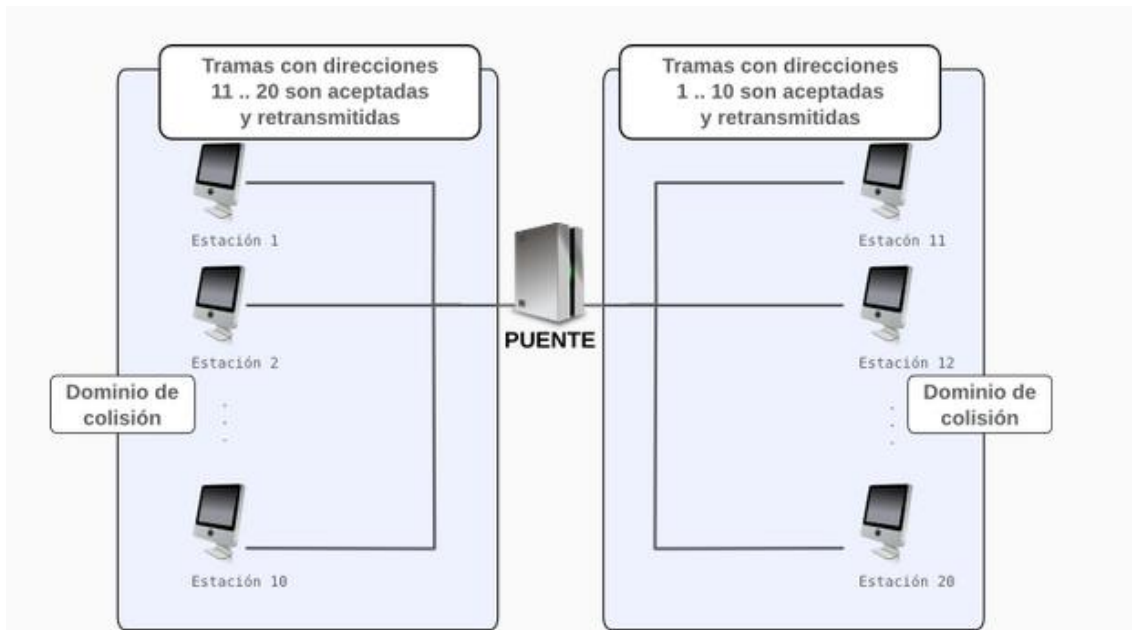
Las redes de área local se forman utilizando dispositivos de interconexión conectados entre sí por algún medio físico. Los dispositivos de interconexión realizan diferentes tareas en función del nivel o niveles a los que actúen. En este apartado se explica el funcionamiento de los dispositivos de interconexión comunes en las redes de área local como son puentes, switches y routers. Los hubs no se explican porque son una tecnología en desuso.

Puentes

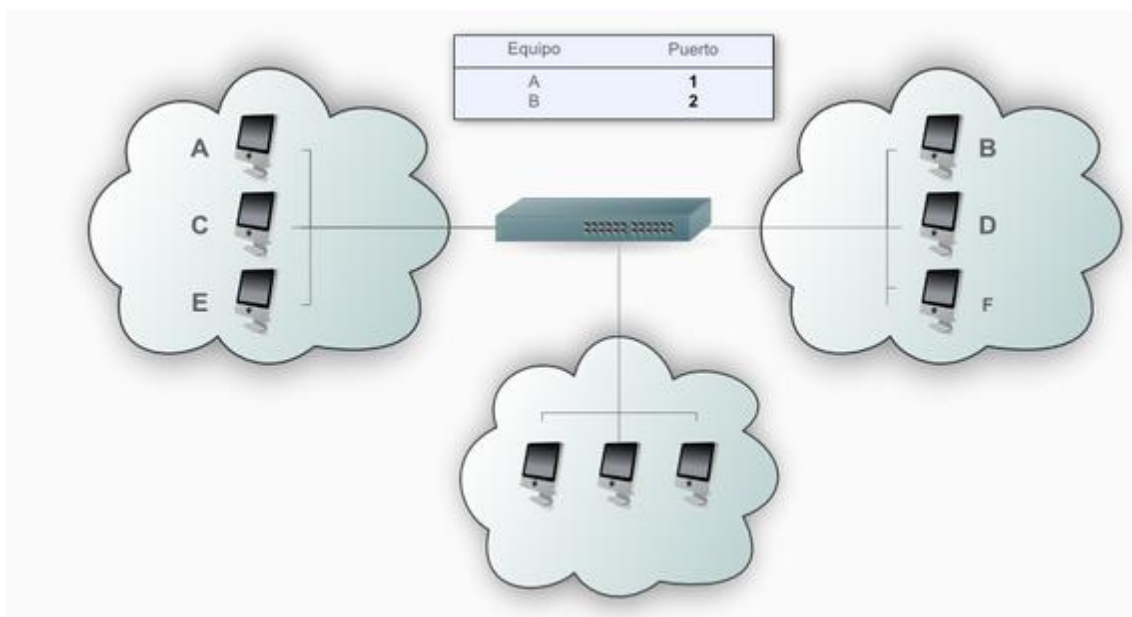
Los puentes son dispositivos que permiten interconectar varias LANs, originalmente del mismo tipo (nivel físico y de enlace), aunque posteriormente se desarrollaron puentes que conectan redes diferentes, realizando el puente la tarea de traducción de tramas. En realidad, prácticamente el único puente completamente funcional que se ha desarrollado entre redes de distinto tipo es el puente que se encuentra dentro de un “portal” en un punto de acceso WiFi, y es porque los formatos de trama y los campos (direcciones, tipo...) están pensados para que se pueda hacer.

Actualmente los puentes apenas se utilizan en una red. No obstante su funcionamiento es la base del funcionamiento de los switches, y se encuentran en los puntos de acceso Wifi.

Los puentes permiten extender el rango de una red de forma transparente al resto de estaciones de la misma, ya que todas ellas se encuentran en el mismo espacio de direcciones y no les afecta el hecho de existir puentes interconectando segmentos en la red. El uso de puentes tiene una ventaja a la hora de extender una RAL, que radica en la separación de la red en diferentes dominios de colisión. Las redes interconectadas por un puente pueden intercambiar paquetes entre sí, pero el puente no retransmite hacia una red los paquetes destinados a estaciones que él sabe que no están en dicha red. No obstante, un puente no divide dominios de difusión, y ante la recepción de una trama dirigida a broadcast, éste la retransmite por todos sus puertos.



Los puentes aprenden la topología de una red de forma dinámica y transparente. Éstos disponen de una tabla para relacionar direcciones MAC de estaciones con el puerto del puente a través del cual se llega a dicha estación. Cuando reciben una trama la almacenan temporalmente y examinan la dirección destino. Si la dirección destino se encuentra en su tabla de encaminamiento, retransmiten la trama únicamente a la LAN que dicta su tabla de encaminamiento. En caso de que no sepan en qué LAN está la estación destino, la retransmiten por todos sus puertos salvo por el que se recibió la trama. Dicha tabla de encaminamiento se encuentra inicialmente vacía, pero se va rellenando dinámicamente a medida que el puente recibe tramas. El puente utiliza la dirección origen de las tramas que recibe para poder establecer que la dirección MAC origen de una trama se encuentra en el puerto por el cual ha recibido dicha trama. Estas entradas van acompañadas de un temporizador que la elimina pasado cierto tiempo.



Las tramas se retransmiten tal y como son recibidas, sin modificarlas, salvo que se interconecten redes de diferente nivel de enlace. Además, generalmente las tramas no tienen como dirección destino la dirección del puente, sólo las tramas de gestión están dirigidas a los puentes. Aunque los puentes almacenen temporalmente las tramas, no disponen de ninguna funcionalidad de control de flujo, y si en un momento dado se llenan sus buffers de recepción tienen que descartar tramas.

Spanning Tree Protocol

El mecanismo de aprendizaje de la topología de la red explicado anteriormente no soporta que existan bucles en una red. El mecanismo Spanning Tree Protocol (STP) fue creado para crear un árbol jerárquico en la red (sin bucles) y de menor coste posible. STP bloquea ciertos puertos en los puentes para eliminar los bucles, y su funcionamiento está especificado en el IEEE 802.1d.

Los puentes intercambian mensajes Bridge Protocol Data Unit (BPDU) para construir la topología de la red y el coste de los caminos. A partir de ese momento comienzan las fases del algoritmo:

1. Se elige el puente raíz en la red, que será aquel de dirección MAC inferior entre aquellos con mejor prioridad. Todos sus puertos son marcados como puertos designados.
2. Para cada puente se establece el puerto con menor coste hasta el puente raíz (puerto raíz).
3. Para cada segmento de red se establece, de entre los puentes que están conectados al mismo, cuál tiene el coste menor hasta la raíz. El puerto que conecta dicho puente al segmento de red es marcado como el puerto designado.
4. Finalmente se marcan como puertos bloqueados todos los puertos de los routers que no han sido marcados como puerto raíz ó como puerto designado. A través de un puerto bloqueado no se reciben ni se retransmiten tramas (salvo BPDUs).

Switches

Los *switches* son dispositivos de interconexión de red que interconectan múltiples estaciones separando dominios de colisión. Al igual que los puentes, los switches aprenden de las direcciones origen de cada trama para crear su tabla de conmutación, y retransmiten por todos sus puertos una trama cuyo destinatario no aparece en su tabla de conmutación. Los switches utilizan el mismo algoritmo de aprendizaje que los puentes, así como el mecanismo STP para eliminar bucles, y es por ello que los switches pueden verse como puentes multi-puerto que, a diferencia de los puentes, permiten comunicaciones simultáneas (pueden estar analizando y retransmitiendo más de una trama a la vez).

En una LAN formada únicamente por switches y estaciones cada conexión es un enlace punto a punto, y corresponde con un dominio de colisión. Un dispositivo conectado a un switch en una red de 100 Mbps dispone de los 100 Mbps en su conexión con el switch, y no los comparte con los demás elementos de la red. Estos enlaces pueden formar en modo dúplex o semi-dúplex, y en los dúplex no existen las colisiones, por lo que no existen limitaciones de distancias debidas al subnivel MAC. En los enlaces semi-dúplex sí que existen las colisiones porque se utiliza el mismo par para transmitir y para recibir, por lo que se puede colisionar con la otra estación conectada al mismo cable.

Los switches pueden emplear diversas técnicas de conmutación:

- **Store and forward:** el switch almacena en un buffer la trama completamente antes de retransmitirla, lo que origina un pequeño retraso.
- **Cut-through:** el switch comienza almacenando la trama hasta que dispone de la dirección destino (que se encuentra en la cabecera de la trama). En ese momento se comienza con la transmisión por el puerto correspondiente sin esperar a recibir toda la trama. Esta técnica reduce la latencia aunque puede retransmitir tramas erróneas al no haber analizado el campo CRC que se encuentra en el final de la trama. Una opción intermedia es utilizar fragment free, que espera a tener los primeros 64 octetos por si hay colisiones, y entonces comienza a transmitir, aunque sin verificar SVT. No aporta nada en redes completamente conmutadas (sin colisiones).

Un switch puede interconectar redes de diferente velocidad, aunque para funcionar en modo cut-through la red de destino de una trama ha de ser de la misma velocidad o menor que la de recepción.

Los switches, sin embargo, no limitan el tráfico de broadcast, por lo que no separan dominios de broadcast como hacen los routers. Un switch tampoco limita el tráfico de multicast.

Distribuidores de buffer

Con la llegada de las redes Gigabit Ethernet apareció la necesidad de disponer de conmutadores que trabajen a esta velocidad. Sin embargo inicialmente era muy caro desarrollar un conmutador con un bus interno capaz de soportar múltiples conexiones a la máxima velocidad, por lo que se crearon los distribuidores de buffer, que son elementos de interconexión para redes Gigabit Ethernet que ofrecen conectividad dúplex pero funcionan como un repetidor.

Cada puerto de entrada dispone de un buffer en el que se encolan las tramas recibidas, las cuales son transmitidas por todos los demás puertos a través de un bus interno que funciona a 1 Gbps, y que es compartido por todas las conexiones. Cuando un buffer de entrada se llena, el distribuidor de buffer envía tramas PAUSE al terminal correspondiente para que detenga momentáneamente su transmisión y no se pierdan tramas por desbordamiento del buffer.

Los distribuidores de buffer sólo pueden utilizarse para interconectar conmutadores a terminales finales, todos los dispositivos han de operar en modo dúplex y ser capaces de admitir tramas PAUSE (control de flujo), y no se pueden crear conexiones de distribuidores de buffer en cascada.

Routers

Los routers son dispositivos que operan a nivel 3 y permiten la interconexión de redes encaminando tramas en función de la dirección IP de destino. Además de los routers, también existen switches multinivel que no se limitan a operar a nivel 2, sino que lo pueden hacer a nivel 3, encaminando entre diferentes VLANs (se verá en el próximo apartado) o a nivel 4, analizando los puertos TCP/UDP.

Redes de área local conmutadas

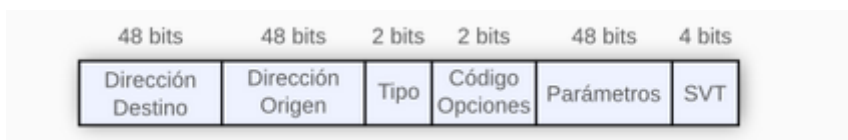
Debido a la masiva implantación de switches como elementos de interconexión, prácticamente todas las redes de área local son redes conmutadas, por lo que no tiene sentido actualmente hablar de colisiones en redes Ethernet. A continuación se explican ciertas funcionalidades que pueden presentar las redes de área local conmutadas.

Control de flujo

El control de flujo se realiza mediante una trama de control denominada PAUSE. Esta trama permite a una estación solicitar a una estación vecina que deje de enviarle tramas (salvo tramas de control). Esta trama sólo puede enviarse entre estaciones que utilizan comunicación full-duplex.

La dirección destino está prefijada a la dirección multicast 01:80:C2:00:00:01, de forma que una estación no tenga que tener constancia de aquellas con las que esté conectada y envíe los mensajes PAUSE a esta dirección multicast. El TIPO de la trama es “control”, lo que se traduce en el valor 0x88-0x08, y el campo CÓDIGO OPCIONES toma el valor 0x00-0x01 que indica PAUSE. Finalmente se añade un campo PARÁMETROS que contiene el tiempo durante el cual el terminal que recibe la trama PAUSE ha de esperar para transmitir más tramas de datos.

A continuación se muestra el formato de las tramas de control:



Autonegociación

En redes de dispositivos heterogéneos es posible que no todos ellos soporten las mismas opciones (transmisión dúplex, control de flujo, velocidad de transferencia). La autonegociación es un proceso que permite a los dos extremos de una conexión física negociar los parámetros a utilizar en la comunicación en base a sus capacidades.

La autonegociación minimiza los errores humanos que pudieran producirse en la configuración de una red y simplifica la migración de equipos de dicha red.

Tramas Jumbo

Las tramas “baby giant” ó “baby jumbo” son aquellas cuya longitud máxima es ligeramente superior a las tramas normales. Esta ampliación se realizó para poder soportar extensiones de cabecera como 802.1Q, que incluye 4 octetos extra.

Frente al tamaño máximo de trama de 1526 (con preámbulo y SVT) octetos (1500 octetos del campo de datos) se propuso la creación de una trama de tamaño mucho mayor, que permitiera transportar 9000 bytes de datos, lo que podría mejorar la eficiencia de la red en determinadas circunstancias y reduciría el número de tramas a procesar. Una trama de dicho tamaño podría alojar bloques de datos de aplicación de 8 KB con sus correspondientes cabeceras.

Redes de área local virtuales

En una red de área local, si se envía una trama MAC con dirección broadcast (todos los bits a 1) llega a todos los elementos de la red, puesto que todos los elementos de una red formada por switches pertenecen al mismo dominio de difusión. Este tipo de tramas, generalmente de gestión, inundan toda la red cuando a veces se quiere llegar sólo a las máquinas de un departamento o una sección, desaprovechando ancho de banda. La solución pasa por dividir la red en varios dominios de difusión.

Los routers permiten dividir una red en dominios de difusión, y pueden servir para estos fines. Sin embargo, los dominios de difusión creados se corresponden físicamente con las máquinas conectadas a cada una de las interfaces del router, una aproximación que no es flexible.

La solución pasa por crear RALs virtuales (VLANs), que son grupos lógicos de estaciones que actúan como una RAL, independientemente de su localización dentro de la RAL física desplegada. Estas estaciones se comunican entre sí a nivel de enlace como si tuvieran una RAL entre ellos, y por ello necesitan hacer uso de un router para comunicarse con otras VLANs. Por tanto los switches de VLAN operan también a nivel de red.

Hay diversas formas de identificar la pertenencia de un equipo a una VLAN:

- **Por puerto:** Es una forma muy sencilla de configurar, aunque es poco flexible porque no permite migración de equipos en la organización.
- **Por dirección MAC:** Se establece una tabla que relaciona direcciones MAC con el identificador (numérico) de VLAN al que pertenecen.
- **Por dirección IP:** Se define la pertenencia a una VLAN en función de la dirección IP de una máquina, o incluso puede hacerse basándose en protocolos superiores (transporte, aplicación). Es un mecanismo muy flexible pero requiere que los switches accedan a cabeceras más allá de la cabecera MAC, lo que puede penalizar el rendimiento.
- **Por etiqueta.** Etiqueta 802.1Q que se inserta cuando un switch retransmite la trama a través de su puerto uplink hacia otros switches, pero que generalmente no llega a las estaciones finales.

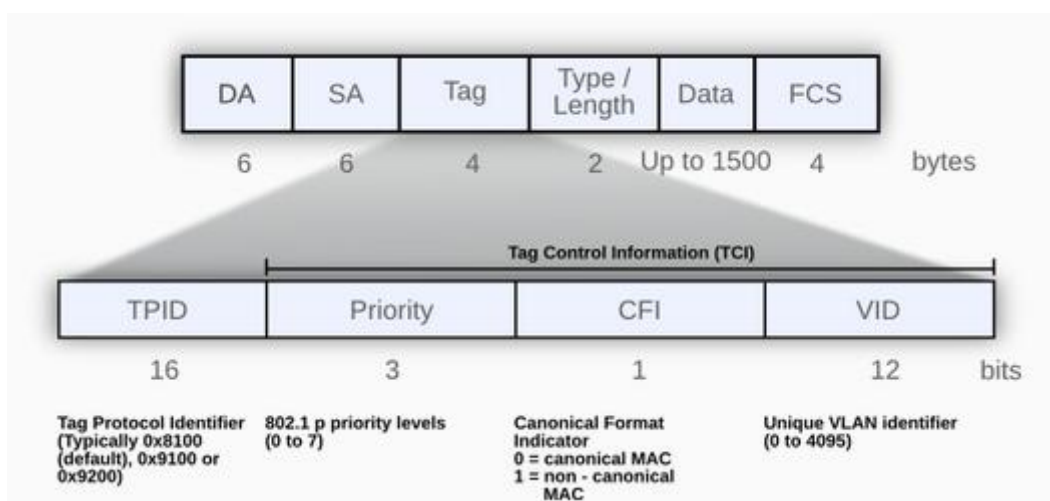
Los switches que forman estas redes tendrán que ser configurados para actuar siguiendo uno o varios de los mecanismos para identificar la pertenencia a una VLAN. Generalmente se realiza de forma estática por puerto en switches gestionados por su simplicidad.

Las estaciones de una VLAN pueden estar en diferentes segmentos de la red, conectados por tanto a diferentes switches. Para que estas estaciones se comuniquen los switches necesitan un mecanismo para intercambiarse información de pertenencia a una VLAN. Este intercambio de información se lleva a cabo mediante el protocolo IEEE 802.1Q, encargado de definir y gestionar topologías VLAN dentro de una topología de LAN basada en puentes y switches.

Para comunicarse entre sí la información de pertenencia a una VLAN, los switches incluyen una cabecera denominada Tag Control Information (TCI). Esta cabecera se utiliza entre switches 802.1Q, siendo los switches quienes la incluyen cuando retransmiten la trama a través de su

puerto uplink (dedicado a conectarse con otros switches), pero no cuando se retransmite a sistemas finales.

El nuevo formato de la trama, al incluir la etiqueta, es el siguiente:



La etiqueta dispone de 12 bits para identificar VLANs, permitiendo identificar por tanto 4096 diferentes VLANs.

La comunicación entre diferentes VLANs se realiza a nivel 3 (router o switch multinivel), por lo que un switch normal no puede realizarlo. Las VLANs que se comunican tienen diferentes direcciones de red, como si de una interconexión de varias LANs normales se tratase.

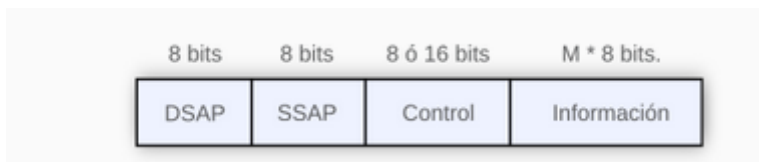
Integración con TCP/IP

Los formatos de trama de IEEE 802.3 y Ethernet II son muy similares, siendo la diferencia fundamental el uso que se le dé al campo que sigue al campo tipo/longitud. IEEE 802.3 utiliza este campo para definir la longitud del campo de datos. Teniendo en cuenta que dicho campo de datos está limitado a 1500 octetos, éste es el valor máximo que debería tomar según este protocolo. Sin embargo Ethernet II utiliza dicho campo para identificar al protocolo de nivel superior, delegando en el campo longitud de la cabecera IP para establecer la longitud que han de tener los datos y desechar los posibles octetos de relleno. En este caso los valores utilizados están por encima de 1536.

Por encima de ese valor se han definido los códigos que representan a los diferentes protocolos enviados en una trama Ethernet II.



Según la arquitectura propuesta por IEEE, la identificación de los protocolos de nivel superior (Service Access Points) se realiza en el subnivel superior, LLC, no siendo necesario incorporarlo en el formato de trama de los subniveles MAC.



La estandarización de protocolos de nivel superior en LLC fue muy restrictiva y se pretendió destinar únicamente a protocolos definidos por estándares internacionales. El resultado es que, aunque se reservó un identificador para el protocolo IP, no se incluyó uno para ARP, que resulta indispensable en la arquitectura TCP/IP. Para dar cabida a dicho protocolo y a otros que se crearan con fines más específicos se diseñó una extensión de la cabecera LLC denominada cabecera SNAP (Subnetwork Access Protocol), que incluye identificadores para protocolos no contemplados en LLC, así como posibilidad de que una empresa defina sus propios protocolos.

La cabecera SNAP es una extensión de la cabecera LLC formada por 5 octetos, que se coloca entre el campo de control y el campo de datos. Los primeros 3 octetos están destinados a identificar el Organizational Unique Identifier (OUI) de IEEE, y los otros dos para definir el protocolo de nivel superior utilizado. Al utilizar tramas Ethernet, el campo OUI toma el valor 0 (0x000000), mientras que el campo Protocolo pasa a contener el valor del campo tipo de la cabecera Ethernet (>1536).



El valor hexadecimal 0xAA en los campos DSAP y SSAP de LLC indica que se utiliza la cabecera SNAP. Este tipo de tramas MAC son tramas de tipo no numerado (U) con el bit de petición (P) a 0, su campo de control es un 0x03 en binario. Como resultado, las tramas LLC con cabecera SNAP se identifican porque su cabecera comienza con la secuencia 0xAA 0xAA 0x03.

El estándar RFC 1042 del IETF (Internet Engineering Task Force) establece que los datagramas ARP se transmitan en redes IEEE 802 utilizando la cabecera SNAP. La cabecera SNAP junto con la cabecera LLC ocupan 5 octetos (3 de LLC y 2 de SNAP).

Encapsulación de TCP/IP en Ethernet II

Al encapsular IP sobre Ethernet II no se utiliza el subnivel LLC por diferentes motivos: por un lado el precursor de Ethernet II, Ethernet DIX, estaba muy extendido y ya realizaba las funciones de LLC; por otro lado, en LLC no se reservó identificador para el protocolo ARP de nivel superior, por lo que no podría utilizarse la pila de protocolos de TCP/IP directamente sobre LLC sin recurrir a la cabecera SNAP.

Al encapsular TCP/IP sobre Ethernet II sólo se recurre a la cabecera de éste último, indicando en el campo "tipo" el protocolo de nivel superior utilizado (valor superior a 1536 para diferenciar la trama de una trama IEEE 802.3).

Encapsulación de otros protocolos en IEEE 802.3

Sobre IEEE 802.3 se han utilizado diferentes protocolos de nivel de red.

IPX de Novell se encapsulaba directamente sobre el subnivel MAC, prescindiendo de LLC. Esto es posible debido a que en dicha arquitectura sólo existe un único protocolo de nivel de red (IPX), y no es necesario diferenciar entre varios puntos de acceso al servicio (SAPs).

La arquitectura SNA de IBM utiliza LLC sobre 802.3, pero no requiere una cabecera SNAP porque no hace uso del protocolo ARP.

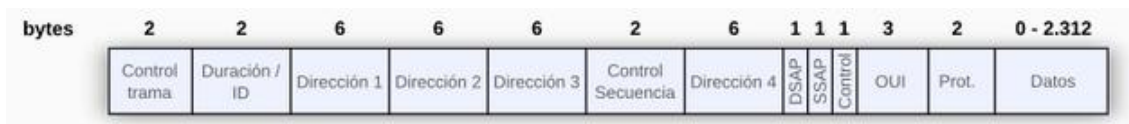
SNAP de AppleTalk sí que necesita utilizar la cabecera SNAP, por lo que los campos DSAP y SSAP están fijados a 0xAA, mientras que el campo de control indica “trama no numerada”, 0x03. Como identificador de OUI utiliza el de Ethernet (todo a ceros) y como protocolo también utiliza los identificadores de Ethernet, que son superiores a 1536.

Encapsulación de TCP/IP en 802.11

El subnivel MAC IEEE 802.11 de las redes inalámbricas depende del subnivel LLC para la identificación del service Access point de nivel superior, por lo que el campo de datos de la cabecera IEEE 802.11 contiene la PDU de LLC. IEEE 802.11 sigue la filosofía de IEEE de independizar al nivel MAC de la identificación de los SAPs y de indicar la longitud de la trama, por lo que la su cabecera carece de campos en los que reflejar dichas informaciones.



Para poder hacer uso de protocolos de nivel de red como ARP es imprescindible utilizar, además, la cabecera SNAP, resultando la trama enviada de la siguiente forma:



El campo para indicar el protocolo en la cabecera SNAP se utiliza según los identificadores de protocolo de Ethernet (ethertype). Asimismo, en la práctica el campo de datos nunca tiene esa dimensión, pues la tarea que tendría que realizar un puente entre 802.11 y Ethernet para interconectar una red WiFi con una Ethernet sería muy complicado. En su lugar el campo de datos se utiliza con una longitud máxima de 1500 octetos, de forma que la traducción de tramas WiFi a Ethernet sólo consiste en el establecimiento de las direcciones correspondientes y el cálculo del CRC.

Esta encapsulación está descrita en el RFC 1042 del IETF y en 802.1H, aunque existe una diferencia en el valor del OUI utilizado. Mientras la RFC 1042 utiliza un valor de OUI=0x000000, la encapsulación 802.1H utiliza un valor de 0x0000F8.