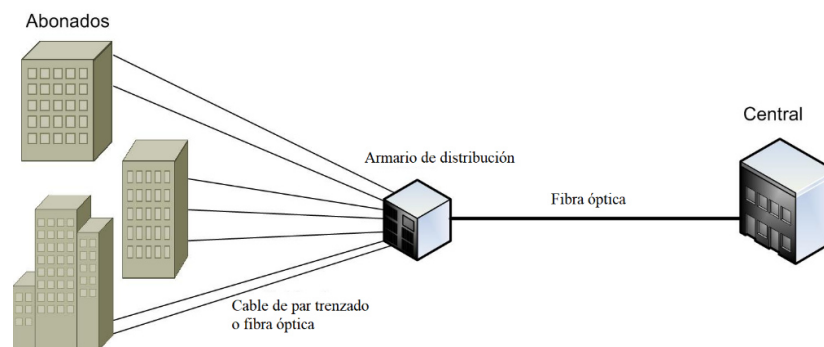


3. Capítulo 3: Acceso de usuario: la última milla

La parte de las redes que conecta los usuarios finales (residenciales o corporativos) a las redes de las operadoras de telecomunicaciones se conoce como red de acceso, aunque también está muy extendida la denominación “última milla” (Figura 3.1).

El término de última milla se comenzó a utilizar en telefonía para referirse a la conexión entre el abonado y la central telefónica. A esta conexión también se la conoce como bucle de abonado. Todas las conexiones entre los abonados y las centrales forman la llamada red de acceso. Mientras que las conexiones entre las diferentes centrales de diferente jerarquía forman lo que se conoce como red de transporte.

En este capítulo se expondrán las diferentes tecnologías existentes en la actualidad para cubrir la última milla, es decir, para conectar los usuarios finales de una red de comunicaciones con la propia red de transporte. Figura 3.1.



3.1. ADSL, (Asymmetric Digital Subscriber Line, Línea de Abonado Digital Asimétrica): una implementación de FDM

La parte que supone un mayor desafío en la implementación y desarrollo de una red digital pública de área amplia de alta velocidad es el enlace entre el abonado y la red: la línea de abonado digital. Dada la existencia de miles de millones de abonados potenciales en todo el mundo, la sola idea de llevar a cabo la instalación de nuevo cable para cada uno de los usuarios asusta. En lugar de ello, los diseñadores de redes han estudiado distintas formas de aprovechar el cable de par trenzado ya instalado y que enlaza con redes telefónicas prácticamente a todos los consumidores particulares y de empresa. Estos enlaces fueron instalados para transportar señales de voz en un ancho de banda de cero a 4 kHz. Sin embargo, los cables son capaces de transmitir señales con un espectro mucho más amplio (1 MHz o más).

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) es la más conocida de una nueva familia de tecnologías diseñadas para permitir la transmisión de datos digitales a

alta velocidad a través de cable telefónico convencional. ADSL está siendo ofrecida por varios proveedores y se encuentra definida en una normalización ANSI.

Arquitectura ADSL

El término asimétrico se refiere al hecho de que ADSL proporciona más capacidad de transmisión en el enlace descendente (desde la oficina central del proveedor hacia el usuario) que en el ascendente (desde el usuario hacia el proveedor). ADSL se orientó originalmente hacia las necesidades de recursos previstas en aplicaciones de vídeo bajo demanda y servicios relacionados. Este tipo de aplicaciones se ha materializado con el surgimiento de servicios como Netflix, y de esta forma, la demanda de acceso de alta velocidad a Internet ha crecido en forma dramática desde la aparición de la tecnología ADSL. En general, el usuario precisa mayor capacidad en el enlace descendente que para la transmisión ascendente. La mayor parte de las transmisiones realizadas por un usuario son del tipo de pulsaciones de teclado o transmisión de mensajes cortos de correo electrónico, mientras que el tráfico de entrada, especialmente el tráfico web, puede conllevar grandes cantidades de datos que incluyen imágenes e incluso vídeo. Es por ello que la tecnología ADSL resulta muy apropiada para las necesidades de transmisión en Internet.

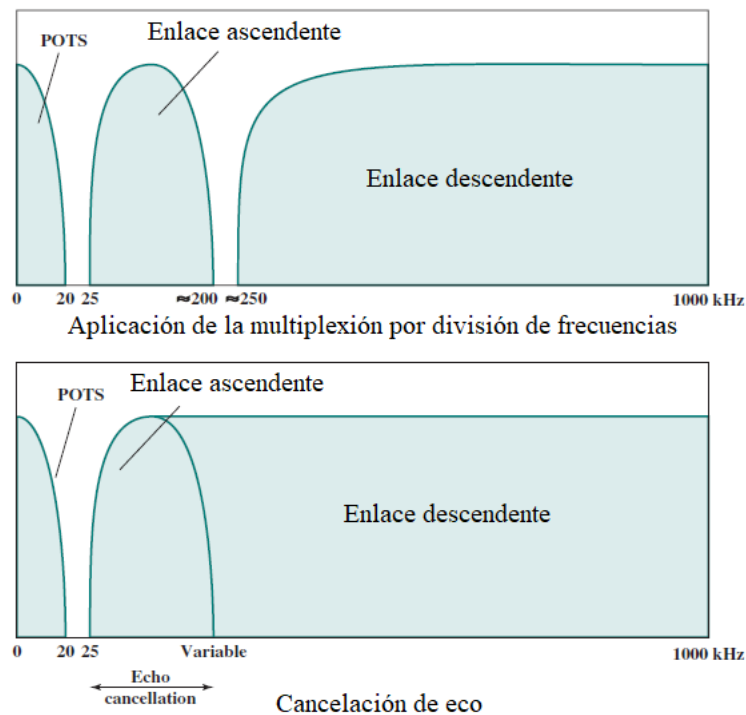


Figura 3.1.1: Canales ADSL usando FDM

ADSL hace uso de multiplexación por división en frecuencias (FDM) de una forma novedosa para aprovechar la capacidad de 1 MHz de que dispone el cable de par trenzado. Existen tres elementos en el esquema ADSL (Figura 3.1.1):

- Reserva de los 25 kHz inferiores para voz, conocido como POST (Plain Old Telephone Service). La voz se transmite sólo en la banda 0-4 kHz, sirviendo el ancho de banda adicional para evitar la producción de diafonía entre los canales de voz y de datos.
- Utilización de cancelación de eco¹ o FDM, para dar cabida a dos bandas, una ascendente pequeña y una descendente grande.
- Uso de FDM en las bandas ascendente y descendente. En este caso, una secuencia de bits dada se divide en varias secuencias paralelas y cada una de ellas se transmite en una banda de frecuencias distinta.

Cuando se usa cancelación de eco, la banda de frecuencia correspondiente al canal ascendente se solapa con la porción inferior del canal descendente. Este hecho presenta dos ventajas en comparación con el empleo de bandas de frecuencia distintas para los enlaces ascendente y descendente:

- La atenuación aumenta con la frecuencia. Con la utilización de cancelación de eco, una mayor parte del ancho de banda del enlace descendente se encuentra en la zona «adecuada» del espectro.
- El diseño del procedimiento de cancelación de eco es más flexible para modificar la capacidad de la transmisión ascendente. Aunque este canal se puede extender hacia frecuencias superiores sin llegar a caer dentro del ancho de banda del canal descendente, lo que se hace es aumentar el área de solapamiento.

La desventaja del uso de la cancelación de eco es la necesidad de la existencia de lógica de cancelación de eco en ambos extremos de la línea.

El esquema ADSL permite distancias de hasta 5,5 km en función del diámetro del cable y de la calidad de éste. Esto resulta suficiente para dar servicio en torno al 95 por ciento de todos los bucles de abonado de Estados Unidos y del mismo orden en otros países.

Multitono Discreto

La técnica de multitono discreto (DMT, Discrete MultiTone) consiste en hacer uso de varias señales portadoras a diferentes frecuencias, de modo que se envíen algunos de los bits en cada canal. El ancho de banda disponible (ascendente o descendente) se divide en varios subcanales de 4 kHz. En el proceso de inicialización, el módem DMT envía señales de test sobre los subcanales con el fin de determinar la relación señal-ruido en cada uno de ellos. Realizado el test, el módem asigna más bits de datos a los canales con mejor calidad de transmisión de señal y un número de bits menor para aquellos canales de calidad inferior. En la Figura 3.1.2 se ilustra este proceso. Cada subcanal puede transportar datos a una velocidad comprendida entre 0 y 60 kbps. La figura muestra una situación típica en la que existe un aumento de la atenuación y, por tanto, un decremento en la relación señal-ruido a altas frecuencias. En consecuencia, los subcanales de frecuencia superior transportan menos datos.

¹ La cancelación de eco es una técnica de procesamiento de señal que permite la transmisión de señales digitales en ambos sentidos de forma simultánea a través de una única línea de transmisión. En esencia, un transmisor debe eliminar de la señal que recibe el eco debido a su propia transmisión con objeto de recuperar la señal enviada por el otro extremo.

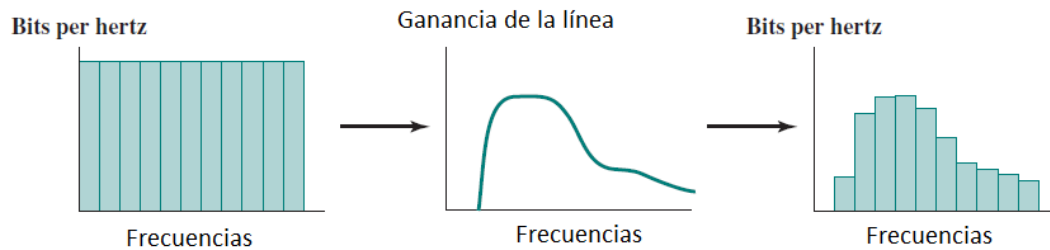


Figura 3.1.2: Asignación de cantidad de bits a distintas frecuencias

En la Figura 3.1.3 se ofrece un diagrama general de la transmisión DMT. Tras el proceso de inicialización, la secuencia de bits a transmitir se divide en varias sub-secuencias, una para cada sub-canal que transportará datos. La suma de las velocidades de las sub-secuencias es igual a la velocidad total. A continuación, cada sub-secuencia se convierte en una señal analógica mediante la técnica de modulación en amplitud en cuadratura (QAM), descrita en las Notas acerca de redes y comunicaciones Parte 1. Este esquema funciona adecuadamente gracias a la capacidad de QAM para asignar a cada uno de los elementos de señal transmitidos un número diferente de bits. Cada señal QAM ocupa una banda de frecuencia diferente, de modo que estas señales se pueden combinar sin más que sumarlas para dar lugar a la señal compuesta a transmitir.

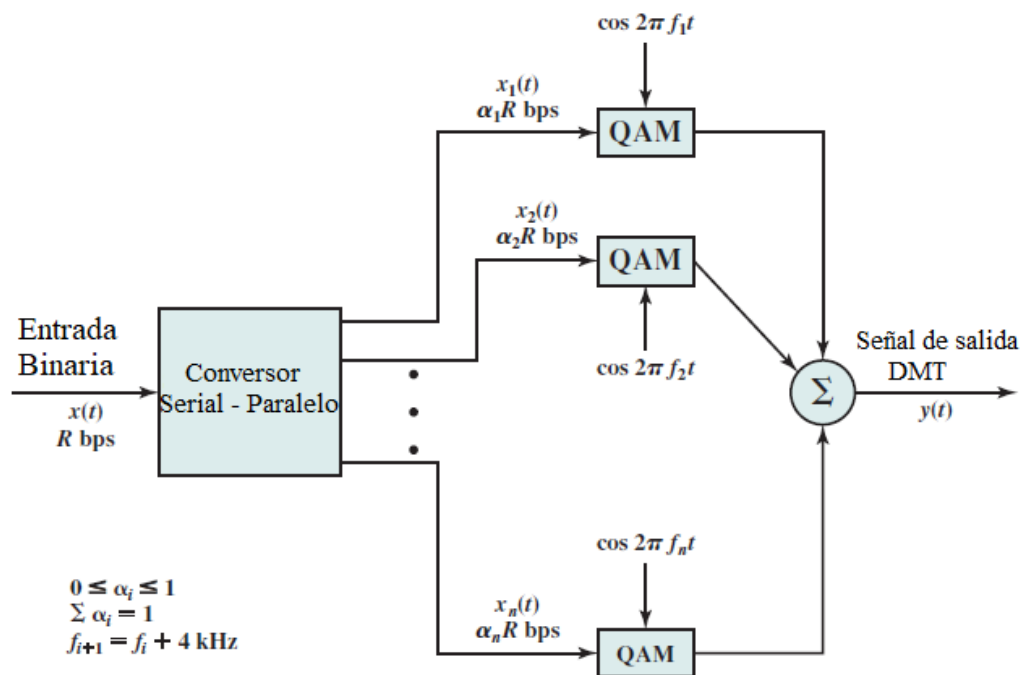


Figura 3.1.3: Transmisor DMT

Los diseños ADSL/DMT actuales utilizan 256 subcanales descendentes. En teoría, con cada sub-canal de 4 kHz transportando 60 kbps, sería posible transmitir a

una velocidad de 15,36 Mbps. En cambio, en la práctica, el deterioro de la transmisión impide la consecución de esta velocidad. Las implementaciones actuales operan en el rango 1,5-9 Mbps dependiendo de la distancia de la línea y de la calidad de ésta. En la Figura 3.1.4 se muestra una conexión típica ADSL.

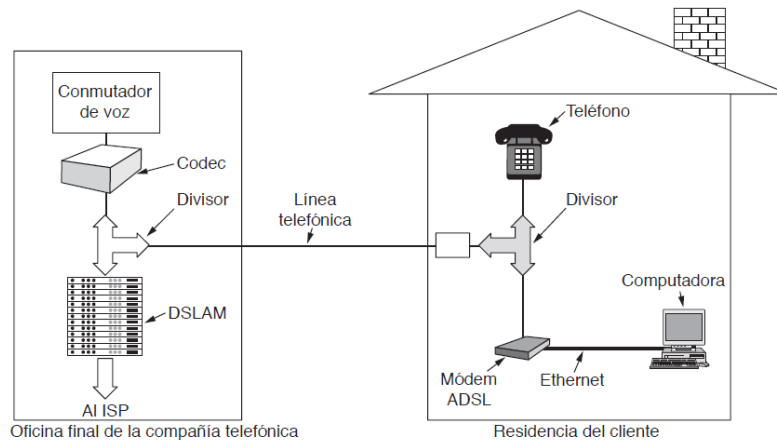


Figura 3.1.4: Configuración típica ADSL

3.2.xDSL: otras implementaciones de FDM

ADSL es uno de los numerosos esquemas destinados a proporcionar una transmisión digital de alta velocidad en el lazo de abonado (conexión del usuario con la red). La siguiente tabla 3.2.1 es un resumen de todas las implementaciones xDSL:

Tabla 3.2.1: Características de enlaces xDSL

	ADSL	HDSL	SDSL	G.HDSL	VDSL
Bits por segundo	de 1,5 a 9 Mbps en descendente de 16 a 640 Kbps en ascendente	1,544 ó 2,048 Mbps	1,544 ó 2,048 Mbps	Desde 192 Kbps a 2,3 Mbps Opcional: 4,7 Mbps en 2 pares	de 13 a 52 Mbps en descendente de 1,5 a 2,3 Mbps en ascendente
Modo	asimétrico	simétrico	simétrico	simétrico	asimétrico
Pares de cobre	1	2	1	1 o 2	1
Distancia (UTP cal.24)	de 3,7 a 5,5 Km	3,7 Km	3,0 Km	3,9 Km	1,4 Km
Señalización	analógica	digital	digital	Digital	analógica
Codificación de línea	CAP/DMT	2B1Q	2B1Q	2B1Q	DMT
Frecuencia	de 1 a 5 MHz	196 KHz	196 KHz		10 MHz
Bits por ciclo	variable	4	4	variable	variable

Línea Digital de Abonado de Alta Velocidad (HDSL)

HDSL fue desarrollada a fines de la década del '80 por BellCore con el objeto de ofrecer una forma más eficiente, en cuanto a la relación costo/velocidad, de enviar datos que la proporcionada por la conexión E1/T1. El problema que presenta el enlace E1 es que ocupa un ancho de banda de alrededor de 1,5 MHz; lo que, sumado a la atenuación propia de la línea telefónica, limita el uso de E1 a distancias no más allá de 1 Km entre repetidores. Por lo tanto, para muchas de las líneas de abonado se necesitan uno o más repetidores, lo cual encarece la instalación y el mantenimiento del enlace.

En HDSL se hace uso del esquema de codificación 2B1Q para poder alcanzar una velocidad de datos de hasta 2 Mbps a través de dos pares UTP requiriendo un ancho de banda de solo 200 KHz, aproximadamente. La transmisión de datos mediante este diseño permite alcanzar distancias del orden de los 3 Km.

Línea Digital de Abonado de Línea Simple (SDSL)

Aunque HDSL resulta atractiva para reemplazar las líneas E1 existentes, no es solución para abonados particulares ya que en HDSL se necesitan dos pares UTP y estos abonados disponen generalmente de un solo par. Por lo tanto, el desarrollo de SDSL está basado en proporcionar, usando un solo par UTP, el mismo tipo de servicio que provee HDSL con dos pares. Así como en HDSL, en SDSL se usa la técnica de codificación 2B1Q. Se emplea, además, cancelación de eco para conseguir transmisión full duplex a través de un único par.

Línea Digital de Abonado de Alta Velocidad de Línea Simple (SHDSL ó G.SHDSL)

SHDSL (Single pair High-speed Digital Subscriber Line) también denominada G.SHDSL, ha sido diseñada para transmitir datos en forma simétrica hasta una velocidad de 2,3 Mbps sobre un par de conductores y hasta 4,6 Mbps sobre dos pares. Puede alcanzar una distancia de hasta 3,9 Km. Una versión opcional (SHDSL.bis) puede transmitir a una velocidad de hasta 4,7 Mbps sobre un par.

G.SHDSL presenta una mejora en la performance de SDSL y HDSL tanto en velocidad como en alcance de distancia y, al igual que las nombradas, transmite tramas E1, T1, Accesos a RDSI y a ATM.

La diferencia con las demás versiones xDSL que fueron normalizadas por ANSI de EEUU, es que HDSL nació como un estándar internacional de la ITU-T en febrero de 2001, y luego mejorada en 2003.

Línea Digital de Abonado de Muy Alta Velocidad (VDSL)

VDSL es uno de los más recientes desarrollos en xDSL. Muchos de los detalles de esta especificación de señalización se encuentran aún por definir en el momento de escribir este apunte. El objetivo de VDSL es proveer un esquema similar a ADSL a una velocidad muy superior y a costa de disminuir la distancia permitida. La técnica de señalización para VDSL será probablemente DMT/QAM.

VDSL no utiliza cancelación de eco, por lo tanto, utiliza bandas separadas para diferentes servicios, siendo la asignación provisional para cada uno de ellos la siguiente:

- POTS: 0 a 4 KHz.
- RDSI: 4 a 80 KHz.
- Enlace ascendente: 300 a 700 KHz.
- Enlace descendente: ≥ 1 MHz.

Normalización de xDSL por el ITU-T

Algunas de las versiones de la técnica xDSL fueron normalizadas por el ITU-T mostrándose las equivalencias de las normas en la Tabla 3.2.2.

Tabla 3.2.2: Normalización ITU-T para xDSL

Técnicas xDSL	
Denominación	Estándar
ADSL	ANSI T1.413 Issue 2 ITU G.992.1 (G.DMT) ITU G.992.2 (G.Lite)
ADSL2	ITU G.992.3/4 ITU G.992.3 Anexo J ITU G.992.3 Anexo L
ADSL2+	ITU G.992.5 ITU G.992.5 Anexo M
HDSL	ITU G.991.1
HDSL2	
IDSL	
MSDSL	
PDSL	
RADSL	
SDSL	

<u>G.SHDSL</u>	<u>ITU G.991.2</u>
<u>UDSL</u>	
<u>VDSL</u>	<u>ITU G.993.1</u>
<u>VDSL2</u>	<u>ITU G.993.2</u>

Multiplexor para Accesos de Usuarios xDSL

DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) o Multiplexor de Acceso a la Línea Digital de Abonado es un multiplexor localizado en el nodo de la red de comunicación de la WAN que concentra las conexiones de usuario realizadas a través de líneas xDSL.

Como se ve en la Figura 3.2.3, el acceso o línea xDSL de usuario se implementa mediante un cable UTP, un modem xDSL del lado del cliente y el DSLAM del lado del proveedor de servicios (internamente, el DSLAM tiene varias placas que representan modems xDSL para conectar a todos los usuarios de un barrio). Cuando por la conexión de usuario se transmite voz y datos, en el cable se debe colocar un dispositivo denominado splitter que está constituido por dos filtros, uno pasaalto y el otro pasabajo. La finalidad de estos filtros es la de separar las señales transmitidas de baja frecuencia - telefonía - y las de alta frecuencia - datos -. Las señales de voz se envían al switch telefónico de la PSTN y los datos al DSLAM.

La conexión del DSLAM hacia el interior de la red de comunicación de la WAN se realiza normalmente con distintos tipos de interfaces como ATM, SDH o Gigabit Ethernet.

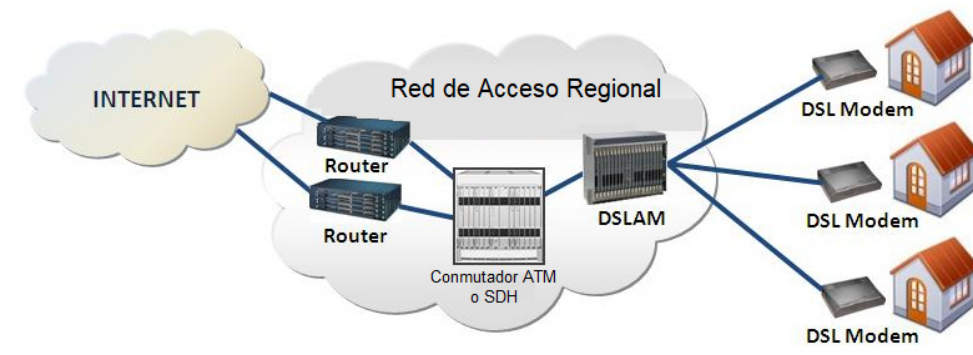


Figura 3.2.3: Conexiones xDSL de distintos usuarios

3.3. Fibra para el hogar

Los enlaces de última milla (lazos locales) de cobre existentes limitan el desempeño de ADSL y los módems telefónicos. Para proveer servicios de red más rápidos y mejores, las compañías telefónicas están actualizando los lazos locales en cada oportunidad mediante la instalación de fibra óptica en todo el camino hasta las casas y oficinas. Esta nueva conectividad se la conoce como FTTH (Fibra para el Hogar, del inglés Fiber To The Home).

Aunque esta tecnología ha estado ya disponible durante cierto tiempo, la instalación en sí apenas empezó a despegar en 2005 con el aumento en la demanda de Internet de alta velocidad por parte de los clientes que usaban DSL y cable, que querían descargar películas. En la Argentina, al mes de marzo de 2020, hay 1.048.817 conexiones FTTH (Argentina, 26) con velocidades de acceso a Internet de hasta 300 Mbps.

Existen algunas variaciones de la forma “FTTX”, ellas son:

- ✓ FTTH (Fiber-to-the-home). En FTTH o fibra hasta el hogar, la fibra óptica llega hasta el interior de la misma casa del abonado.
- ✓ FTTO (Fiber-to-the-office). En FTTO o fibra hasta la oficina, la fibra óptica llega hasta el interior de la misma oficina del abonado. Es básicamente igual a FTTH pero con configuraciones específicas para empresas (sin plataforma integrada de TV, pero con plataformas de Videoconferencia, VozIP, entre otros).
- ✓ FTTB - (Fiber-to-the-building o Fiber-to-the-basement). En FTTB o fibra hasta la acometida del edificio, la fibra óptica normalmente termina en un punto de distribución intermedio en el interior o inmediaciones del edificio de los abonados. Desde este punto de distribución intermedio, se accede a los abonados finales del edificio o de la casa mediante la tecnología VDSL2 (Very high bit-rate Digital Subscriber Line 2) sobre par de cobre o Gigabit Ethernet sobre par trenzado CAT6. De este modo, el tendido de fibra puede hacerse de forma progresiva, en menos tiempo y con menor coste, reutilizando la infraestructura del edificio del abonado.

- ✓ FTTP (Fiber-to-the-premises). Este término se puede emplear de dos formas: como término genérico para designar las arquitecturas FTTH y FTTB, o cuando la red de fibra óptica incluye tanto viviendas como pequeños negocios.²
- ✓ FTTN (Fiber-to-the-node). En FTTN o fibra hasta el nodo, la fibra óptica termina en una central del operador de telecomunicaciones que presta el servicio, suele estar más lejos de los abonados que en FTTH y FTTB, típicamente en las inmediaciones del barrio, por lo que en alguna bibliografía se asigna a la N la palabra neighborhood (vecindario).
- ✓ FTTC (Fiber-to-the-cabinet o fiber-to-the-curb). Similar a FTTN, pero la cabina o armario de telecomunicaciones está más cerca del usuario, normalmente a menos de 300 metros.
- ✓ FTTA (Fiber-to-the-antenna). Fibra hasta la antena es una nueva generación de conexión de alto rendimiento de la estación hasta la antena, sobre los nuevos estándares de interfaz de radio como CPRI (Common Public Radio Interface) o OBSAI (Open Base Station Architecture Initiative) por la demanda de RAN (Radio Access Network) de redes móviles LTE.³

Todas las variantes de “FTTX” se utilizan para indicar que la fibra óptica puede estar instalada cerca del hogar. En este caso, el cobre (par trenzado o cable coaxial) provee velocidades suficientemente rápidas durante el último tramo corto. La elección de hasta dónde tender la fibra es meramente económica, ya que se balancea el costo con los ingresos esperados. En cualquier caso, el punto es que la fibra óptica ha cruzado la barrera tradicional de la “última milla”. En este capítulo nos enfocaremos en la FTTH.

Al igual que su antecesor, el lazo local de cables de cobre, el lazo local de fibra óptica es pasivo. Esto significa que no se requiere equipo energizado para amplificar o procesar las señales de alguna otra forma.

La fibra simplemente transporta las señales entre el hogar y la oficina final o el nodo final. Esto a su vez reduce el costo y mejora la confiabilidad. Por lo general, las fibras que salen de los hogares se unen de manera que llegue una sola fibra a la oficina final por cada grupo de hasta 100 casas. En el sentido del flujo descendente hay divisores ópticos que dividen la señal que proviene de la oficina final, de modo que llegue a todas las casas. Se requiere un cifrado para la seguridad así sólo una casa puede decodificar la señal. En sentido del flujo ascendente hay combinadores ópticos que mezclan las señales que salen de las casas en una sola señal que se recibe en la oficina final.

Esta arquitectura se llama PON (Red Óptica Pasiva, del inglés Passive Optical Network) y se muestra en la Figura 3.3.1. Es común utilizar una longitud de onda compartida entre todas las casas para la transmisión del flujo descendente y otra longitud de onda para la transmisión del flujo ascendente.

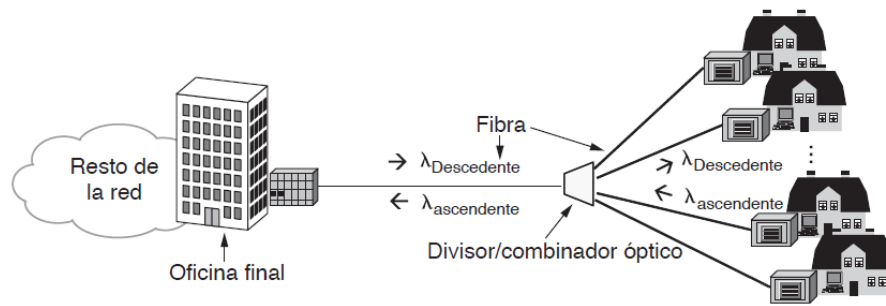


Figura 3.3.1: Red óptica pasiva hasta el hogar

Incluso con la división, gracias al tremendo ancho de banda y a la baja atenuación de la fibra óptica, las PON pueden ofrecer altas tasas de transmisión a los usuarios a través de distancias de hasta 20 km. Las tasas de transmisión de datos reales y otros detalles dependen del tipo de PON. Hay dos tipos comunes. Las GPON (PON con capacidad de Gigabit, del inglés Gigabit-capable PONs) vienen del mundo de las telecomunicaciones, por lo que se definen mediante un estándar de la ITU. Las EPON (PON Ethernet) están más sintonizadas con el mundo de las redes, por lo que se definen mediante un estándar del IEEE. Ambas operan a una velocidad cercana a un gigabit y pueden transportar tráfico para distintos servicios, incluyendo Internet, video y voz. Por ejemplo, las GPON proveen un flujo descendente de 2.4 Gbps y un flujo ascendente de 1.2 o 2.4 Gbps.

Se necesita un protocolo para compartir la capacidad de la fibra individual en la oficina final, entre las distintas casas. El sentido del flujo descendente es fácil. La oficina final puede enviar mensajes a cada una de las distintas casas en el orden que desee. Pero en sentido del flujo ascendente no se pueden enviar mensajes de distintas casas al mismo tiempo pues habría colisiones. Las casas tampoco pueden escuchar las transmisiones de las demás casas, por lo que no pueden escuchar antes de transmitir. La solución es que el equipo en las casas solicite y reciba ranuras de tiempo para usar la línea al equipo en la oficina final. Para que esto funcione, hay un proceso de variación para ajustar los tiempos de transmisión de las casas, de modo que todas las señales que se reciban en el extremo de la oficina final estén sincronizadas.

Una descripción más detallada de la tecnología FTTH, en este caso GPON, por la cual se trafica voz, datos, videos y canales de cable, se muestra en la siguiente Figura 3.3.2. (en Argentina al momento de escribir estas notas, Telecom-Fibertel ofrecen el servicio FLOW (telefonía, internet, cable):

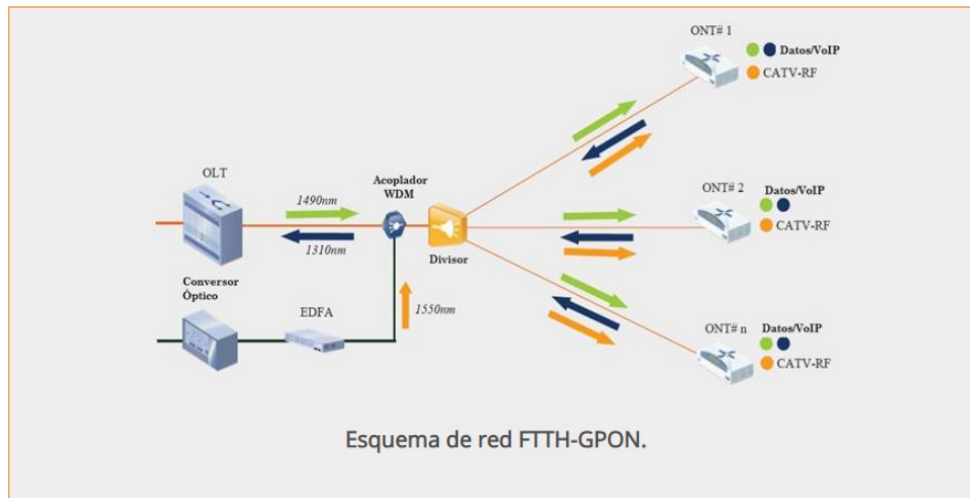


Figura 3.3.2: Red GPON con servicios de telefonía, internet y cable

- ✓ ONT: Optical Network Termination: Equipo que termina la tecnología GPON, se ubica en el domicilio del cliente.
- ✓ ODN: Optical Distributed Network: Red de componentes pasivos que proporciona el medio de transmisión óptico desde la OLT hasta los usuarios, y viceversa. En la Figura está representado por la línea naranja junto al divisor, también de color naranja.
- ✓ OLT: Optical Line Network: Es el equipo que proporciona la interfaz en el lado red y está conectada a una o varias ODN.

3.4. Internet por cable

A través de los años, el sistema de televisión por cable creció y los cables entre las distintas ciudades se reemplazaron por fibra de ancho de banda alto, de manera similar a lo que sucedió con el sistema telefónico. Un sistema en el que se utiliza fibra para distancias considerables y cable coaxial para las casas es conocido como sistema HFC (Red Híbrida de Fibra Óptica y Cable Coaxial, del inglés Hybrid Fibre Coaxial). Los convertidores electroópticos que interactúan entre las partes óptica y eléctrica del sistema se llaman nodos de fibra. Debido a que el ancho de banda de la fibra es mucho mayor al del cable coaxial, un nodo de fibra puede alimentar múltiples cables coaxiales. En la Figura 3.4.1(a) se muestra parte de un sistema HFC moderno.

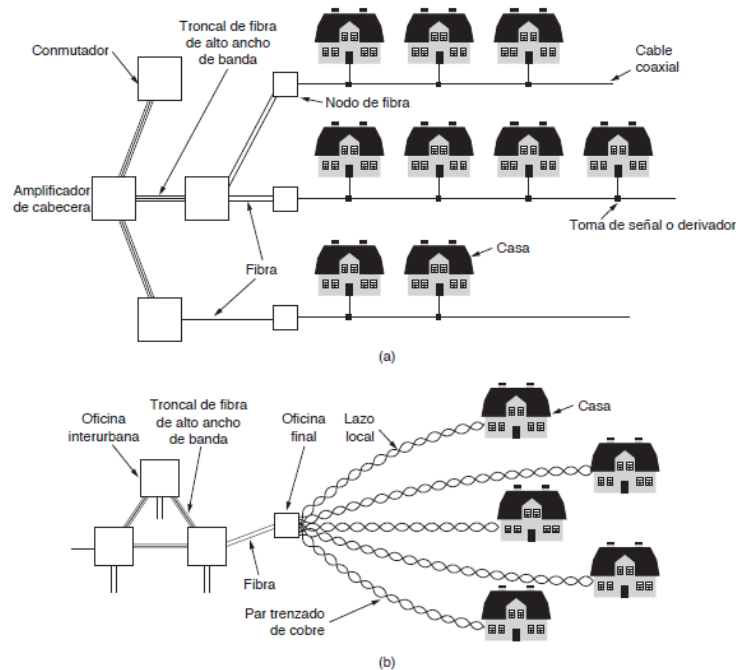


Figura 3.4.1: (a) Televisión por cable y (b) telefonía fija

Durante la década pasada, muchos operadores de cable decidieron entrar al negocio de acceso a Internet y con frecuencia también al de la telefonía. Las diferencias técnicas entre la planta de cable y la de telefonía tuvieron un efecto con respecto a lo que se debía hacer para alcanzar esas metas. Por un lado, hubo que reemplazar todos los amplificadores de una vía del sistema por amplificadores de dos vías para soportar las transmisiones ascendentes y descendentes. Mientras esto ocurría, los primeros sistemas de Internet por cable utilizaban la red de televisión por cable para las transmisiones descendentes y una conexión de marcación por medio de la red telefónica para las transmisiones ascendentes. Era una solución provisional muy astuta, pero no se podía considerar una verdadera red.

Sin embargo, hay otra diferencia entre el sistema HFC de la Figura 3.4.1(a) y el sistema telefónico de la Figura 3.4.1(b) que es más difícil eliminar. En los vecindarios, muchas casas comparten un solo cable, mientras que, en el sistema telefónico, cada casa tiene su propio lazo local privado. Cuando se emplea en la difusión de televisión, esta compartición no tiene importancia. Todos los programas se difunden a través del cable y no importa si hay 10 o 10 000 televidentes. Pero cuando el mismo cable se utiliza para el acceso a Internet, el hecho de que haya 10 o 10 000 usuarios tiene mucha importancia. Si un usuario decide descargar un archivo muy grande, ese ancho de banda se les resta a otros usuarios. Entre más usuarios haya, habrá más competencia por el ancho de banda. El sistema telefónico no tiene esta propiedad particular: descargar un archivo grande a través de una línea ADSL no reduce el ancho de banda del vecino. Por otra parte, el ancho de banda del cable coaxial es mucho mayor que el del cable de par trenzado, por

lo que usted se podría considerar afortunado si sus vecinos no pasan mucho tiempo en Internet.

La forma en que la industria del cable ha lidiado con este problema es dividir los cables largos y conectar cada uno de ellos directamente a un nodo de fibra. El ancho de banda que el amplificador de cabecera proporciona a cada nodo de fibra es efectivamente infinito, de modo que mientras no haya demasiados suscriptores en cada segmento del cable, la cantidad de tráfico será manejable. En la actualidad, los cables típicos tienen de 500 a 2 000 casas, pero entre más y más gente se suscribe a Internet por cable, la carga podría volverse demasiada, lo que requeriría más divisiones y más nodos de fibra.

Módems de cable

Para acceder a Internet se requiere un módem de cable, un dispositivo que tiene dos interfaces: una en la computadora y la otra en la red de cable. Durante los primeros años de Internet por cable, cada operador tenía un módem de cable propietario, que era instalado por un técnico de la compañía de cable. Sin embargo, pronto quedó claro que un estándar abierto podría crear un mercado de módems de cable competitivo y bajar los precios, con lo que se alentaría el uso del servicio. Además, al permitir que los clientes compren los módems de cable en tiendas y que los instalen ellos mismos (al igual que los puntos de acceso inalámbricos) se podrían eliminar las temidas cuadrillas de la compañía de cable.

En consecuencia, los operadores de cable más grandes se unieron a una compañía llamada Cable-Labs para producir un estándar de módem de cable y probar la compatibilidad de los productos. Este estándar, llamado DOCSIS (Especificación de Interfaz para Servicio de Datos por Cable, del inglés Data Over Cable Service Interface Specification), ha reemplazado casi a todos los módems propietarios. La versión 1.0 de DOCSIS salió en 1997 y pronto le siguió DOCSIS 2.0 en 2001. Aumentó las tasas de transmisión ascendente para ofrecer un mejor soporte a los servicios simétricos tales como la telefonía IP. Una nueva versión del estándar DOCSIS 3.0 salió en 2007. La versión más reciente del estándar es DOCSIS 3.1, la cual fue publicada en 2014. Usa más ancho de banda para incrementar las tasas de transmisión en ambos sentidos. La versión europea de estos estándares se llama EuroDOCSIS.

La interfaz módem a computadora es directa. Por lo general es Ethernet y en ocasiones es USB. El otro extremo es más complicado, ya que usa FDM, TDM y CDMA para compartir el ancho de banda del cable entre los suscriptores, se conecta vía cable coaxial (Figura 3.4.2).



Figura 3.4.2: Dispositivo para conexión “Cable Modem”

Cuando un módem de cable se conecta y enciende, explora los canales descendentes en busca de un paquete especial que el amplificador de cabecera transmite periódicamente para proporcionar parámetros del sistema a los módems que se acaban de conectar. Al encontrar este paquete, el nuevo módem anuncia su presencia en uno de los canales ascendentes. El amplificador de cabecera responde y asigna el módem a sus canales ascendente y descendente. Estas asignaciones se pueden cambiar después, si el amplificador de cabecera considera necesario balancear la carga.

El uso de canales de 6 u 8 MHz es la parte correspondiente a FDM. Cada módem de cable envía datos en un canal ascendente y en un canal descendente, o en varios canales si se usa el estándar DOCSIS 3.0. El esquema usual es tomar cada canal descendente de 6 (u 8) MHz y modularlo con QAM-64 o, si la calidad del cable es excepcionalmente buena, con QAM-256. Con un canal de 6 MHz y QAM-64 obtenemos casi 36 Mbps. Cuando se resta la sobrecarga, la carga útil neta es de cerca de 27 Mbps. Con QAM-256 la carga útil neta aproximada es de 39 Mbps. Los valores europeos son 1/3 más grandes.

En el flujo ascendente hay más ruido de RF puesto que el sistema no estaba diseñado originalmente para datos, y el ruido de los múltiples suscriptores se canalizan hacia el amplificador de cabecera, por lo que se utiliza un esquema más conservador que varía de QPSK a QAM-128, en donde algunos de los símbolos se utilizan para protección contra errores mediante la modulación codificada de Trellis. Con menos bits por símbolo en el flujo ascendente, la asimetría entre las tasas de transmisión ascendente y descendente es mucho mayor.

Después se utiliza TDM para compartir el ancho de banda en el flujo ascendente entre los múltiples suscriptores. Si no fuera así, sus transmisiones colisionarían en el amplificador de cabecera. El tiempo se divide en minirranuras y los distintos suscriptores envían en distintas minirranuras. Para que esto funcione, el módem determina su distancia desde el amplificador de cabecera enviándole un paquete especial y espera a ver cuánto tiempo tarda en llegar la respuesta. Este proceso se conoce como alineación (ranging). Es importante que el módem conozca su distancia para que esté bien sincronizado. Cada paquete ascendente se debe ajustar en una o más minirranuras

consecutivas en el amplificador de cabecera al momento de recibirlo. El amplificador de cabecera anuncia el inicio de una nueva ronda de minirranuras en forma periódica, pero la señal de partida no se escucha en todos los módems al mismo tiempo debido al tiempo de propagación en el cable. Al saber qué tan lejos se encuentra del amplificador de cabecera, cada módem puede calcular hace cuánto tiempo empezó realmente la primera minirranura. La longitud de las minirranuras es dependiente de la red. Una carga útil típica es de 8 bytes.

Durante la inicialización, el amplificador de cabecera asigna a cada módem una minirranura con el fin de utilizarla para solicitar el ancho de banda ascendente. Cuando una computadora desea enviar un paquete, transfiere ese paquete al módem, que a su vez solicita el número necesario de minirranuras para el paquete. Si se acepta la solicitud, la cabecera coloca una confirmación en el canal descendente para indicar al módem cuáles minirranuras se reservaron para su paquete. Después se envía el paquete, empezando en la minirranura asignada para este fin. Los paquetes adicionales se pueden solicitar mediante el uso de un campo en el encabezado.

Como regla, la misma minirranura se asignará a múltiples módems, lo que generará una contienda. Existen dos diferentes posibilidades para lidiar con ello. La primera es que se utilice CDMA para compartir la minirranura entre los suscriptores. Esto resuelve el problema de la contienda, debido a que todos los suscriptores con una secuencia de código CDMA pueden enviar al mismo tiempo, aunque a una tasa de transmisión reducida. La segunda opción es no utilizar CDMA, en cuyo caso tal vez no se confirme la solicitud debido a una colisión. En este caso, el módem simplemente espera un tiempo aleatorio e intenta de nuevo. Después de cada fracaso sucesivo, se duplica el tiempo aleatorio (para los lectores que ya están familiarizados con las redes, este algoritmo es simplemente ALOHA ranurado con retroceso exponencial binario. No es posible utilizar Ethernet en el cable porque las estaciones no pueden detectar el medio).

Los canales descendentes se manejan de manera distinta a los ascendentes. Para empezar, sólo hay un emisor (el amplificador de cabecera) por lo que no hay contienda ni necesidad de minirranuras, lo que en realidad es tan sólo multiplexión estadística por división de tiempo. Por otro lado, el tráfico descendente por lo general es mucho mayor que el ascendente, de modo que se utiliza un tamaño fijo de paquete de 204 bytes. Parte de esto es un código de corrección de errores Reed-Solomon y cierta sobrecarga, lo que deja una carga útil de usuario de 184 bytes. Estos números se eligieron por compatibilidad con la televisión digital que utiliza MPEG-2, así que los canales descendentes de datos y de TV se formatean de la misma manera. Lógicamente, las conexiones son como se muestra en la Figura 3.4.3.

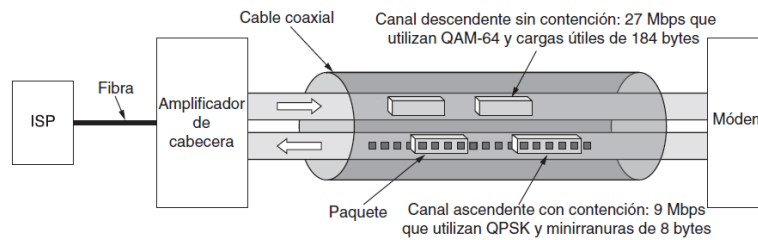


Figura 3.4.3: Funcionamiento cable modem

3.5. Metro Ethernet

Una Red Metro Ethernet, es una arquitectura tecnológica destinada a suministrar servicios de conectividad de datos en una Red de área metropolitana (MAN) de capa 2 en el modelo OSI, a través de interfaces (UNI's, User Network Interface, Interfaz de Red del Usuario) Ethernet. Estas redes denominadas "multiservicio", soportan una amplia gama de servicios, aplicaciones, y cuentan con mecanismos donde se incluye soporte a tráfico "RTP" (tiempo real), para aplicaciones como Telefonía IP y Video IP, aun cuando este tipo de tráfico es especialmente sensible al retardo y al jitter (Fluctuación).

Metro Ethernet es en la actualidad un servicio ofrecido por los proveedores de telecomunicaciones para interconectar redes de área local ubicadas a grandes distancias dentro de una misma ciudad, utilizando transporte WAN (Figura 3.5.1). Esta red se basa en el estándar Ethernet y cubre generalmente un área metropolitana. Es comúnmente utilizada como una red metropolitana de acceso para conectar a las empresas y/o clientes corporativos a una red como Internet.

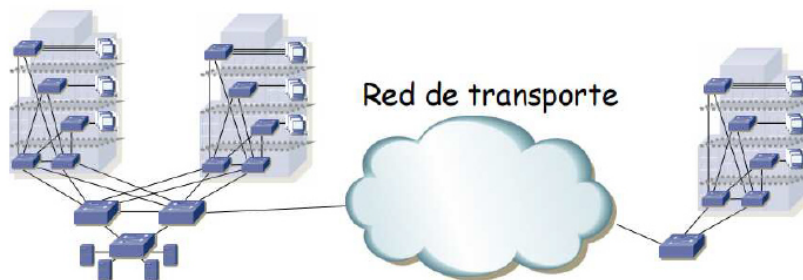


Figura 3.5.1: Topología de red Metro Ethernet

Una ventaja importante de Ethernet es que es una tecnología muy utilizada desde hace décadas en redes locales, aunado a otra ventaja de acceso al medio que puede ser fácilmente conectada a la red del cliente, debido a la frecuente utilización de Ethernet en las empresas (LAN) y, más recientemente, las redes residenciales. Por lo tanto,

integrando Ethernet a la red de área metropolitana (MAN) introduce una gran cantidad de ventajas tanto para el proveedor de servicios como al cliente (residencial y corporativo), gracias a estas características una empresa puede conectar sus sucursales en una sola intranet mediante Metro Ethernet. El principal objetivo de una red Ethernet es utilizarla como transporte llamada red dorsal o Backbone (PBN) donde un proveedor de servicios pueda transportar tráfico Ethernet mediante una arquitectura de red MAN/WAN Ethernet.

La ventaja es que la trama Ethernet puede ser escalable, es decir, se pueden modificar encabezados en la trama del frame Ethernet para tener mayor capacidad en cuanto a manejo de usuarios y servicios para transportar en una red Metro Ethernet, estos son los tipos de trama que se pueden manejar:

- ✓ La primer y básica trama Ethernet estándar 802.3 es comúnmente utilizada para comunicar estaciones de trabajo en una misma área local (LAN), una sola corporación, departamento o cliente y un solo servicio.
- ✓ Con la trama Ethernet del estándar 802.1Q el proveedor puede emplear etiquetas de VLAN (VLAN Tagging) para diferenciar clientes o usuarios, pero no puede diferenciar el tipo de tráfico o servicio.
- ✓ La trama Ethernet estándar 802.1ad conocido como QinQ, VLAN Stacking o VLAN apiladas (modificación a 802.1Q-2005) permite diferenciar entre las VLANs del cliente (C-VLAN) y las del servicio (S-VLAN). Sin embargo, los equipos switches Ethernet del proveedor de servicio ven gran número de direcciones MAC Address, el problema es que sólo permite 4094 clientes simultáneos
- ✓ La trama Ethernet del estándar 802.1ah (modifica 802.1Q-2005) posibilita conectar varias redes de equipos switches Ethernet de diferentes proveedores PBN's (Provided Bridged Networks) a través de una red dorsal o Backbone llamada PBBN (por sus siglas en Ingles: Provider Backbone Bridged Network). Este estándar es conocido como EFM (Ethernet in the First Mile, Ethernet en la primera milla).

En la figura 3.5.2 se observa cómo puede interpretarse la diferencia de los estándares para las tramas Ethernet:

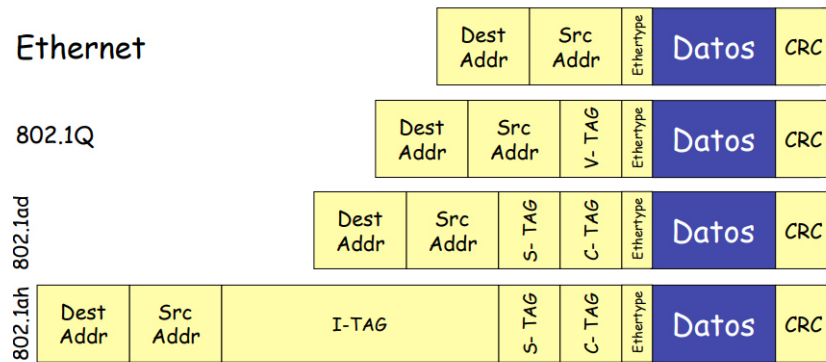


Figura 3.5.2: Distintos estándares para la trama Ethernet

Con la enorme demanda que implica la necesidad de uso del Internet y anchos de banda hacia los usuarios e interconectividad con los proveedores de servicios de Internet (ISP's), las capacidades de las tramas de Ethernet se estaban viendo limitadas, así que fue necesario agregar más campos de control a estas tramas para transportar y separar tráfico de usuarios y servicios con los estándares mencionados arriba.

3.5.1. Estructura de redes Metro Ethernet

Metro Ethernet para Redes de Área Metropolitana (MAN), utilizan principalmente medios de transmisión guiados, como son el cobre o par trenzado y la fibra óptica, existiendo también soluciones de radio enlaces, los caudales proporcionados son de 10 Mbps, 20 Mbps, 45 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps y 10 Gbps.

La tecnología de agregación de múltiples pares de cobre o cableado desde una central telefónica hacia sus abonados, también llamado de última milla (MAN BUCLE), permite la entrega de entre 10 Mbps, 20 Mbps, 45 Mbps y 100 Mbps, mediante la transmisión simultánea sobre múltiples líneas de cobre haciendo que esta técnica de agregación sobre cables par trenzado mantenga siempre disponible el medio físico, ya que es casi imposible que todas las líneas de cobre se pierdan al mismo tiempo y en caso de corte parcial, en el enlace se sigue transmitiendo al reducir el ancho de banda de forma proporcional.

La fibra óptica y el cobre se complementan de forma ideal en el ámbito de las redes de área metropolitana (MAN), ofreciendo cobertura total a cualquier servicio a desplegar, y poder interconectar redes de área local(LAN). Aunque también se puede hacer uso de redes de transporte con tecnologías como DWDM, Radio enlaces y/o red satelital para ampliar geográficamente la cobertura a nivel mundial formando redes con cobertura amplia (WAN).

Una interfaz Ethernet es mucho más barata que una jerarquía digital síncrona (SONET /SDH) o una jerarquía digital plesiócrona (PDH) con el mismo ancho de banda, una ventaja significativa de una red de acceso basada en Ethernet es que puede conectarse fácilmente a la red del cliente, debido al uso frecuente de Ethernet en redes corporativas (redes LAN) y, más recientemente, residenciales. En la actualidad la red de datos de un proveedor de servicios es una agrupación de equipos switches y ruteadores conectados a través de fibra óptica principalmente.

Las topologías de red podrían ser en forma de anillo, estrella o malla total o parcial. En las redes Metro Ethernet la estructura jerarquía está compuesta como: parte Distribución (Dorsal) y parte Agregación o acceso a la red. La parte dorsal en la mayoría de los casos se complementa con una red IP/MPLS ya existente. Dependiendo de la infraestructura de medios de comunicación existentes podría utilizarse transporte Ethernet puro con velocidades de 10Gbps, 40Gbps o 100Gbps, y próximamente de 400Gbps a Ethernet Terabit en el futuro.

Ethernet, en el área metropolitana, se encuentra actualmente como redes Ethernet puro sobre par trenzado como en empresas o corporativos, Ethernet sobre redes SDH, Ethernet sobre redes MPLS o Ethernet sobre redes DWDM. Las implementaciones basadas en Ethernet sobre par trenzado o cobre son más baratas, pero menos fiables y escalables, por lo que normalmente se limitan a despliegues en áreas locales o en el campo experimental. Los despliegues basados sobre tecnología SDH son útiles cuando existe una infraestructura SDH ya existente, aunque se desperdicia el uso del ancho de banda debido a la rígida jerarquía impuesta por la red SDH asignada a cada servicio parecido a la tecnología TDM. Los despliegues basados en MPLS son costosos, pero altamente confiables y escalables, y normalmente son utilizados por grandes proveedores de servicios.

Es también posible Ethernet sobre medios inalámbricos ya sea radioenlaces o microondas. Algunos proveedores de servicios están desplegando redes Metro Ethernet utilizando la tecnología inalámbrica fija, estas redes son comúnmente diseñadas para una gran parte de tráfico en la red utilizando enlaces con topologías punto a punto, o multipunto que se pueden denominar redes Metro Wireless. Utilizando la infraestructura actual de radio enlaces y microondas, muchos proveedores de servicio ahora confían en este tipo de tecnología para permitir el acceso a Internet en áreas donde no hay infraestructura de cable físico de las compañías telefónicas y también para evitar vandalismo como es el robo de cobre.

3.5.2. Modelo básico de servicios de Redes Metro Ethernet

El modelo básico de servicios en la red Metro Ethernet (MEN) y sus componentes que se muestran en la Figura 3.5.2.1, está clasificado y definido por el organismo “Metro Ethernet Forum (MEF)”, está compuesto por una red que funciona

bajo un esquema de equipos switches Ethernet capa 2 del modelo OSI ofrecida por un proveedor de servicios, los usuarios acceden a la red mediante sus equipos CE's (Equipo del Cliente, significado en Inglés "Customer Equipment"), también conocidos como Equipos de Demarcación Ethernet (DDE, significado en Inglés "Demarcation Device Ethernet") que se conectan a la red Metro Ethernet a través de enlaces locales llamados UNI's (Interfaz de Red del Usuario) a velocidades de 10Mbps, 100Mbps, 1Gbps o 10Gbps. En la Figura 3.5.2.1 se describen los siguientes enlaces:

- ✓ UNI (User Network Interface): ETH UNI-C: interfaz de lado del cliente y ETH UNI-N: interfaz de lado de la red
- ✓ NNI (Network to Network Interface): ETH I-NNI: interfaz NNI interna y ETH E-NNI, interfaz NNI externa

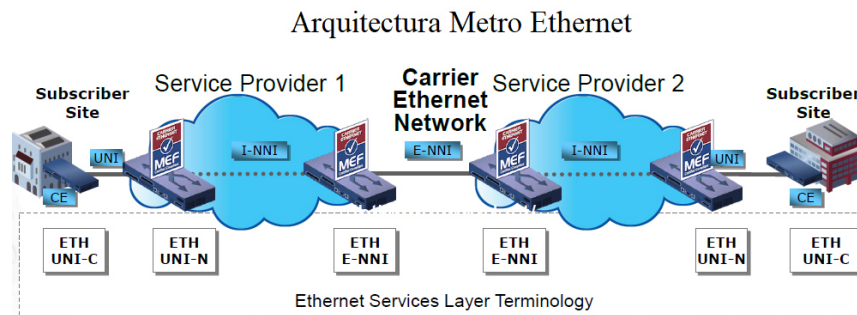


Figura 3.5.2.1: Arquitectura de la red Metro Ethernet

Conectividad Virtual Ethernet (EVC)

Una Conectividad Virtual Ethernet (EVC por sus siglas en Inglés: Ethernet Virtual Connection), es la asociación entre una o más interfaces UNI's (User Network Interface), es un canal virtual en esencia bidireccional que proporciona al usuario servicios extremo a extremo atravesando una o múltiples redes MEN (Metro Ethernet Network). Un EVC tiene las siguientes funciones:

- ✓ Conectar dos o más sitios (UNI's) habilitando la transferencia de tramas Ethernet entre ellos.
- ✓ Impedir la transferencia de datos entre usuarios que no son parte del mismo EVC, permitiendo privacidad y seguridad.
- ✓ Ofrece privacidad y seguridad similar a un circuito virtual ATM (PVC ATM).
- ✓ No altera o modifica la trama Ethernet original que pasa por la red y nunca se devuelve al origen.

- ✓ Un EVC puede ser usado para construir Redes Privadas Virtuales VPN (Virtual Private Network) de capa 2.

El organismo MEF (Metro Ethernet Forum) ha definido tres tipos de EVC:

- ✓ Punto a Punto (E-Line Service Type)
- ✓ Multipunto (E-LAN Service Type)
- ✓ Punto a Multipunto (E-Tree Service Type) (Forum M. E., 2008)

Tipo de Servicio E-LINE

El servicio E-Line proporciona un EVC punto a punto entre dos interfaces UNI (User Network Interface). Se utiliza para una conexión Ethernet punto a punto como se muestra en la Figura 3.5.2.2.

En este tipo de servicio con ancho de banda dedicado entre dos UNI's el cliente solicita un CIR (Committed Information Rate) o ancho de banda contratado con el proveedor de servicios respetando siempre esa disponibilidad firmado en un contrato o SLA (Service Level Agreement), se puede establecer una analogía con una línea TDM que de hecho es un servicio llamado “Emulación de Circuito” CE (por sus siglas en Inglés: Circuit Emulation), también llamado “Línea Privada Ethernet” EPL (Ethernet Private Line). Se puede utilizar multiplexación en las UNI (análogo a los circuitos virtuales privados PVC de Frame Relay o ATM), una interface física puede soportar más de un EVC también llamado “Línea Privada Virtual Ethernet” EVPL (Ethernet Virtual Private Line). Este tipo de circuito virtual EVC se configura como servicio Circuit Emulation para encapsular tráfico FR, ATM, TDM punto a punto.



Figura 3.5.2.2: EVC punto a punto en red Metro Ethernet

Tipo de Servicio E-LAN

El tipo de servicio E-LAN proporciona conectividad tipo multipunto, conecta dos o más interfaces UNI (User Network Interface) como se muestra en la Figura

3.5.2.3. Los datos enviados desde un UNI llegarán a una o más UNI destino, cada uno de ellos está conectado a un EVC multipunto. A medida que va creciendo la red y se van añadiendo más interfaces UNI, éstos se conectarán al mismo EVC multipunto, simplificando enormemente la configuración de la misma, desde el punto de vista del usuario, la ELAN se comporta como una red LAN.

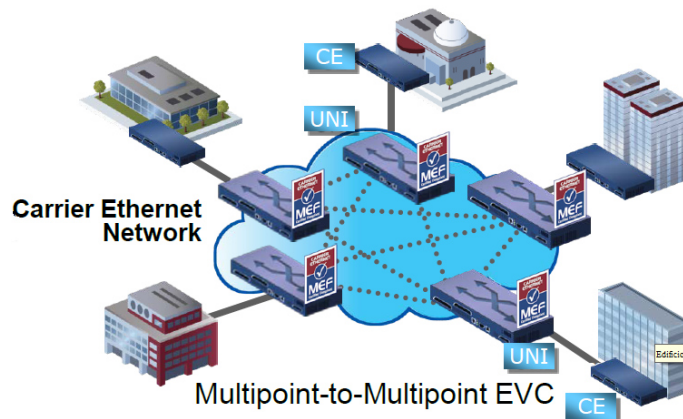


Figura 3.5.2.3: Servicios E-LAN

Tipo de Servicio E-Tree

El tipo de servicio E-Tree proporciona conectividad punto a multipunto, conecta una interface UNI a varias UNI's destino sin interconexión entre esos destinos y es unidireccional, así como se muestra en la figura 3.5.2.4. Los datos enviados desde un UNI llegarán a una o más UNI destino, este tipo de conectividad es del tipo de tráfico broadcast o multicast. Por ejemplo, el servicio de televisión abierta y la TV digital de paga, donde el proveedor de servicios envía la señal a varios usuarios.

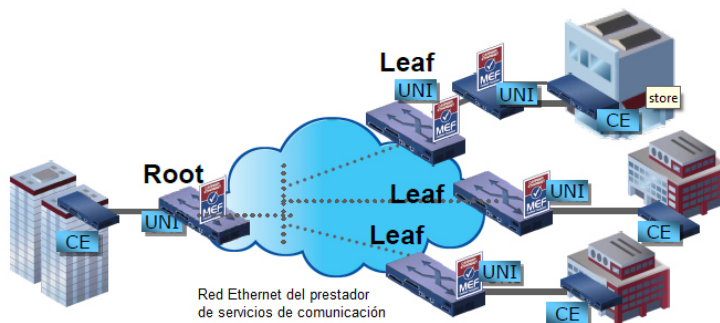


Figura 3.5.2.4: Servicios E-Tree punto – multipunto

Beneficios

Los beneficios que Metro Ethernet ofrece son:

- ✓ Presencia y expansión prácticamente de todo entorno en el ámbito metropolitano, en especial gracias a la disponibilidad de las líneas de cobre, con cobertura en todos lados en el ámbito urbano.
- ✓ Muy alta fiabilidad, ya que los enlaces de cobre en redes Metro Ethernet están constituidos por múltiples pares de líneas de cobre o par trenzado (MAN BUCLE) y los enlaces de Fibra Óptica.
- ✓ Fácil uso, interconectando con Ethernet se simplifican las operaciones de red, administración, manejo y actualización.
- ✓ Costos, los servicios Ethernet reducen gastos de suscripción y operación de tres formas:
 - Amplio uso: Se emplean interfaces Ethernet que son la más utilizadas para las soluciones de redes aprovechando las líneas de cobre de telefonía en los hogares y empresas.
 - Bajo costo: Los servicios Ethernet ofrecen un bajo costo en la administración, operación y funcionamiento de la red.
 - Ancho de banda: Los servicios Ethernet permiten a los usuarios acceder a conexiones de banda ancha a menor costo.
- ✓ Flexibilidad: Las redes de conectividad mediante Ethernet permiten modificar y manipular de una manera más dinámica, versátil y eficiente, el ancho de banda y la cantidad de usuarios de manera muy rápida.

El modelo básico de los servicios Metro Ethernet, está compuesto por una Red de Área Metropolitana de conmutación capa 2 OSI (Metro Ethernet Network), ofrecida por el proveedor de servicios, los usuarios acceden a la red mediante CE's (Customer Equipment), el equipo CE puede ser un router y switch que se conectan a través de interfaces UNI's (User Network Interface) a velocidades de 10 Mbps, 20 Mbps, 45 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps y 10 Gbps.

Los organismos de estandarización IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), IETF (Grupo de Tareas en Ingeniería de Internet), ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y los acuerdos entre fabricantes, están jugando un papel determinante en su evolución, incluso se ha creado el MEF (Metro Ethernet Forum) organismo dedicado únicamente a definir Ethernet como servicio metropolitano.

Características del uso de ancho de banda

Para garantizar a los clientes finales el ancho de banda contratado en las redes Metro Ethernet se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- ✓ CIR: tasa de información contratada (Committed Information Rate): es la cantidad promedio de información que se ha transmitido, teniendo en cuenta los retardos, pérdidas, etc.
- ✓ CBS: volumen de información comprometida (Committed Burst Size): es el tamaño de la información utilizado para obtener el CIR respectivo.
- ✓ EIR: tasa de información excedida (Excess Information Rate): especifica la cantidad de información mayor o igual que el CIR, hasta el cual las tramas son transmitidas sin pérdidas.
- ✓ EBS: volumen de información en exceso (Excess Burst Size): es el tamaño de información que se necesita para obtener el EIR determinado.

3.6. Última milla inalámbrica

El bucle local inalámbrico conocido como Wireless Local Loop (WLL), Radio In The Loop (RITL), Fixed-Radio Access (FRA) o Fixed-Wireless Access (FWA), es el empleo de un enlace de comunicaciones inalámbricas como la conexión de "última milla" para ofrecer servicios de telefonía (POTS) y también Internet de banda ancha a los usuarios (Figura 3.6.1). Se trata primordialmente del empleo de frecuencias licenciadas, descartándose las llamadas "bandas libres" debido a la falta de garantías, por tratarse de frecuencias de empleo compartido, con el pertinente peligro de saturación y también indisponibilidad de la red.

Los operadores de servicios de comunicación han desarrollado sus redes cableadas a través de muchos años de despliegue de infraestructuras. Una parte de la red, la que permite el acceso al abonado, y que es conocida como "la última milla", se ha desplegado de forma tradicional usando pares de cobre, y últimamente fibra óptica. La liberación del mercado de las telecomunicaciones que han tenido lugar en los últimos tiempos en numerosos países y la demanda de mayor ancho de banda por parte de los clientes, han sido los dos principales factores que han propiciado la aparición de nuevas tecnologías, con el objeto de optimizar los costos para "llegar" a más clientes.

Por lo tanto existe en consecuencia una necesidad de productos con los que el nuevo operador pueda acceder al usuario final con un despliegue veloz en frente de los contendientes y que garantice, no solo los servicios tradicionales de telefonía para POTS (Plain Old Telephone Service) sino más bien asimismo otros servicios más avanzados para Internet o bien telefonía digital como la (Red Digital de Servicios Integrados) así sea BRA (Básico, 2 canales) o bien PRA (Primario, treinta canales), o bien servicios de datos a velocidades de Nx64Kbps, superiores a las que hasta el momento se ofertaban. La solución para no emplear cable (cobre, coaxial o bien fibra óptica) ralentizando el despliegue de una Red de Acceso, es emplear un sistema vía ondas de radio. Es frecuente escuchar charlar de WLL "Wireless Local Loop" o bien bucle de abonado sin hilos, abarcando en este término otros sistemas de mayor capacidad como los de Acceso Radio Punto-Multipunto de Banda Ancha. Realmente es cuestión de la capacidad de transmisión y no hay un límite oficial para separar unos de otros. Se puede

distinguir como sistemas WLL aquellos que no alcanzan la capacidad de 2 (dos) Mbps por link.

Técnicamente se trata de usar una red de Estaciones Base que concentran el tráfico que le mandan a través de radioenlaces los diferentes terminales instalados en los abonados. Las Estaciones Base llevan dicho tráfico hasta la central de conmutación por medio de las Redes de Transporte así sea por fibra óptica o bien radioenlace.

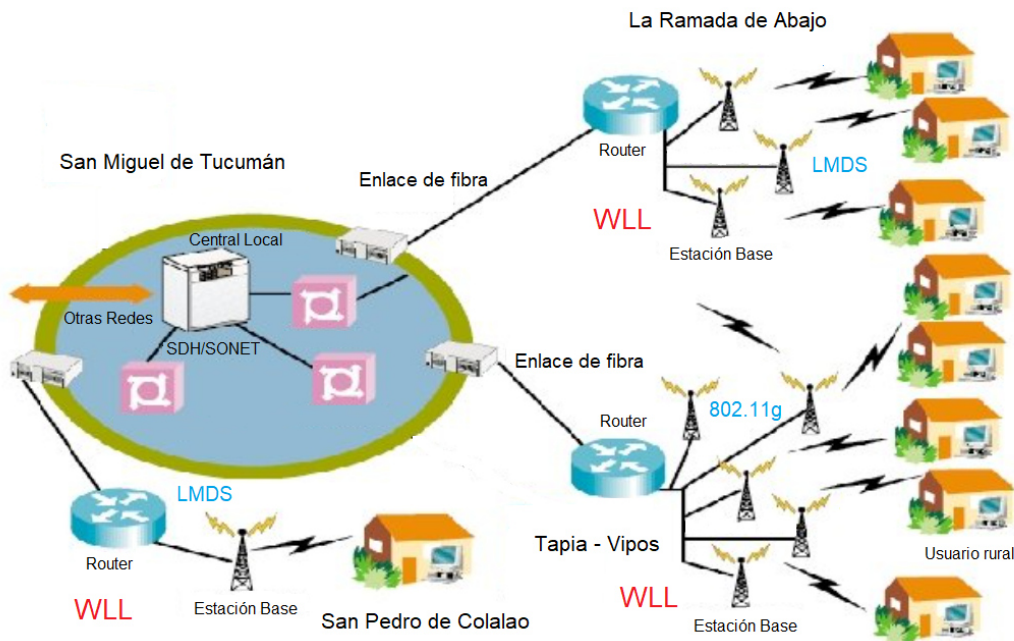


Figura 3.6.1: Bucle local inalámbrico en localidades rurales de Tucumán

Las plataformas WLL se pueden clasificar conforme a la plataforma que utilizan: aquellas que se fundamentan en protocolos analógicos móviles con la desventaja de tener restricciones para aplicar servicios avanzados, las basadas en protocolos digitales móviles como GSM, TDMA y CDMA o en menor medida aquellas que utilizan protocolos propietarios.

Otra tecnología de gran ancho de banda es la famosa LMDS (Local Multipoint Distribution Service), la cual ofrece un servicio a empresas, con posibilidad de implementar “Video on Demand” (vídeo bajo demanda) con capacidades de transmisión superiores a los 2Mbps por abonado (Figura 3.6.2). Esta solución se fundamenta en tecnologías de alta frecuencia (entre veintiocho y cuarenta GHz) y por consiguiente requiere “línea de visión” entre la Estación Base y la Terminal del Usuario. Las comunicaciones en los sistemas LMDS se realizan en forma de radiodifusión desde la estación base hacia los usuarios, en lo que se conoce como punto a multipunto. Al mismo tiempo, dado que la comunicación es bidireccional, los usuarios también pueden establecer enlaces punto a punto con dicha estación base. Para el enlace descendente (de estación base a usuario) suele utilizarse TDMA como técnica de acceso. Por otro lado,

para el enlace ascendente (de usuario a estación base) se utilizan combinaciones de acceso múltiple TDMA y FDMA. Los esquemas de modulación más empleados son QPSK y QAM. Las modulaciones de fase (QPSK) son más resistentes frente a interferencias y distorsión que las modulaciones de amplitud (QAM), aunque como desventaja se tiene una menor eficiencia espectral que conduce a menores velocidades de transmisión.

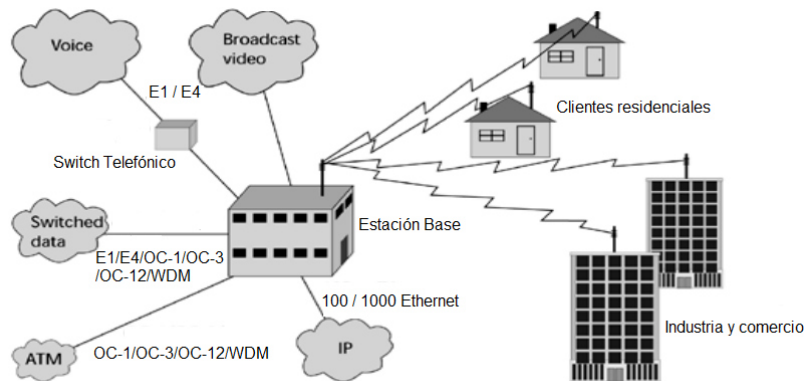


Figura 3.6.2: Sistema punto – multipunto LMDS

El bajo nivel de penetración de servicios básicos de telecomunicaciones en zonas rurales en la Argentina, asociado a las altas demandas por parte de empresas y usuarios hogareños, ha permitido el desarrollo y la instalación de enlaces WLAN con tecnología de Wi-Fi: IEEE 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac, entre otros, la cual ya fue desarrollada en el capítulo 9 de la primera parte de las presentes notas.

Las redes Wi-Fi operan en las bandas de los 2.4 y 5 GHz (no es preciso contar con de licencia), con una velocidad de 11Mbps (802.11b), 54Mbps (802.11g), 450 Mbps (802.11n) y 1300 Mbps (802.11ac), permitiendo un funcionamiento compatible a una red Ethernet. De esta forma, las operadoras telefónicas o proveedores privados de internet (ISP) ofrecen el servicio de telefonía e internet a hogares rurales y oficinas ubicadas a grandes distancias de los centros urbanos. Estos usuarios rurales se conectan en forma inalámbrica al último punto de acceso de la red cableada del operador.