



DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
CURSO 2011-2012

Ingeniería Informática
Telemática y Sistemas de Transmisión de Datos

Tema 5
El Sistema Telefónico

Prof. Juan Manuel Orduña Huertas

Contenidos

1	La red telefónica pública conmutada	1
1.1	La red telefónica pública conmutada	1
1.2	El bucle de abonado: módems, ADSL	2
1.2.1	Modems	4
1.2.2	ADSL, ADLS2, ADSL2+	6
1.3	Redes de televisión por cable (CATV) para Internet por cable	10
1.3.1	Módems de cable	13
2	Multiplexación en el sistema telefónico	16
2.1	La jerarquía digital plesiócrona (PDH)	16
2.2	SONET/SDH	21
2.3	Conmutación en el sistema telefónico	26
3	Redes ATM	30
3.1	B-ISDN.Tecnología ATM	30
3.2	Modelo de referencia ATM	32

3.3 Transmisión de la información en el modelo ATM	34
4 Ejercicios	36
Bibliografía	38

1 LA RED TELEFÓNICA PÚBLICA CONMUTADA

Cuando tenemos problemas para comunicar dos computadoras entre si, bien por la distancia o bien por tener que usar la vía pública (o alguna zona restringida) para sus utilización, no hay más remedio que optar por la solución de contratar líneas telefónicas en lugar de instalar una LAN. En el caso de usuarios particulares que desean conectarse a Internet también hay que acabar contratando un acceso a Internet a través de una compañía de teléfonos. En este caso se conecta la computadora a la línea pública. Por ello, vamos a estudiar en este tema los sistemas y tecnologías que utilizan las redes telefónicas públicas

1.1 La red telefónica pública conmutada

El sistema telefónico tiene una **estructura jerárquica**. Esta estructura procede de los primeros tiempos del sistema telefónico, que data de 1876. Los primeros teléfonos se vendían por pares, y el cliente tenía que conectarlos entre sí con cables. Cuando se vió que era inviable conectar cada cliente con todos los demás, Bell fundó la Bell Telephone Company y estableció la primera oficina de conmutación, que tendió un cable a cada cliente y se encargaba de conmutar manualmente para realizar las llamadas. Al establecerse diferentes oficinas de conmutación en diferentes ciudades, comenzaron a interconectarse estas para permitir a los clientes realizar llamadas de larga distancia. Posteriormente fué necesario ir uniendo estas oficinas con oficinas de conmutación de segundo nivel, porque también era imposible interconectar todas las oficinas de conmutación entre sí. Y el proceso continuó para interconectar grandes regiones e incluso países. Por ello el sistema telefónico tiene la estructura jerárquica redundante que describimos a continuación, y que aparece en la figura 1.1

El abonado a una compañía telefónica tiene un teléfono conectado a la pared mediante un conector (roseta). De la roseta saldrá un cable con 2 hilos que van ininterrumpidamente a una central telefónica local (c. urbana). Este circuito se denomina **bucle de abonado**

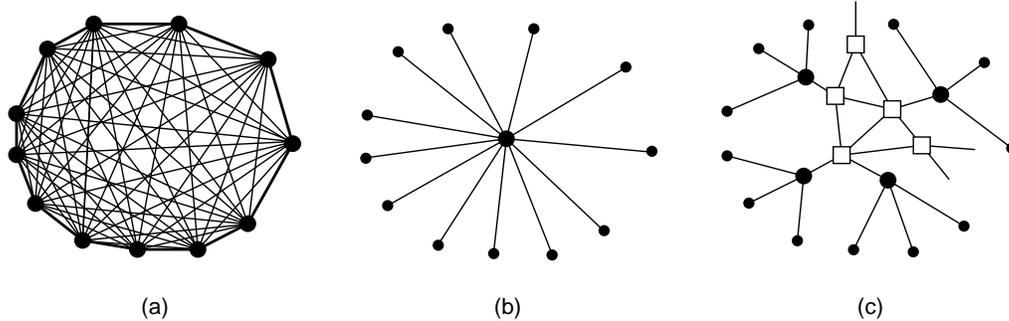


Figura 1.1: a) Red totalm. conexa b) Red centralizada c) Jerarquía de niveles

o **circuito local**. Las centrales telefónicas consisten básicamente en un conmutador capaz de conectar entre sí múltiples bucles de abonado. Normalmente una central urbana tiene una capacidad de 1000 a 10000 bucles de abonado. El bucle de abonado puede tener una longitud de 1 km a 10 km., y es un cable bifilar.

Cuando el abonado A realiza una llamada al abonado B que está conectado a la misma centralita, el conmutador establece una conexión eléctrica directa del bucle de abonado A con el bucle de abonado B, y esta conexión permanece mientras dura la llamada. Sin embargo, puede darse el caso de que el usuario A llame a otro usuario que no esté conectado a la misma central. Cada central local además de los bucles de abonado, tiene unas líneas llamadas **troncales** que la unen con uno o más centros de conmutación. Estos centros de conmutación pueden ser otra central urbana o bien una central de conmutación de mayor jerarquía (interurbana, regional, etc.), para conectar con otras centrales más alejadas.

La cantidad de tipos diferentes de centros de conmutación y su topología varían en cada país, pero en general el encaminamiento de una llamada de media distancia podría esquematizarse tal y como aparece en la figura 1.2

1.2 El bucle de abonado: módems, ADSL

Con la implantación de la fibra óptica y la era de los computadores surgió la necesidad de enviar datos digitales sobre el sistema telefónico. Para ello es necesario convertir los datos de los computadores a formato analógico para transmitirlos por el bucle de abonado, y

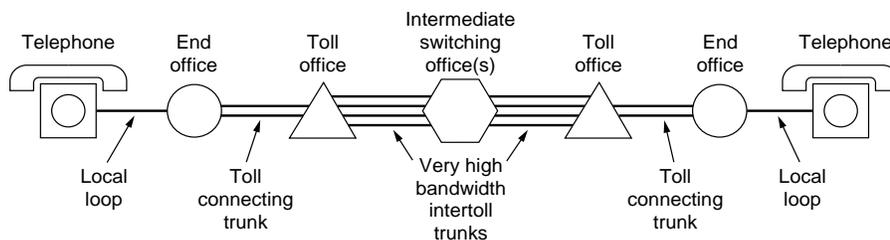


Figura 1.2: Esquema de circuitos en una llamada de media distancia.

convertirlos de nuevo de analógico a digital antes de entregarlos al computador de destino (en el bucle de abonado de destino). Esta función la realizan los **módems** (de *modulador/demodulador*). Por otra parte, con la llegada de la fibra óptica se cambiaron muchas troncales telefónicas de larga (y no tan larga) distancia de cable de pares a fibra óptica. Además se instalaron dispositivos llamados codecs (de *codificador/decodificador*) que muestrean las líneas de abonado y convierten su señal en una señal PCM (que es digital) para multiplexarla por las troncales de fibra. Como resultado, tenemos un sistema telefónico como el de la figura 1.3

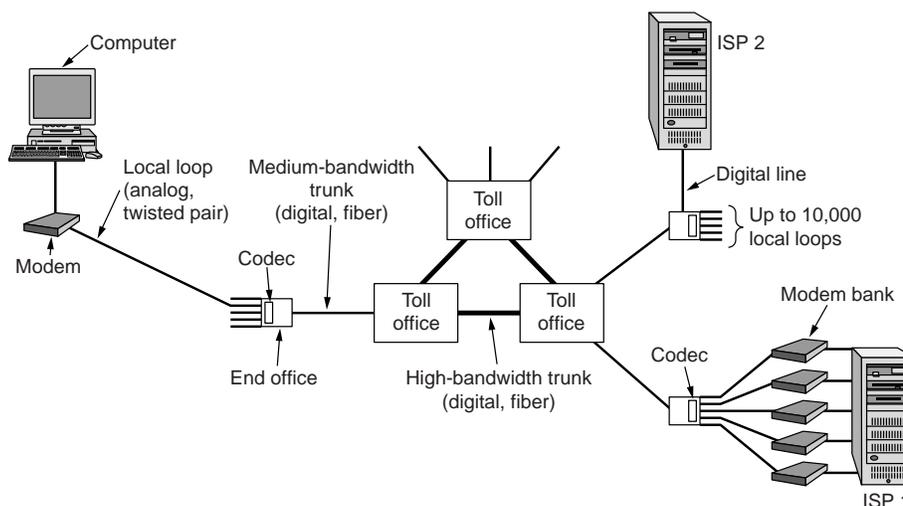


Figura 1.3: Esquema de distintos bucles de abonado para transmisión de datos

Así, resulta que un computador tiene que transmitir al bucle de abonado mediante un módem que pase la señal digital a analógica, pero en la central local un codec transforma la señal de analógica a digital. En la central local de destino, un codec la vuelve a pasar a

analógica y el módem de destino la pasa finalmente a digital. Es lo que ocurre para conectar la computadora de la izquierda de la figura 1.3 con el ISP1 (ISP = Internet Service Provider = Proveedor de Servicio de Internet: Computador que nos sirve de acceso a Internet, o cualquier otro computador al que queramos conectarnos).

1.2.1 Modems

El dispositivo que permite conectar un computador al sistema telefónico se denomina **modem**, y proviene de las palabras **modulador/demodulador**. La función de los modems es doble:

1. Transformar una señal moduladora digital (la señal que genera el computador) en una señal que puede ser analógica o digital, dependiendo de cómo sea la línea telefónica.
2. La función esencial de un módem es trasladar el espectro de la señal generada por el computador a la banda del espectro correcta para que pueda ser transmitida por el canal telefónico.

Un concepto fundamental en los modems es la **velocidad de señalización** que es el número de símbolos transmitidos por segundos. Así, un **baudio** es una velocidad de señalización de 1 símbolo por segundo. Así, una línea de 2400 baudios donde el símbolo es 0 voltios para un cero lógico y 1 voltio para un uno lógico, la velocidad de transmisión resultante es de 2400 bps. Sin embargo, si cada símbolo equivale a 2 bits (y por tanto se puede enviar 4 símbolos, 4 niveles de señal distintos) entonces para una señalización de 2400 baudios estaríamos hablando de una velocidad de transmisión de 4800 bps.

En realidad los modems modulan la señal que circula en un sentido y demodulan la señal que circula en sentido contrario. Aunque los primeros modems realizaban una modulación FSK, luego apareció el estándar de módem **V.32**. Este estándar se llama así porque utiliza una modulación QAM con un diagrama constelación de 32 puntos para transmitir 4 bits de datos y 1 bit de paridad por símbolo a 2400 baudios, obteniendo una velocidad de transmisión total de 12000 bps pero una velocidad de transmisión de datos de 9600 bps.

A continuación surgió la **V.32 bis**, que transmite 6 bits de datos y 1 bit de paridad por muestra a 2400 baudios. Utiliza modulación 128-QAM. La figura 1.4 muestra los diagramas constelación de ambos estándares V.32.

Después del V.32 vino el estándar *V.34*, que transmite 12 bits de datos por símbolo a 2400 baudios, resultando en 28800 bps., y el *V.34 bis*, que transmite 14 bits de datos

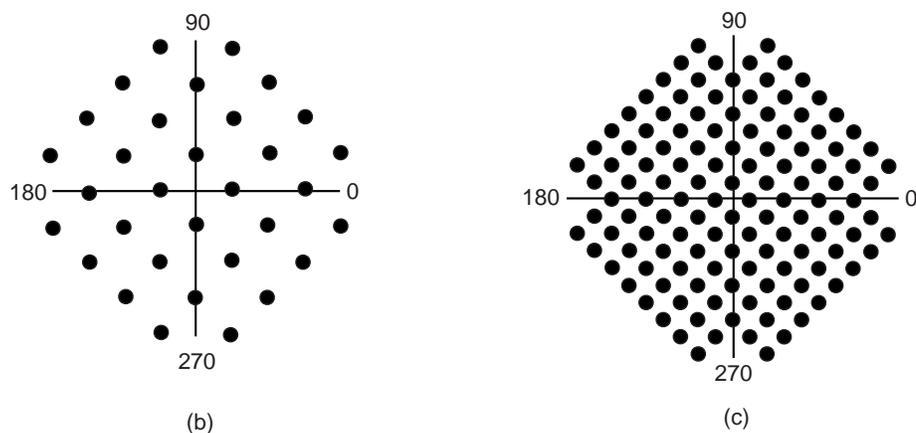


Figura 1.4: Diagramas constelación de los estándares V.32

a 2400 baudios, resultando en 33.600 bps. En principio este sería el límite de velocidad de transmisión para circuitos analógicos, ya que la longitud media de los circuitos locales determina un máximo de 35 kbps. Si pudiéramos eliminar los circuitos analógicos que aparecen en la figura 1.3 (además para conectar la computadora con el ISP 1 hay 2 circuitos analógicos) se podría duplicar la velocidad de transmisión. Eso justamente es lo que hace el ISP 2 de la figura 1.3. Tiene una línea digital de la central más cercana, de forma que la señal digital de las troncales se alimenta directamente al ISP2, eliminando los codecs y modems, y la velocidad de transmisión puede llegar hasta 70 kbps.

La razón por la cual los módems actuales son de 56,6 kbps es la siguiente: El canal telefónico tiene 4000 Hz. de ancho de banda, de forma que la mínima frecuencia de muestreo que se necesita para una línea telefónica es de 8000 muestras por segundo. En todos los países se usa codificación PCM de 8 bits para codificar las líneas telefónicas digitales. Esto da unas líneas digitales básicas (en bucle de abonado) de 64000 bps. Lo que ocurre es que en EE.UU. 1 de los 8 bits se usa para control, con lo que la línea básica es de 56000 bits por segundo. Ese es el estándar de módem *V.90*, que tiene un canal ascendente (del usuario al ISP) de 33,6 kbps, y un canal descendente de 56 kbps.

El paso siguiente ha sido el módem *V.92*, con capacidad para 48 kbps en el canal ascendente. Además estos módems determinan antes la velocidad apropiada y permiten que una llamada telefónica entrante interrumpa una sesión de Internet. No obstante, con la llegada de la Internet de banda ancha estos modems han perdido su razón de ser.

1.2.2 ADSL, ADSL2, ADSL2+

Cuando la industria telefónica consiguió alcanzar los 56 kbps, la industria de la televisión por cable y las redes de área local ofrecían ya 10 Mbps. Conforme el acceso a Internet de los usuarios se volvía más importante en el negocio de las telefónicas, vieron que necesitaban un producto más competitivo. En general, los servicios con mayor ancho de banda que el servicio telefónico común se denomina de **banda ancha**, aunque esto es un término más de marketing que un término técnico específico. Inicialmente había varias técnicas agrupadas bajo el nombre general de **xDSL**, pero la más popular ha sido la **ADSL** o Línea Asimétrica Digital de Suscriptor (del inglés *Asymmetric Digital Subscriber Line*).

La razón por la cual los módems son tan lentos es primero porque el sistema telefónico fue creado para la voz humana, y segundo porque en las centrales urbanas, en el lugar donde termina el circuito local el cable pasa a través de un filtro que atenúa todas las frecuencias menores de 300 Hz. y mayores de 3400 Hz (bandas de guarda para los canales de voz). El truco para ADSL es que cuando un cliente se suscribe su línea de entrada se conecta a otro tipo distinto de conmutador sin filtro, con lo cual queda toda la capacidad del canal. El problema es que la capacidad del circuito local depende de varios factores, del cual el más importante es la longitud. La figura 1.5 muestra una gráfica del ancho de banda **potencial** en función de la distancia del bucle de abonado

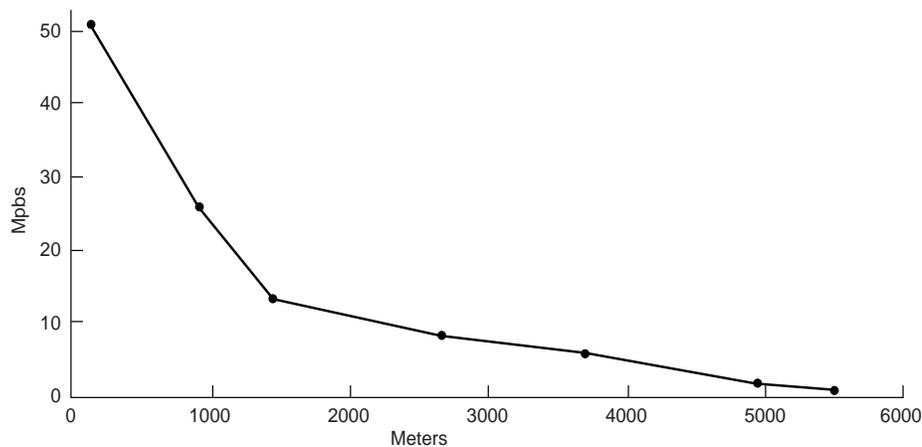


Figura 1.5: Ancho de banda potencial de bucle de abonado con cable UTP categoría 3.

Esta gráfica muestra cómo la velocidad de transmisión real que alcanza una línea ADSL depende, entre otros factores, de la longitud del bucle de abonado. La ley obliga únicamente a que la velocidad de transmisión media sea un 10% de la velocidad nominal. Es decir, una línea que se anuncia como de 1 Mbps sólo tiene que alcanzar 100 kbps de

velocidad media.

ADSL recibe su nombre de la división que hace del ancho de banda del canal, que es de alrededor de 1,1 MHz. La figura 1.6 muestra un esquema de esta asignación.

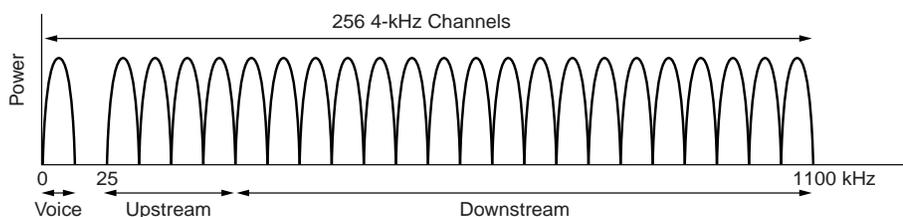


Figura 1.6: Asignación del ancho de banda ADSL

ADSL utiliza multiplexación en frecuencia para la creación de 256 subcanales 4312,5 Hz. El canal 0 se utiliza para el servicio telefónico convencional. Los canales 1 a 5 no se emplean, dejándose como banda de guarda. De los 250 canales restantes 1 se utiliza para el control de flujo de datos ascendente y uno para el control de flujo de datos descendente. El resto está disponible para datos del usuario, pero casi todos los proveedores usan entre un 80 y un 90% de los canales para el flujo de datos descendente, ya que normalmente el usuario descarga más tráfico del que envía. Una división habitual es asignar 32 canales para el flujo ascendente y el resto al flujo descendente.

El estándar ADSL (ANSI T1.413 y el ITU G.992.1) permite velocidades (máximas) de hasta 8 Mbps para el flujo descendente y 1 Mbps para el flujo ascendente, aunque las líneas ADSL de 1 Mbps ofrecen 1 Mbps para el flujo descendente y 256 kbps para el ascendente. Dentro de cada canal se utiliza una modulación parecida a la V.34, excepto en que la velocidad de señalización es de 4000 baudios en lugar de 2400. Utiliza modulación QAM con 15 bits de datos. Así, con 224 canales descendentes y 15 bits/baudio a 4000 baudios, el ancho de banda del flujo descendente sería de 13,44 Mbps.

$$4000 \text{ baudios} \times 15 \text{ bits/baudio} = 6000 \text{ bps por cada canal}$$

$$224 \text{ canales} \times 6000 \text{ bps/canal} = 13.440.000 \text{ bps}$$

Pero en la práctica la relación señal/ruido nunca permite esa velocidad. No obstante, en circuitos cortos y de buena calidad es posible lograr hasta 8 Mbps, razón por la cual el estándar llega hasta esa velocidad de transmisión. No obstante, hay que recalcar que estos son **valores máximos**.

El esquema del sistema ADSL se muestra en la figura 1.7. Al contratar una línea ADSL, un técnico de la compañía instala una caja (el NID, de **Dispositivo de Interfaz de Red**), que delimita el fin de la propiedad de la compañía telefónica y el inicio de la propiedad del cliente. En el NID suele haber un **divisor**, que no es más que un filtro analógico que separa la banda de 0 a 4000 Hz de los datos. Por eso de la cajita suelen sacar 2 cables, uno para el ordenador y otro para el teléfono.

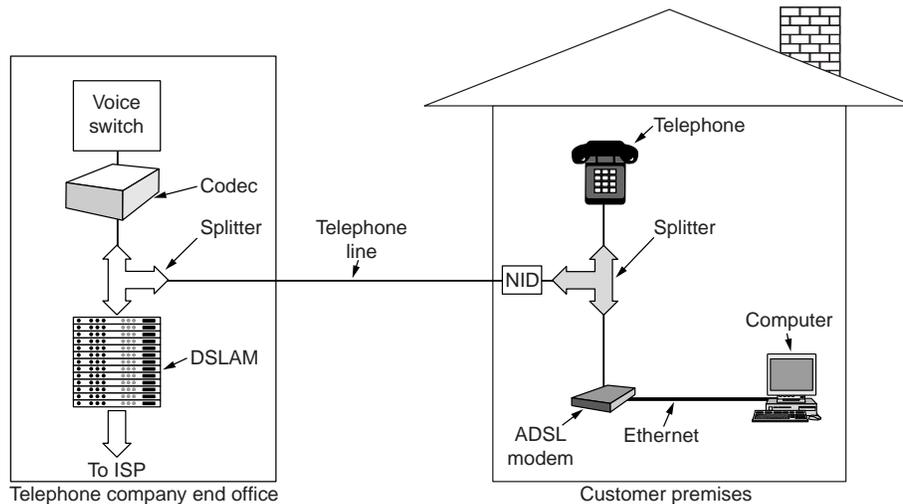


Figura 1.7: Configuración típica de sistema ADSL

El módem ADSL en realidad es un procesador de señales digitales que funciona como 250 módems QAM funcionando en paralelo a diferentes frecuencias. Como el módem ADSL suele ser externo (uno lo compra al contratar la línea ADSL, no lo compra con el ordenador) el computador tiene que estar conectado al módem con un canal de gran ancho de banda. Esto se consigue conectando la tarjeta ethernet del computador con el módem, formando una ethernet de sólo 2 nodos. Alternativamente se usa el puerto USB del computador.

En la oficina central se instala otro divisor de frecuencias, de tal forma que las señales por encima de 26 kHz se envían un dispositivo llamado **DSLAM** que no es más que otro procesador digital de señales igual que el módem ADSL.

Actualmente han aparecido nuevos estándares que mejoran el ADSL, para poder competir con el sistema de televisión por cable (CATV) que veremos a continuación. En concreto, son unas evoluciones denominadas ADSL2 y ADSL2+ (basada esta última en la recomendación de la ITU ITU-T G.992.5.) con capacidad de dar televisión y video de alta calidad por el par telefónico, lo que ha permitido a la(s) telefónicas realizar ofertas

	ADSL	ADSL2	ADSL2+
Frecuencia	0,5 MHz	1,1 MHz	2,2 MHz
Vel. Trans. ascendente	1 Mbps	1 Mbps	1,2 Mbps
Vel. Max. descendente	8 Mbps	12 Mbps	24 Mbps
Distancia	2 Km	2,5 Km	2,5 km
Tiempo Sincronización	10-30 s	3 s	3 s
Corrección de Errores	No	Sí	Sí

Tabla 1.1: Prestaciones de los estándares ADSL

integradas de voz, datos y televisión.

La Tabla 1.1 muestra una comparación de las distintas prestaciones que ofrecen los estándares ADSL existentes hasta el momento:

ADSL2+ es una evolución del sistema ADSL y ADSL2 basado en la recomendación de la ITU ITU-T G.992.5. La principal diferencia con respecto a un sistema ADSL es que la cantidad de espectro que puede usar sobre el cable de cobre del bucle de abonado es el doble. Este espectro de más se usa normalmente para alojar en canal de bajada de información (downstream) desde la central al abonado, proporcionando un mayor caudal de información. La figura 1.8 muestra el espectro que utiliza el estándar ADSL2+.

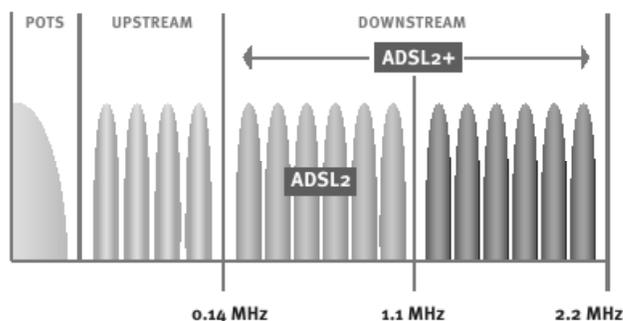


Figura 1.8: Espectro utilizado por ADSL2+

La parte superior del espectro que ADSL2+ utiliza también es la más vulnerable a la diafonía y a la atenuación, por tanto al aumentar la distancia, el ruido por diafonía y la atenuación son mayores. Por ello, aunque teóricamente la velocidad que un sistema ADSL2+ puede alcanzar supera los 24 Mbps para distancias cercanas a la central, lo que

ocurre es que a medida que la distancia a la central aumenta, esta ventaja en el caudal se hace más pequeña. A partir de unos 3000 metros, la diferencia con ADSL es marginal, como muestra la Figura 1.9

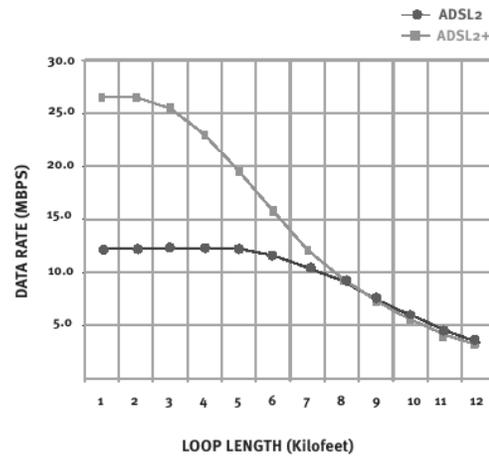


Figura 1.9: Velocidad de transmisión para diferentes distancias en ADSL2+

1.3 Redes de televisión por cable (CATV) para Internet por cable

Las redes CATV aparecieron en los Estados Unidos en 1949 para resolver las malas condiciones de recepción de la señal de televisión que se daban en algunas ciudades o barrios por orografía u otras razones. La solución consistía en instalar una antena en un sitio elevado con buenas condiciones de recepción, y desde allí distribuir la señal mediante cable coaxial a los usuarios. El hecho de que la antena se colocara en un lugar elevado dio lugar a la denominación 'downstream' o descendente que se utiliza para describir la comunicación en el sentido del centro emisor hacia el usuario. El centro emisor, o cabecera de la red, puede tener una antena de superficie para captar la programación normal, varios receptores de canales vía satélite y una serie de canales de programación propia. Todas estas señales se distribuían a los abonados a través de la red de cable coaxial, que puede abarcar muchos miles de usuarios. La figura 1.10 muestra un esquema de aquel sistema.

Para resolver los problemas de gestión y mantenimiento de las redes CATV coaxiales a finales de los años 80 empezaron a aparecer redes CATV con la arquitectura denominada **HFC (Híbrido Fiber Coax)**, que consiste en formar dos niveles jerárquicos, el principal

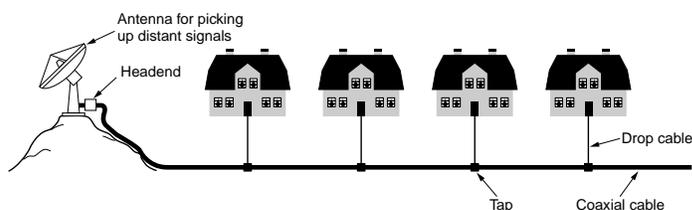


Figura 1.10: Antiguo sistema de televisión por cable

formado por un tendido de fibra óptica con topología de estrella distribuye la señal desde el centro emisor hasta cada zona de la ciudad. En cada zona hay un nodo (normalmente un armario ubicado en la acera) que se encarga de convertir la señal óptica en eléctrica para su distribución final en cable coaxial a los abonados. Cada zona abarca de 500 a 2000 viviendas. La transmisión por fibra óptica no requiere el uso de amplificadores, y en cuanto a la red de coaxial al tener que cubrir una distancia mucho menor el número de amplificadores máximo es de 5 (en muchas redes nunca hay más de 2 ó 3), con la consiguiente mejora en calidad de la señal y sencillez de mantenimiento. La figura 1.11 a) muestra el esquema de un sistema HFC moderno. Por motivos de comparación, la figura 1.11 muestra el sistema telefónico fijo.

Las redes HFC también facilitaron la utilización de la red para tráfico ascendente. Esto permitía labores de monitorización y servicios tales como el pago por visión. Dado que la señal de televisión utiliza frecuencias a partir de los 50-100 MHz, se utilizan las frecuencias inferiores para la comunicación ascendente. Además se colocan amplificadores en sentido ascendente para el rango de bajas frecuencias, que no interfieren en la propagación de la señal descendente. Cuando se utilizan para transmitir datos, las redes HFC permiten la comunicación bidireccional sobre la misma red CATV. En España, dado que la mayoría de las redes CATV son de reciente creación, casi todas son del tipo HFC y por tanto bidireccionales. Nosotros en nuestra discusión nos limitaremos a hablar de este tipo de redes. Además en España hay una diferencia fundamental con respecto al sistema HFC de la figura 1.11 a). Como aquí el sistema es de muy reciente instalación debido a que no se liberalizó el mercado de las telecomunicaciones hasta hace muy pocos años, las compañías de cable ya instalan un cable coaxial para cada vivienda, y no un único cable con derivadores. Ello hace que no se comparta el ancho de banda en el cable, como ocurre en otros sitios [5]

La asignación del ancho de banda disponible para un sistema típico de CATV sería el que aparece en la figura 1.12. Aunque las frecuencias usadas aquí podrían diferir, el esquema de asignación que usan las operadoras de cable es parecido

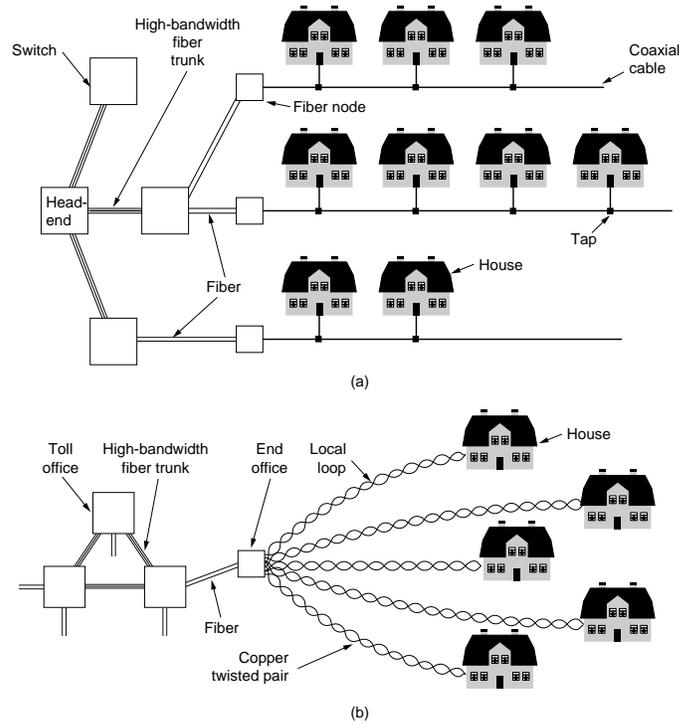


Figura 1.11: a) HFC para televisión por cable b) Telefonía fija

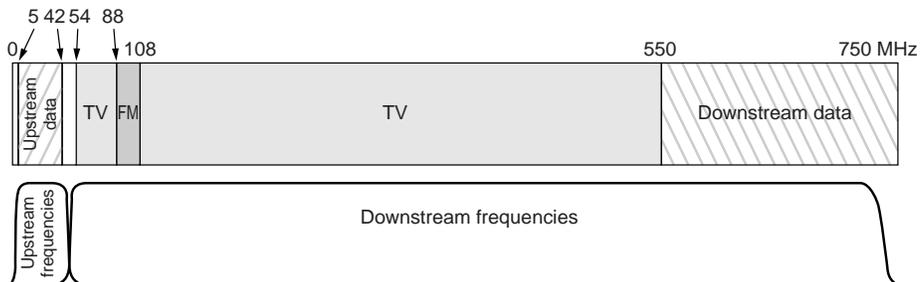


Figura 1.12: Asignación de frecuencias típicas para acceso a internet de un sistema CATV

1.3.1 Módems de cable

Como los cables coaxiales largos no son mejores para transmitir señales digitales que los bucles de abonado largos, el sistema también necesita modulación analógica. Se toma cada canal descendente de 6 u 8 MHz y se modula en QAM-64 o QAM-256 si la calidad del cable es muy buena. En los primeros años de Internet por cable cada operador tenía un módem patentado, pero pronto vieron que era mejor un estándar abierto que creara un mercado abierto que pudiese bajar los precios. Así, comenzaron a elaborarse estándares.

Existen fundamentalmente dos estándares que especifican la utilización de redes HFC para transmisión de datos, y un tercero en elaboración, aparte de diversos sistemas propietarios; todos son incompatibles entre sí, lo cual ha influido negativamente en la utilización de estas redes para la transmisión de datos. Los estándares a los que nos referimos son los siguientes:

- DOCSIS (Data-Over-Cable Service Interface Specification). Estos estándares los elabora el MCNS (Multimedia Cable Network System), consorcio formado por algunos de los más importantes operadores de redes CATV de Estados Unidos. La versión 1.0 fue publicada en marzo de 1997. En marzo de 1999 se publicó la versión 1.1. La mayoría de los equipos actualmente existentes en el Mercado corresponden a DOCSIS 1.0, y es previsible que evolucionen rápidamente a DOCSIS 1.1.
- DAVIC (Digital Audio-Visual Council). Este estándar está elaborado por el consorcio DVB (Digital Video Broadcast) y aunque su existencia es anterior a DOCSIS (las primeras versiones datan de 1995) no se ha implementado en productos comerciales hasta fechas muy recientes.
- IEEE 802.14. El IEEE estableció en mayo de 1994 un subcomité con el fin de elaborar una especificación estándar para redes CATV HFC. Lamentablemente el borrador de ese estándar, que tendría que haber aparecido un año más tarde, no estuvo listo hasta septiembre de 1998 y aún no ha sido ratificado. Existen rumores de que el estándar del IEEE coincidirá bastante con DOCSIS 1.2.

Actualmente hay una lucha entre DOCSIS y DAVIC por acaparar cuota de mercado. Aunque DOCSIS está más extendido y lleva aproximadamente un año de ventaja en la implementación de productos, no está aún claro que DAVIC tenga perdida la batalla. En general los fabricantes de Estados Unidos utilizan DOCSIS y los europeos prefieren DAVIC. La ITU-T ha adoptado como estándares tanto DOCSIS como DAVIC

Dado que DOCSIS es actualmente el estándar más extendido nosotros describiremos el funcionamiento de este tipo de redes, aunque los principios básicos de funcionamiento de

ambas son similares.

Cuando se utiliza una red CATV para transmitir datos se reserva un canal de televisión para el sentido descendente. Según se utilice la norma americana (NTSC) o europea (PAL o SECAM) el canal tendrá una anchura de 6 u 8 MHz, respectivamente. En las redes CATV HFC se utiliza para el retorno el rango de frecuencias bajas en el que los amplificadores actúan en sentido inverso. En este rango se pueden definir canales de diversas anchuras.

En una red CATV la información se transmite entre el dispositivo de cabecera, denominado CMTS (Cable Modem Termination System) y el CM o Cable Modem del usuario. Dado que el medio de comunicación es asimétrico por naturaleza los elementos que la hacen posible también lo son, y la funcionalidad de un CMTS no es la misma que la de un CM.

Debido a la forma como funcionan las redes CATV dos CMs no pueden comunicarse directamente aunque se encuentren en la misma zona, ya que por el canal ascendente solo pueden transmitir pero no recibir. Para ello necesitan hacer uso del CMTS de su zona, que actuará como intermediario entre ambos. Otra consecuencia curiosa de esto es que las redes CATV son broadcast pero solo en el sentido descendente, ya que en el ascendente el CMTS es el único destinatario posible de la información. Todas estas peculiaridades tienen sus consecuencias en el diseño del protocolo MAC, como veremos luego.

Normalmente el CM es un dispositivo externo que se conecta al PC mediante una interfaz Ethernet 10BASE-T y en ocasiones el interfaz USB. La conexión que el CM realiza con el CMTS simula el funcionamiento de un puente remoto transparente 802.1D, es decir el usuario posee una red local que se comunica a través de la red de cable con el exterior; por el canal de radiofrecuencia solo pasarán las tramas Ethernet correspondientes a destinos que no se encuentren en su red local, es decir el CM realizará un filtrado inteligente del tráfico. Respecto al caso de una comunicación normal entre dos Ethernets por puentes remotos la comunicación en una red CATV presenta dos peculiaridades:

- El medio de comunicación entre ambos puentes (el CM y el CMTS) es asimétrico.
- La información viaja cifrada (DES 56) para evitar que un usuario malintencionado pueda captar tramas no dirigidas a él. La clave de cifrado utilizada es intercambiada al inicio de la comunicación.

En principio un usuario podría conectar a través de un cable módem toda una red local con gran cantidad de ordenadores interconectados. En la práctica los operadores limitan (normalmente a uno) el número de equipos que el usuario puede conectar; para ello

simplemente se controla la dirección MAC de origen de las tramas que envía el usuario. Además la asignación de direcciones IP se realiza normalmente por DHCP, con lo que el usuario no solo se ve limitado a usar una dirección MAC sino que tiene que utilizar la dirección MAC que tiene registrada en el servidor DHCP. Para evitar esto se han popularizado los routers wifi.

2 MULTIPLEXACIÓN EN EL SISTEMA TELEFÓNICO

Cuesta prácticamente lo mismo instalar y mantener una troncal de gran ancho de banda que una troncal de ancho de banda bajo entre 2 oficinas telefónicas, dado que la mayor parte del coste se va en la excavación de zanjas e instalación de canalizaciones. Por tanto, las compañías telefónicas han desarrollado históricamente esquemas complejos para multiplexar muchas conversaciones en una sola troncal física.

2.1 La jerarquía digital plesiócrona (PDH)

Los tipos de multiplexación utilizados en el sistema telefónico son los siguientes:

- FDM: frequency division multiplexing.

Es una multiplexación en frecuencia. Consiste en asignar a cada bucle de abonado una banda de frecuencia, a cada bucle se le asigna un canal de 4 kHz de ancho de banda. Esta multiplexación es la única que se utilizaba cuando las troncales eran de cobre. Cada canal de la troncal se subdivide en canales de 4 kHz, que es el ancho de banda que necesita la voz humana. De esta forma, si la troncal tiene 12 kHz de ancho de banda, podemos tener 3 canales de 4 kHz multiplexados, como muestra la figura 2.1

- WDM: wavelength division multiplexing.

Es la multiplexación FDM cuando la troncal es de fibra óptica. Consiste en multiplexar los rayos de luz que vienen de varias fibras ópticas y meterlos en la misma fibra óptica. Obviamente, para poder hacer esto las longitudes de onda de los rayos de luz que multiplexamos deben ser distintas. Además todos los rayos deben ser de luz monocromática. En este caso el multiplexor consiste simplemente en prismas y/o espejos que junten la luz proveniente de varias fibras y la enfoque hacia una sola fibra,

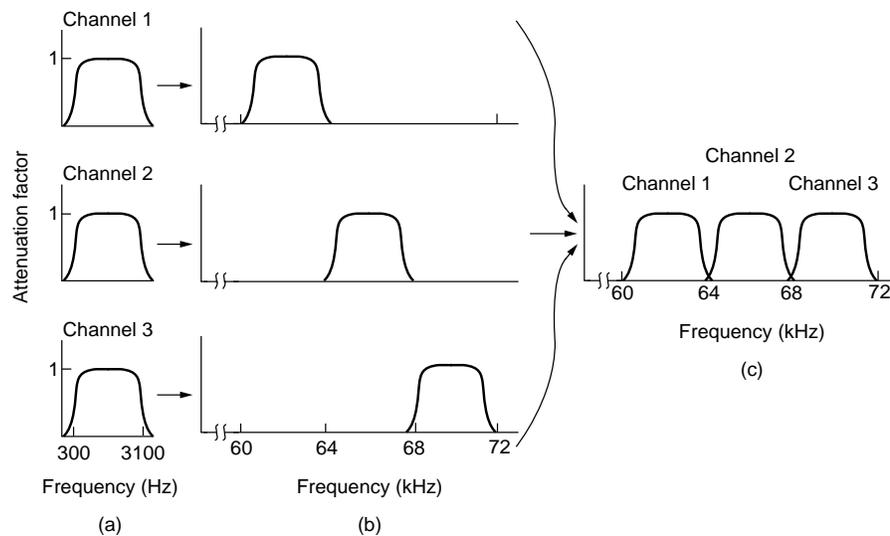


Figura 2.1: FDM a) Canales en banda base b) Traslado de frecuencias (modulación) c) Canal multiplexado

tal como muestra la figura 2.2

Esta multiplexación sólo se va a dar entre troncales urbanas y troncales de mayor rango, ya que a las centrales urbanas no llega fibra óptica de los abonados sino bucles de abonado.

- TDM: time division multiplexing.

Es la multiplexación de las señales en el tiempo. Nos permite transmitir señales digitales por las troncales telefónicas. El problema de la tecnología WDM es que es muy buena pero el bucle de abonado (e incluso algunas troncales) es/son de cobre. Y aunque FDM se puede utilizar sobre cobre, exige circuitos analógicos y no es fácil de implementar con un computador. Sin embargo, TDM puede implementarse enteramente con dispositivos digitales, y por eso es la que más se utiliza. Lo que ocurre es que como todos los circuitos locales producen señales analógicas, se necesita un dispositivo en la oficina central que convierta de analógico a digital todos los circuitos locales que llegan, para poderlos combinar en las troncales.

En la central urbana se utiliza un aparato llamado **codec** (codificador-decodificador). Este aparato es básicamente un modulador que pasa la señal de estado analógico a estado digital. Lo que hace el codec es muestrear la señal analógica que llega por el bucle de abonado y la codifica en PCM de 8 bits. Cada canal analógico (bucle de abonado) tiene 4 kHz de ancho de banda, y por tanto la señal de mayor frecuencia

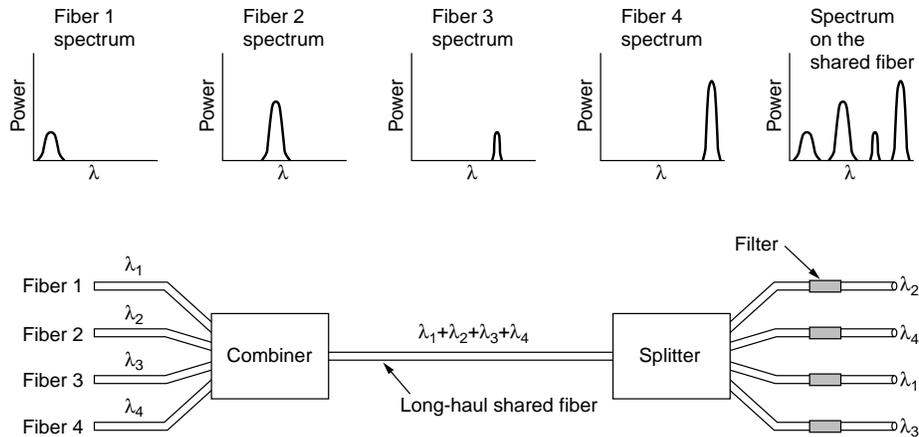


Figura 2.2: *Multiplexación en la longitud de onda.*

que podrá llegar por el bucle de abonado será de 4 kHz. Para codificar este canal, por tanto, la frecuencia de muestreo debe ser 8 kHz como mínimo, con lo cual se realizan 8000 muestras por segundo.

Como utiliza código PCM de 8 bits, significa que una señal telefónica digital tiene como mínimo

$$8000 \text{muestras/s} * 8 \text{bits/muestra} = 64 \text{kbps}$$

Por eso las líneas telefónicas digitales tienen como mínimo 64 kbps. Lo que hace el codec es codificar en PCM el bucle de abonado. De esta forma, con el sistema telefónico convencional (red telefónica conmutada) se llega a tener un esquema de transmisión de datos como el de la figura 2.3

En este esquema vemos cómo para transmitir datos entre dos computadores se necesitan 2 conversiones analógico-digitales y 2 conversiones digital-analógico. Ello se debe a que en la red telefónica convencional el bucle de abonado es analógico. Si fuera digital no se necesitaría ningún tipo de conversión, toda la información que atravesaría el sistema sería digital.

Así pues, las troncales digitales siempre han tenido una capacidad mínima de 64 kbps debido a que se usa el codec para convertir la información analógica en digital. Lo que ocurre es que las troncales urbanas se multiplexan a su vez en troncales interurbanas, y así sucesivamente. El sistema telefónico tiene un sistema de multiplexación progresiva

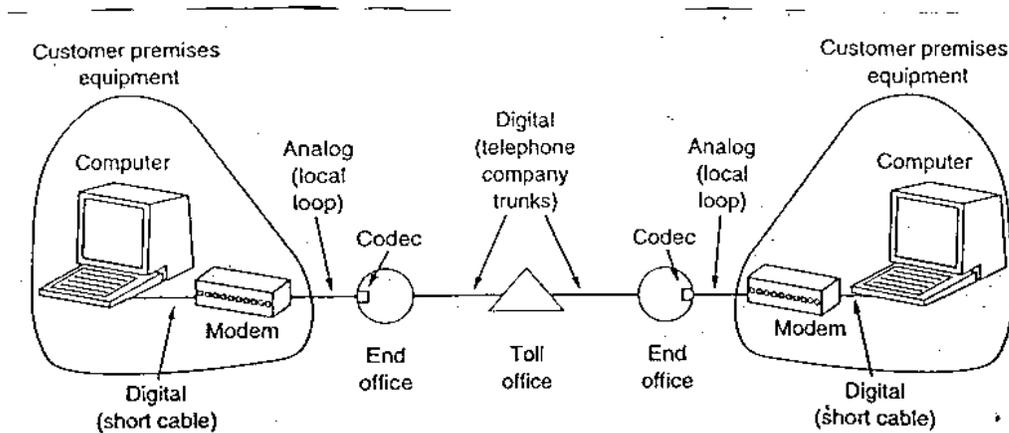


Figura 2.3: *Transmision de datos por la red telefónica conmutada.*

de troncales digitales. Existen diversos tipos de troncales, puesto que cuando comenzó a utilizarse TDM como una técnica factible la ITU (entonces CCITT) no llegó a un acuerdo respecto al estándar internacional para la PCM:

- T1: troncal que se utiliza en Japon y EEUU. Consiste en multiplexar 24 canales PCM byte a byte y añadirle un bit de secuencia, obteniendo 193 bits cada 125 μ segundos, tal como muestra la figura 2.4
En una línea T1 cada 125 μ s (1/8000 Hz) estamos sacando 192 bits (24x8 bits) con lo que tenemos de 1.544 Mbps, es decir, una troncal T1 tiene 1.544 Mbps de velocidad de transmisión de datos.
- E1: troncal que se utiliza en el resto del mundo excepto EEUU y Japón. Multiplexa 32 canales PCM, es decir, $32 \times 64 = 2.048$ Mbps. 30 de los canales se usan para información y 2 para señalización de control. Por tanto, cada grupo de 4 tramas proporciona 64 bytes de señalización, la mitad de los cuales se usa para señales de control del canal y el resto para sincronización de tramas.

No obstante, este no es el último nivel de multiplexación. Varias líneas E1 o T1 pueden a su vez multiplexarse, obteniendo líneas de velocidad superior, tal como muestra la figura 2.5. El problema es que en cada parte del mundo las compañías siguen un patrón de multiplexación distinto, y en una llamada internacional se necesitan circuitos que cambien el tipo de multiplexación. Además, cualquier portadora de mayor nivel que la T1 multiplexca bit a bit los distintos flujos entrantes.

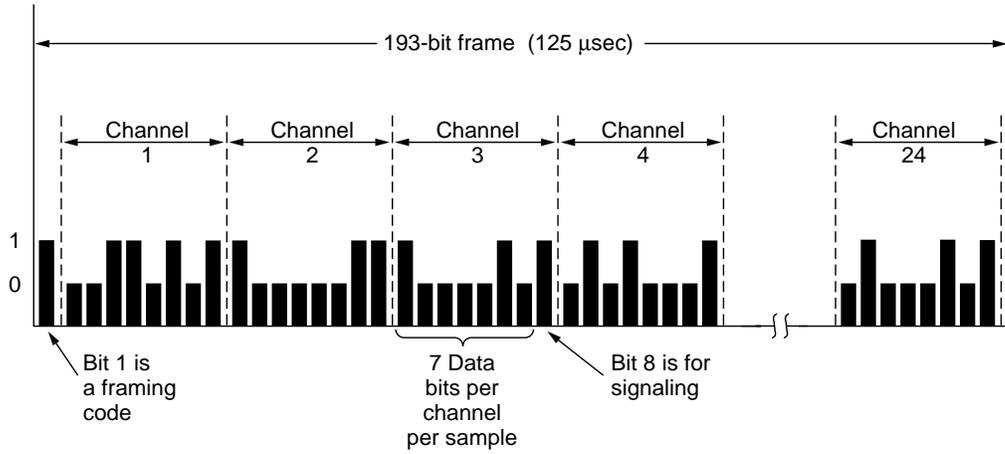


Figura 2.4: Portadora T1

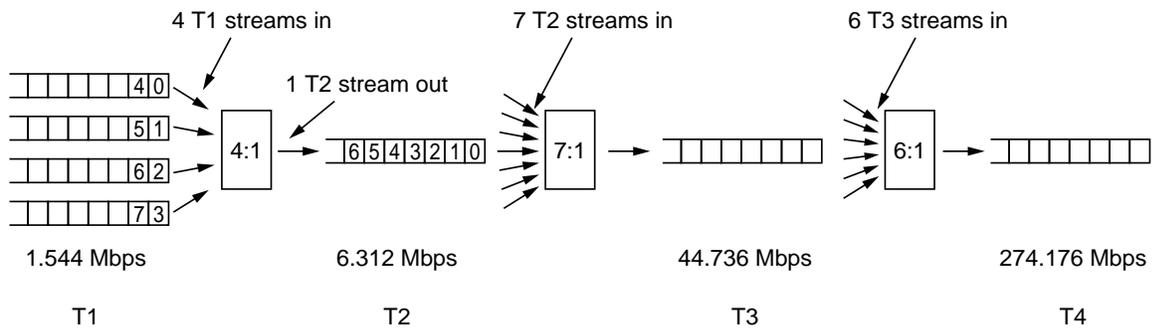


Figura 2.5: Niveles de multiplexación en las troncales digitales.

El esquema de EEUU de multiplexar en pasos de 4, 7 y 6 tampoco pareció muy lógico al resto del mundo, así que el antiguo CCITT prescribe multiplexar cada 4 flujos en uno del siguiente nivel. Por ello, la jerarquía del CCITT para 32, 128, 512, 2048 y 8192 canales PCM funciona a 2,048 Mbps, 8,848 Mbps, 34,304 Mbps, 139,264 Mbps y 565,148 Mbps.

2.2 SONET/SDH

La consolidación de distintos estándares para las troncales telefónicas ya había ocurrido con las troncales de pares (T1 para EE.UU. y Japón, E1 para Europa) cuando surgió la tecnología óptica como alternativa eficiente al cable de pares. En ese momento, cada compañía de teléfonos local se tenía que conectar a diferentes portadoras de larga distancia, con diferentes sistemas de TDM. Por ello se diseñó el estándar SONET/SDH (SONET, *Synchronous Optical Network*)/ SDH, *Synchronous Digital Hierarchy*). El término SONET se usa en EE.UU y SDH se usa en casi todo el resto del mundo. SONET/SDH es una red portadora (*portadora* quiere decir que para el usuario final es como si no existiera. Es un estándar que debían aplicar las compañías telefónicas en sus troncales) basada en tecnología óptica que utiliza **transmisión síncrona** entre los componentes de la red. El doble nombre de este estándar se debe a que originariamente la compañía *Bellcore* desarrolló el estándar SONET, y posteriormente la ITU-T prácticamente adoptó este estándar, denominándolo SDH. el estándar SONET se encuadra en la capa física del modelo ISO.

Los principales objetivos de la ITU-T al establecer el estándar SONET fueron los siguientes:

1. Posibilitar la interconexión de diferentes operadores telefónicos.
2. Unificación de los sistemas digitales Estadounidense, Japonés y Europeo, todos los cuales se basaban en canales PCM de 64 kbps, pero combinados en formas diferentes e incompatibles.
3. Establecimiento de un mecanismo para multiplexar varios canales digitales. En el momento en el que se definió SONET el mayor estándar usado era la T3, a 44.736 Mbps. El objetivo de SONET era continuar la jerarquía de multiplexación a Gbps.
4. Obtención de un sistema con capacidad para operaciones de administración y mantenimiento (OAM) de forma simultánea a la transmisión de la carga útil, ya que los sistemas anteriores no conseguían este objetivo. Las operaciones de administración y mantenimiento debían hacerse cuando el sistema no estaba transmitiendo.

Se decidió que SONET sería un sistema TDM tradicional, con todo el ancho de banda de la fibra óptica dedicado a un canal con ranuras de tiempo para los distintos subcanales. Como tal sistema, SONET es **síncrono**. Frente a este sistema, cuando se propuso posteriormente un estándar de conmutación de células como base para la Red Digital de Servicios Integrados (RDSI) el hecho de que la RDSI permitiera la llegada irregular de células hizo que se denominara ATM (Asynchronous Transfer Mode), en contraste con la SONET.

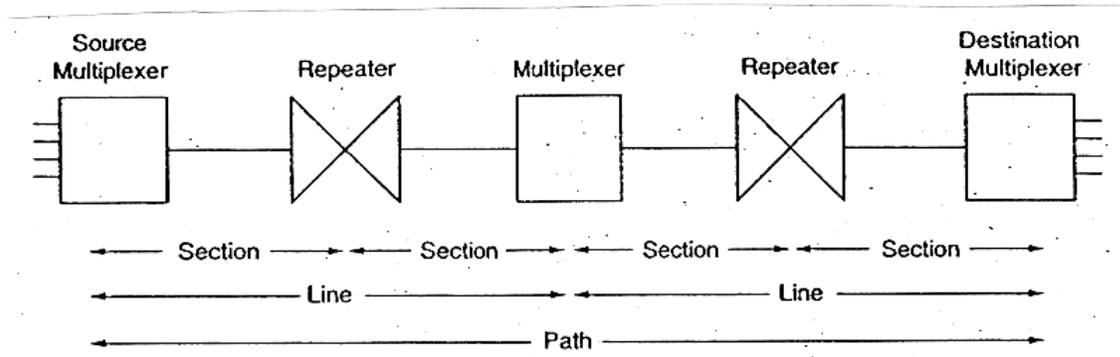


Figura 2.6: Configuración de SONET/SDH

Un sistema SONET consiste en terminales, conmutadores o multiplexores y repetidores, interconectados todos ellos por fibra óptica, tal como aparece en la figura 2.6. En la terminología SONET, el segmento de fibra óptica que va directamente desde un dispositivo a otro se denomina **sección**. Una conexión entre dos multiplexores (con o sin repetidores entre ellos) se denomina **línea**. Finalmente, la conexión entre la fuente y el destino se denomina **trayecto** o **trayectoria**. Dicha fuente o destino de los datos suele ser un multiplexor, y se denomina también (ver [1], cap. 8) **equipo terminador de trayecto**. Este equipo se encarga de transformar la carga útil del usuario (FDDI, Ethernet, etc) al formato SONET estandarizado.

La topología típica de un sistema SONET puede ser una malla, aunque lo habitual es que sea un anillo dual, como la FDDI (que se estudiará en temas posteriores). La figura 2.7 muestra un ejemplo de esta topología en el que se aprecian dos anillos duales de multiplexores, junto con equipos terminadores de trayecto conectados a distintos sistemas (red Ethernet, red token ring, red FDDI, red ATM, etc.).

La trama básica del sistema SONET es un bloque de 810 bytes que se emite cada 125 $\mu\text{seg.}$. La velocidad de transmisión de 8000 tramas/seg. coincide perfectamente con las

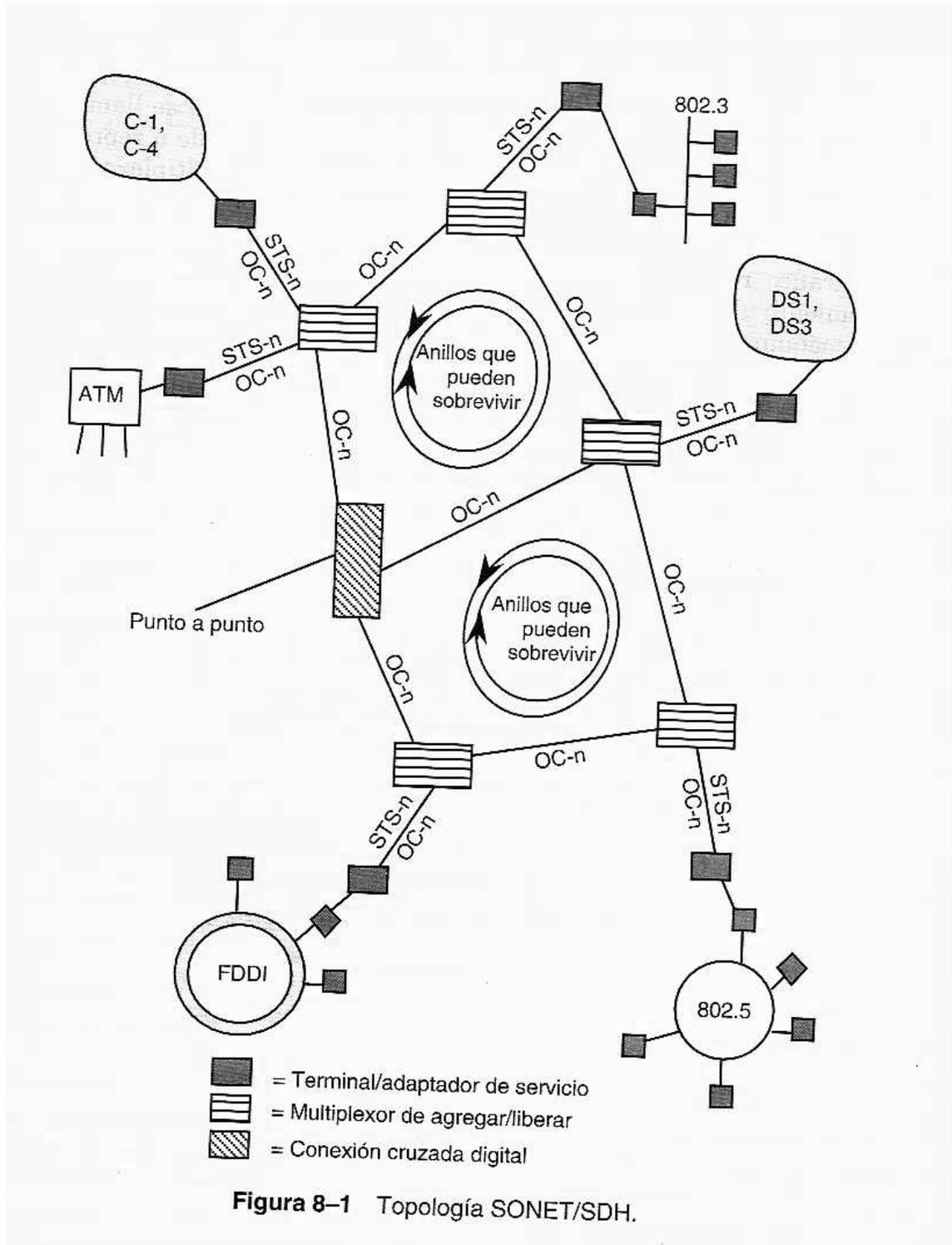


Figura 2.7: Ejemplo de topología SONET/SDH

frecuencia de muestreo de los canales PCM que se usan en los sistemas de telefonía digital. De este modo, se transmiten 8×810 bytes = 6480 bytes 8000 veces por segundo, resultando en una velocidad de transmisión de 51,84 Mbps. este es el canal básico de SONET, llamado STS-1 (*Synchronous Transport Signal-1*). Todas las troncales de SONET son múltiplos de STS-1. Sin embargo, la SDH comienza en el STS-3. La figura 2.8 muestra 2 tramas SONET consecutivas.

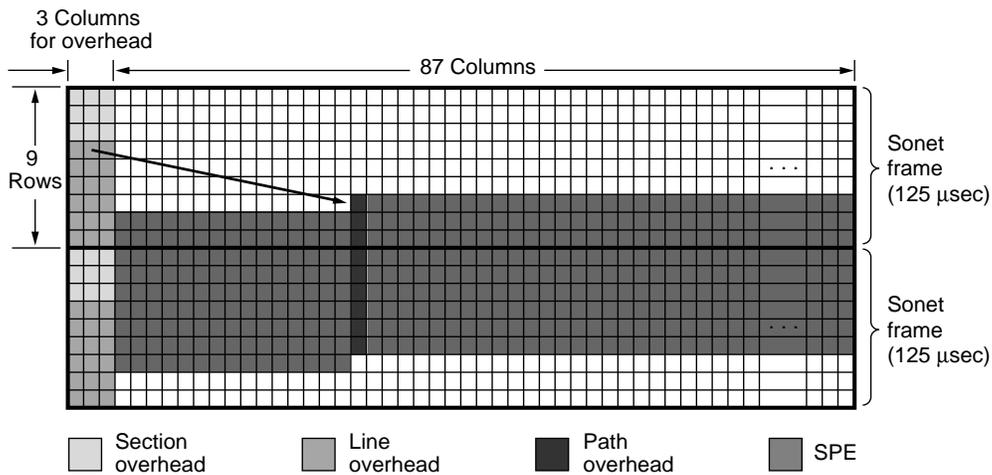


Figura 2.8: *Tramas SONET/SDH consecutivas*

Tal como muestra la figura 2.8, una trama SONET se puede representar en dos dimensiones como un bloque de bytes de 9 filas por 90 columnas. No obstante, no hay que olvidar que la fibra óptica es un sistema de transmisión serie. Cada los bits de cada octeto se transmiten secuencialmente, y los bytes se transmiten también en orden secuencial. El primer byte del bloque en ser transmitido es el de la esquina superior izquierda, y se van transmitiendo de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, hasta el byte de la última columna de la última fila. Es muy importante destacar que los paquetes se transmiten de forma continua y sin interrupción, como muestra la figura, ya que la transmisión es síncrona.

Las primeras tres columnas de cada trama se reservan para información de administración y mantenimiento del sistema, tal como muestra la figura 2.8. Las tres primeras filas de estas 3 columnas (es decir, 9 bytes) contienen información referente a la sección, y las siguientes 6 contienen información de la línea. La información para la sección se genera y verifica al comienzo y final de cada sección, mientras que la de línea se genera y verifica al comienzo y final de cada línea, respectivamente. Por tanto, la velocidad de transmisión de la carga útil de una trama SONET $87 \times 9 \times 8 \times 8000 = 50,112$ Mbps.

Sin embargo, SONET/SDH permite que la carga útil que se transporta pueda ubicarse en cualquier lugar de la trama, mediante el uso de *apuntadores*. Incluso permite (como en la figura 2.8) que la carga útil se extienda a más de una trama. La primera fila de información de línea contiene un apuntador (puesto como un desplazamiento desde el la fila 1, columna 4) al byte donde comienza la carga útil. Durante la transmisión por la red, si ocurre cualquier variación en la temporización, basta con aumentar o decrementar el apuntador para compensar dicha variación. La primera columna de la carga útil (denominada también SPE, de *Synchronous Payload Envelope*) contiene información de administración y mantenimiento a nivel de trayectoria. La facultad de que la carga útil se pueda ubicar en cualquier lugar de una trama es lo que permite que aunque el sistema SONET sea síncrono se pueda utilizar como base tecnológica para la transmisión de células ATM.

La información extra de sección, línea y trayecto se utiliza para operaciones de administración y mantenimiento. Dado que cada byte se transmite 8000 veces por segundo, un byte de información extra representa un ancho de banda de un canal digital PCM. De hecho, tres bytes de esta información extra se usan como tres canales PCM de voz para el personal de mantenimiento del sistema.

SONET		SDH	Data rate (Mbps)		
Electrical	Optical	Optical	Gross	SPE	User
STS-1	OC-1		51.84	50.112	49.536
STS-3	OC-3	STM-1	155.52	150.336	148.608
STS-9	OC-9	STM-3	466.56	451.008	445.824
STS-12	OC-12	STM-4	622.08	601.344	594.432
STS-18	OC-18	STM-6	933.12	902.016	891.648
STS-24	OC-24	STM-8	1244.16	1202.688	1188.864
STS-36	OC-36	STM-12	1866.24	1804.032	1783.296
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32	2405.376	2377.728
STS-192	OC-192	STM-64	9953.28	9621.504	9510.912

Figura 2.9: Jerarquía de multiplexación SONET

Un aspecto de vital importancia para el sistema SONET es la **multiplexación**. De hecho, el propio nombre SDH denota que este sistema dispone de una jerarquía de multiplexores que son capaces de pasar de canales básicos STS-1 a canales de un ancho de banda de Gbps. La figura 2.9 muestra la jerarquía de multiplexación que se usa en el sistema SONET. Cada multiplexor recoge la información de los N canales de entrada, llamados **tributarios** y proporciona un canal de salida con una velocidad de transmisión N veces superior. En este sistema de multiplexado, varias señales de ancho de banda inferior, como pueden ser líneas T1, E1, etc, se multiplexan (y ocasionalmente se rellenan para

redondear a 51.84 Mbps) formando la corriente de salida **STS-1**. Tres señales tributarias STS-1 se multiplexan formando un flujo de salida de 155.52 Mbps. A su vez, 4 señales STS-3 se multiplexan, formando una señal STS-12. En este punto se aplica sobre la señal alguna de las técnicas de inserción de bits estudiadas en el tema 2. De esta forma, se evitan series muy largas de ceros o unos, evitando con ello la posible desincronización de los relojes a nivel de bit. También se convierte la señal de eléctrica a óptica (*OC Optical Carrier, portadora óptica*). Alternativamente, cualquier STS podría haberse convertido en señal óptica antes de ser multiplexada en una OC-12. De cualquier forma, se necesita que en un multiplexor todas las señales tributarias compartan el mismo medio físico, ya sea fibra óptica o línea de transmisión.

Cuando una portadora OC-3 no es multiplexada, sino que se forma de una sola fuente de datos, entonces se agrega al nombre la letra *c*, de concatenado. Así, OC-3c denota una portadora de 155.52 Mbps con datos de una sola fuente, mientras que una OC-3 es una portadora con tres fuentes multiplexadas. La cantidad de datos reales en una OC-3c es un poco mayor que en una OC-3, ya que la columna de información extra de la trayectoria sólo aparece una vez en el SPE, mientras que aparece tres en el caso de la OC-3.

Más tarde, la tecnología ATM se diseñó para funcionar sobre troncales OC-3c de SONET. Por eso funciona a 155 Mbps. Curiosamente, alguien redondeó mal, ya que 155.52 debía redondearse a 156 Mbps.

2.3 Conmutación en el sistema telefónico

El sistema telefónico puede verse como un sistema con dos partes: planta externa (todo lo que está físicamente fuera de los edificios de la compañía: bucles de abonado y troncales) y planta interna (los conmutadores). Básicamente una central telefónica se compone de conmutadores (en la actualidad estos conmutadores están controlados por microprocesadores o microcontroladores). La figura 2.10 muestra un esquema de la conexión de dos teléfonos. El sistema telefónico utiliza dos técnicas de conmutación diferentes. Dado que el sistema telefónico es mucho más antiguo que la ciencia de la informática, cuando surgieron la teleinformática, los multiprocesadores y los multicomputadores, las redes de interconexión de todos estos sistemas utilizaron alguna de las técnicas usadas en el sistema telefónico. Estas técnicas pueden resumirse en conmutación de circuitos y de paquetes.

Cuando una persona (o un computador mediante un módem) hace una llamada por la red telefónica convencional (llamada también *Red Telefónica Conmutada* o RTC) el sistema telefónico busca un camino físico (que puede incluir troncales de fibra y/o canales de radio y vía satélite) desde el teléfono origen al teléfono de destino. Este camino físico o circuito debe

establecerse **antes** de que cualquier dato o señal de voz pueda ser transmitido también debe enviarse un reconocimiento de vuelta desde el teléfono de destino). Sin embargo, una vez el circuito esta establecido la información puede ser transmitida con el único retardo de la propagación de la propia señal. A esta técnica de conmutación se le denomina **conmutación de circuitos**.

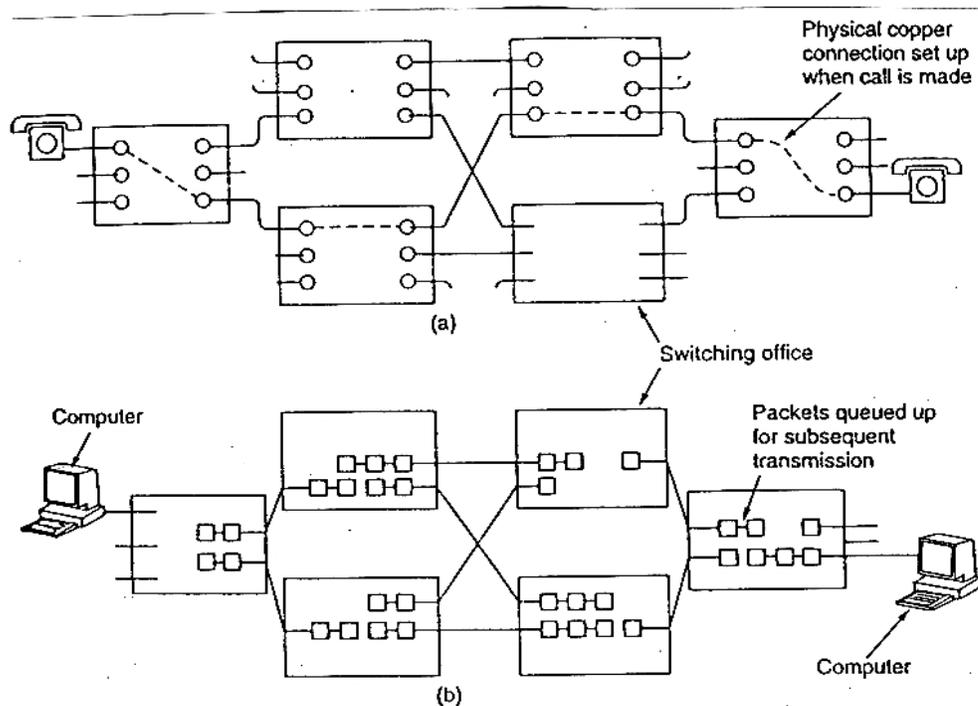


Figura 2.10: Transmisión de la información por las centrales de conmutación

Una alternativa a la conmutación de circuitos es la **conmutación de mensajes**: cuando el emisor tiene un bloque de datos listo para ser enviado, este es enviado y almacenado sucesivamente en cada central de conmutación de la ruta que que debe seguir hasta el destino. Esta técnica de conmutación también es conocida como **Store and Forward**. El mayor problema de esta técnica es que no existe límite en el tamaño del mensaje. Ello obliga a que los encaminadores o routers en cada central de conmutación deberían tener buffers de tamaño ilimitado. Además, un sólo mensaje muy largo podría bloquear el uso de un router durante minutos. Debido a este problema se diseñó la técnica de **conmutación de paquetes**, que consiste básicamente en la conmutación de mensajes pero limitando el tamaño del mensaje. Un mensaje puede ocupar varios paquetes. Sin embargo, cada paquete

es enviado por separado. Incluso pueden seguir rutas distintas. Sin embargo, en cada central de conmutación es seguro que todo paquete puede ser almacenado en memoria en lugar de en disco, ya que tiene el tamaño limitado. Además esta técnica asegura que ningún paquete podrá colapsar el encaminador más de un tiempo limitado. Por otro lado, para enviar el segundo paquete de un mensaje multipaquete no es necesario esperar el reconcimiento de que ha llegado el primero. Pueden ser enviados uno detrás de otro. La figura 2.10 ilustra cómo se transmite la información entre las diversas centrales de conmutación con esta técnicas de conmutación.

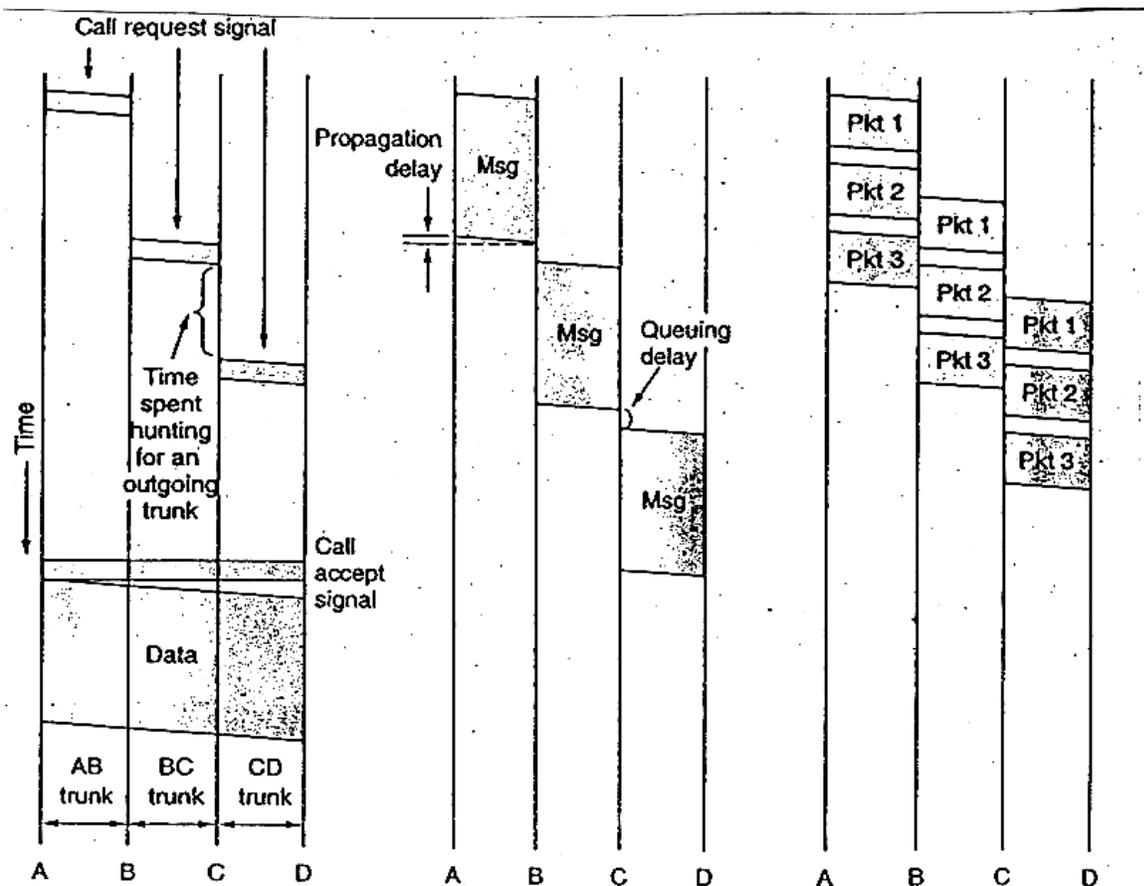


Figura 2.11: Conmutación de circuitos y conmutación de paquetes

La figura 2.11 muestra las principales diferencias entre la conmutación de circuitos

y la conmutación de paquetes. La conmutación de circuitos reserva el ancho de banda del circuito (de los canales) con antelación, mientras que la conmutación de paquetes reserva el ancho de banda de los canales justo para transmitir los paquetes cuando van a ser transmitidos. De esta forma no se desperdicia ancho de banda de los canales, ni se bloquea a otros posibles mensajes cuando no se transmite nada. Sin embargo, la conmutación de paquetes necesita de algún mecanismo que reordene los paquetes en el destino, ya que pueden seguir cada uno caminos distintos y llegar desordenados. Por último, la mayor diferencia entre los dos tipos de conmutación es el coste. En sistemas que utilizan conmutación de circuitos las compañías telefónicas cobran por distancia y tiempo de utilización del circuito. En sistemas que utilizan conmutación de paquetes las compañías cobran por el número de paquetes transmitidos y por tiempo de conexión.

3 REDES ATM

3.1 B-ISDN.Tecnología ATM

Cuando la ITU-T (CCITT) se dió cuenta de que la N-ISDN se había quedado obsoleta, decidió elaborar un nuevo estándar, llamado **RDSI de banda ancha** o , en inglés, *B-ISDN*, *Broadband ISDN* y esta vez se basó en una tecnología ya existente. B-ISDN se diseñó como una nueva y única red para el futuro (lo que se llamó popularmente “Autopistas de la información”) que debía reemplazar al sistema telefónico actual. Debía soportar todo tipo de transferencia de información:

- Vídeo (televisión) a domicilio.
- Videoconferencia.
- Correo electrónico multimedia con movimiento.
- Música con calidad de CD.
- Interconexión de redes de área local.

Todo ello por la línea telefónica. En aquel momento se pensaba que los bucles de abonado convencionales de cable bifilar serían sustituidos por cables de pares trenzados de alta calidad o por fibra óptica. Sin embargo, esto no ha sido así debido al elevado coste del cambio de la instalación, y por ello este estándar tampoco está teniendo demasiado éxito fuera de las compañías telefónicas o del entorno de las redes locales con gran ancho de banda.

La tecnología sobre la que se basa B-ISDN se llama **ATM**, de *Asynchronous Transfer Mode*, para diferenciarla de la tecnología SONET, que como ya sabemos es un sistema síncrono.

La idea básica de la tecnología ATM es transmitir toda la información en pequeños paquetes de tamaño fijo llamados **células** o **celdas**. Todas las células tienen un tamaño fijo de 53 bytes, de los cuales 5 bytes son de cabecera (información de control y encaminamiento) y 48 bytes son de carga útil (datos). El hecho de utilizar conmutación de células (al fin y al cabo es conmutación de paquetes) supone un salto cualitativo muy grande para el sistema telefónico, ya que este ha utilizado tradicionalmente la conmutación de circuitos. Las razones por las que se eligió la conmutación de paquetes en ATM fueron las siguientes:

Flexibilidad: La conmutación de paquetes permite manejar velocidades constantes de transmisión de datos (señales de vídeo y audio) y velocidades variables (LAN) simultáneamente.

Velocidad: A las velocidades a las que se pretende llegar (Gbps) es más fácil la conmutación digital de células.

Multidifusión: Para la distribución de TV es esencial la multidifusión (broadcasting, un emisor emitiendo para varios receptores). La conmutación de paquetes puede hacerlo, pero la de circuitos no.

Las tecnología ATM está orientada a conexión, es decir, hacer una llamada implica enviar un mensaje para establecer la conexión y luego enviar todas las células con la misma información de encaminamiento. Sin embargo, ATM no garantiza la entrega de las células, aunque sí el orden (servicio de Datagrama). Las redes ATM se organizan como redes WAN, es decir con líneas telefónicas de alto ancho de banda y encaminadores intermedios (llamados routers) que son capaces de manejar distinto tipo de tráfico. Las velocidades básicas de ATM son las siguientes:

- 155,52 Mbps.
- 622 Mbps (4 canales de 155,52 Mbps multiplexados).

Se eligió la velocidad de 156 Mbps porque por un lado es la que se necesita para transmitir televisión de alta definición, y por otro lado esta velocidad coincide con uno de los niveles de multiplexación SONET, y esto hacía fácil implementar ATM con la infraestructura SONET de las compañías telefónicas.

Una aplicación importantísima de la tecnología ATM es su uso para interconexión de redes de área local. Incluso en algunas instalaciones que necesitan un gran ancho de banda la propia red de área local está formada por fibra óptica, tarjetas y encaminadores ATM.

3.2 Modelo de referencia ATM

La tecnología ATM la definió un grupo de trabajo compuesto por políticos y empresas ATM Fórum (<http://www.atmforum.com> En esta dirección de web se puede encontrar todos los detalles sobre ATM). Para ATM se definió un modelo de referencia análogo al modelo OSI, aunque diferente, consistente en tres capas (Figura3.1):

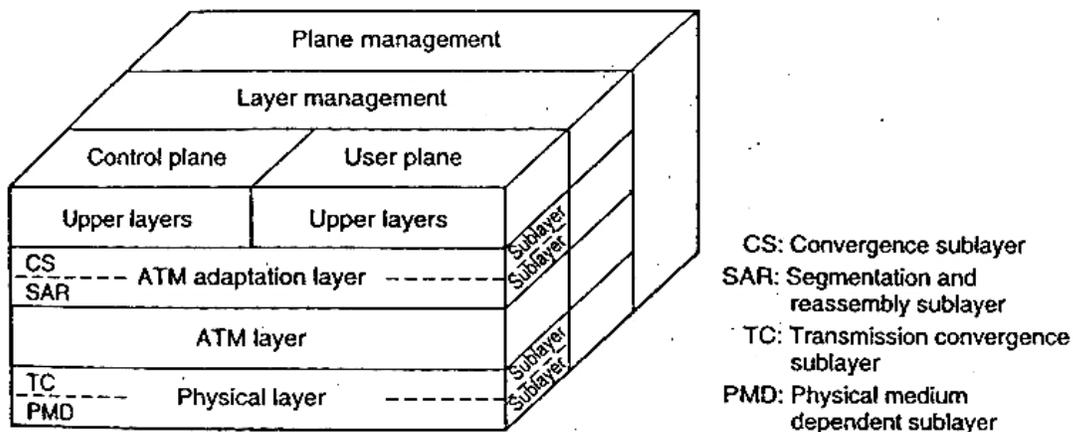


Figura 3.1: Modelo de referencia ATM

1. Capa física

Define las especificaciones del nivel físico como voltajes, temporización, etc. Define únicamente dos medios de transmisión, par trenzado y fibra óptica, y dice que las células pueden ser empaquetadas como carga útil de otros sistemas (SONET). Por ello, ATM es independiente del medio de transmisión.

2. Capa ATM

Trata de las células y su transporte. Concretamente:

- Define el tamaño de la célula y sus campos.
- Define el establecimiento y liberación de la ruta.
- Define el control de la congestión.

3. Capa AAL (ATM Adaptation Layer)

Dado que en muchas aplicaciones es mejor trabajar con paquetes más grandes de 53 bytes, se definió esta capa para permitir a los usuarios enviar paquetes mayores. Esta capa se encarga de la segmentación y re-ensamblado de las células.

Adicionalmente, las capas 1 y 3 se subdividen en dos subcapas. Una subcapa se encarga del trabajo propio de la capa, y la otra subcapa hace de interfaz con otra capa. La Figura 3.2 muestra las funciones propias de cada una de las capas y subcapas ATM.

OSI layer	ATM layer	ATM sublayer	Functionality
3/4	AAL	CS	Providing the standard interface (convergence)
		SAR	Segmentation and reassembly
2/3	ATM		Flow control Cell header generation/extraction Virtual circuit/path management Cell multiplexing/demultiplexing
2	Physical	TC	Cell rate decoupling Header checksum generation and verification Cell generation Packing/unpacking cells from the enclosing envelope Frame generation
1		PMD	Bit timing Physical network access

Figura 3.2: Subcapas ATM

Las subcapas de la capa física son las siguientes:

PMD (Physical Medium Dependent) Subcapa de interfaz con el medio físico y maneja su temporización. Esta capa variará según el medio físico utilizado.

TC (Transmission Convergence) Esta es la subcapa encargada de segmentar las células en bits y pasarlas a la subcapa PMD en el extremo emisor y de hacer el trabajo inverso en el extremo receptor. Equivale al nivel 2 del modelo ISO.

Las subcapas de la capa AAL son las siguientes:

SAR (Segmentation and Reassembly) La subcapa encargada de segmentar la información de la aplicación en células ATM.

CS (Convergence Sublayer) Esta es la subcapa que permite ofrecer distintos servicios (vídeo, Ficheros, etc) dependiendo de la aplicación de que se trate..

3.3 Transmisión de la información en el modelo ATM

Aunque la tecnología ATM utiliza en realidad la conmutación de paquetes como técnica de conmutación, ATM define el concepto de **circuito virtual**, que es un compromiso entre la conmutación de paquetes y la aplicación de un mismo encaminamiento para todos los paquetes de un mensaje. Un circuito virtual (recordemos que ATM está orientado a conexión, y por tanto algún tipo de circuito debe establecerse) consiste en que una vez un encaminador o router encamina la primera célula por un canal de salida, en sus tablas de encaminamiento el router asignará ese canal a ese circuito virtual, con lo que todas las células asociadas a ese circuito virtual serán encaminadas por el mismo canal. Adicionalmente, el router también reservará recursos para ese circuito (memoria, disco, etc.) La Figura 3.3 muestra un camino virtual en una red ATM. Es virtual porque el canal físico está libre mientras no se transmiten células. Sólo se reservan recursos del router, dejando los canales libres. Sin embargo, es un circuito en el sentido de que todas las células del mensaje circularán por la misma ruta.

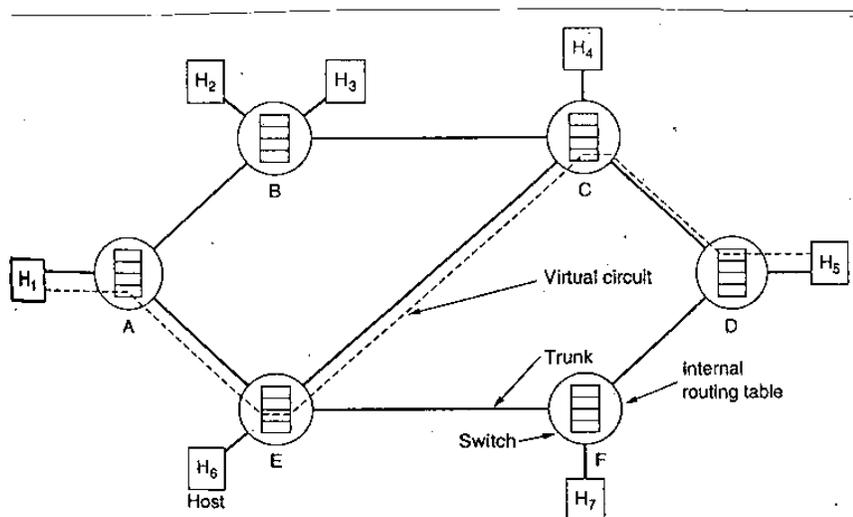


Figura 3.3: Circuito virtual

ATM define dos tipos de conexiones: circuitos virtuales permanentes (como líneas punto a punto, hay que alquilarlaas a la compañía telefónica) y circuitos virtuales conmutados. Estos son como las llamadas en la red telefónica conmutada. Por otro lado, cada enlace ATM es un enlace punto a punto y unidireccional.

Información más detallada sobre ATM puede encontrarse tanto en la bibliografía como en la página web del ATM Fórum (<http://www.atmforum.com>).

4 EJERCICIOS

1. Calcular el tiempo que tardará un router para poner un fichero de 2 kBytes en una troncal telefónica de fibra SONET. Hallar el número de tramas SONET **completas** necesarias:
 - (a) Suponiendo que el primer byte del fichero coincide con el primer byte de carga útil de la primera trama SONET.
 - (b) Suponiendo que el primer byte del fichero coincide con el byte de carga útil número 425 de la primera trama SONET.
2. Calcular el tiempo que tardará un router para poner un fichero de 2 kBytes por una troncal telefónica de fibra si utiliza una salida ATM y la troncal sobre la que se envía es SONET. Hallar el número de tramas SONET **completas** necesarias, suponiendo que el primer byte de la primera célula ATM coincide con el primer byte de carga útil de la primera trama SONET.
3. Hallar cuál de las dos es la técnica de conmutación más eficaz para transmitir un fichero de 3.000.000 bytes de una estación A a una estación B con una velocidad de transmisión de 65 kbps por un canal de longitud de 10 km. y con una velocidad de propagación de 220.000 km/seg:
 - (a) Conmutación de circuitos con un tiempo de establecimiento de la línea equivalente a la transmisión de 10.000 bytes.
 - (b) Conmutación de paquetes, con paquetes de 2.048 bits de datos, 64 bits de cabecera y con paquetes de reconocimiento 128 bits.
4. Se desea transferir un fichero de 106 bytes de una estación de red a otra. ¿Cual será el tiempo consumido en cada uno de los casos?
 - (a) Red de Area Local (RAL) con topología de estrella, conmutación de circuitos (tiempo de establecimiento de llamada despreciable) y velocidad de transmisión del medio = 64 kbps.

- (b) RAL de topología en bus con dos estaciones separadas una distancia D , velocidad de transmisión del medio B bps y tamaño de paquete P , con 88 bits de cabecera. Cada paquete se confirma con un paquete de 88 bits antes del siguiente envío. La velocidad de propagación en el bus es de $2 * 10^8$ m/seg.
- i. $D = 1$ km, $B = 1$ Mbps, $P = 256$ bits
 - ii. $D = 1$ km, $B = 10$ Mbps, $P = 256$ bits
 - iii. $D = 10$ km, $B = 1$ Mbps, $P = 256$ bits
 - iv. $D = 1$ km, $B = 50$ Mbps, $P = 10.000$ bits
- (c) Topología en anillo con longitud circular de $2D$, distancia D entre las 2 estaciones. La confirmación se realiza permitiendo a la estación destino dejar pasar el mensaje a la estación origen. Existen N repetidores en el anillo, cada uno de los cuales introduce un bit de retardo. Repetir apartados 1 a 4 del caso b para este caso.

Bibliografía

- [1] Uyles Black, *“Tecnologías emergentes para Redes de computadoras”*, Ed. Prentice Hall, 1^a ed., 1999.
- [2] A.C. Castro Lechtaler, R. J. Fusario,, *“Teleinformática para Ingenieros en Sistemas de Información”*, Ed. Reverté, 2a. ed, 1999.
- [3] M. Ford, H. Kim Lew, S. Spanier, T. Stevenson, *“Tecnologías de Interconectividad de Redes”*, Ed. Prentice-Hall, 1998.
- [4] William Stallings, *“Data ans Computer Communications”*, Ed. Prentice Hall, 8^a ed., 2007.
- [5] Andrew S. Tanenbaum, *“Redes de computadores”*, Ed. Prentice Hall, 4^a ed., 2003.