

Capítulo 7

La Capa Física

Medios de transmisión, redes telefónicas y redes de cable

Application
Transport
Network
Link
Physical

Medios de transmisión

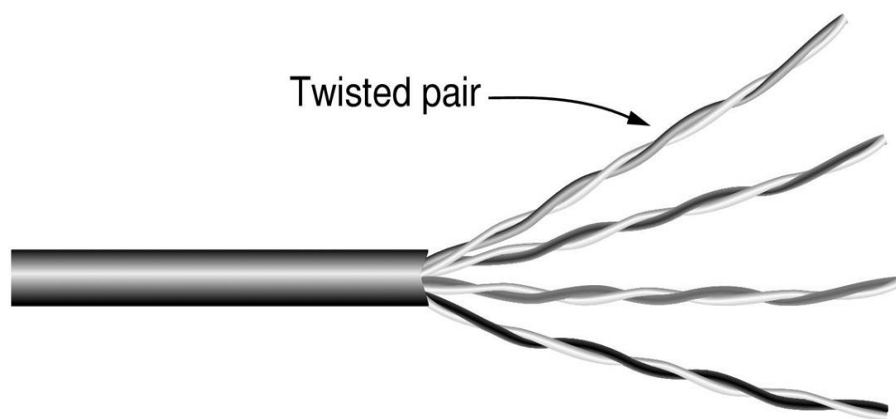
- Los **medios físicos** se clasifican en:
 - **medios guiados** - cable de cobre, fibra óptica.
 - **medios no guiados** – radio, microondas
 - **Medios magnéticos** - DVDs, Blu-ray, cintas magnéticas
- Hay **2 tipos** de **cable de cobre**: cables de par trenzado de cobre y cable coaxial.
 - Estudiamos cada tipo.

Cable de par trenzado de cobre

- **Cable de par trenzado de cobre.**
 - 2 alambres de cobre de aprox. 1 mm de grueso se trenzan.
 - Logran alcanzar algunos km sin amplificación, para distancias mayores, usar **repetidores**.
 - Pueden usarse para transmitir señales digitales o señales analógicas.
- **Evaluación:**
 - El ancho de banda depende en el ancho del cable y en la distancia recorrida.
 - Varios Mbps pueden ser alcanzados por unos pocos km.
 - Debido a su comportamiento adecuado y bajo costo, los cables de par trenzado son **ampliamente usados**.

Cable de par trenzado de cobre

Tipo	Ancho de banda	Velocidad de copiado	otros
Categoría 3	100 KHz para 2000 m. 1 MHz para 500 m. 25 MHz para 100 m.	10 Mbps en Ethernet	4 pares en envoltura p. Ethernet. En telefonía de 2 líneas.
Categoría 5	100 MHz	100 Mbps y 1 Gbps en Ethernet LANs	4 pares en envoltura. En telefonía.
Categoría 6	250 MHz máximo.	10 Gbps en 10 Gigabit Ethernet LANs	4 pares en envoltura.
Categoría 7	600 MHz máximo.	10 Gbps en 10 Gigabit Ethernet LANs	4 pares en envoltura, cada par aislado.



(a)

Cat 3



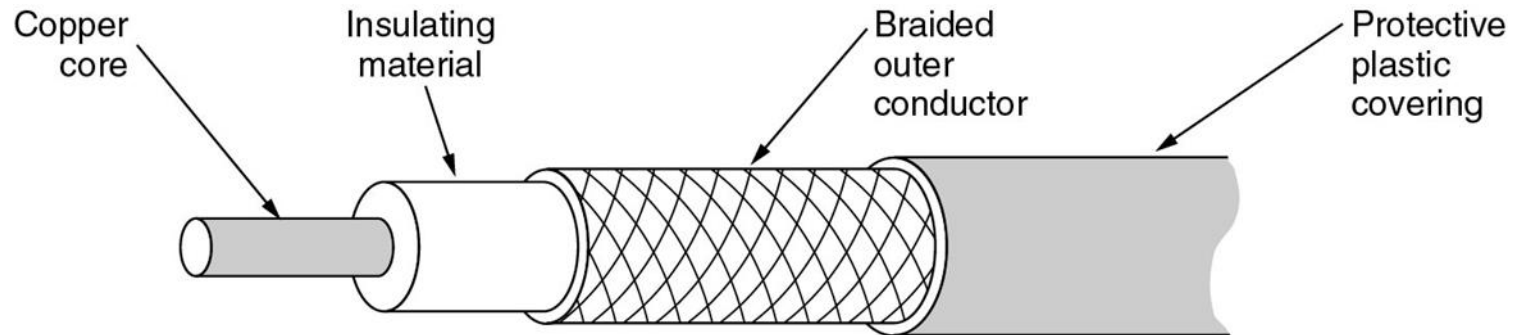
(b)

Cat 5

Cable Coaxial

- **Cable coaxial.**
 - Con blindaje mejor que los pares trenzados, luego puede recorrer distancias más largas a velocidades mayores.
- **Evaluación:**
 - La construcción y el blindaje del cable coaxial le confieren una buena combinación de ancho de banda alto y excelente inmunidad al ruido.
 - Velocidad de propagación entre 66% y 90% de la velocidad de la luz.

Cable Coaxial

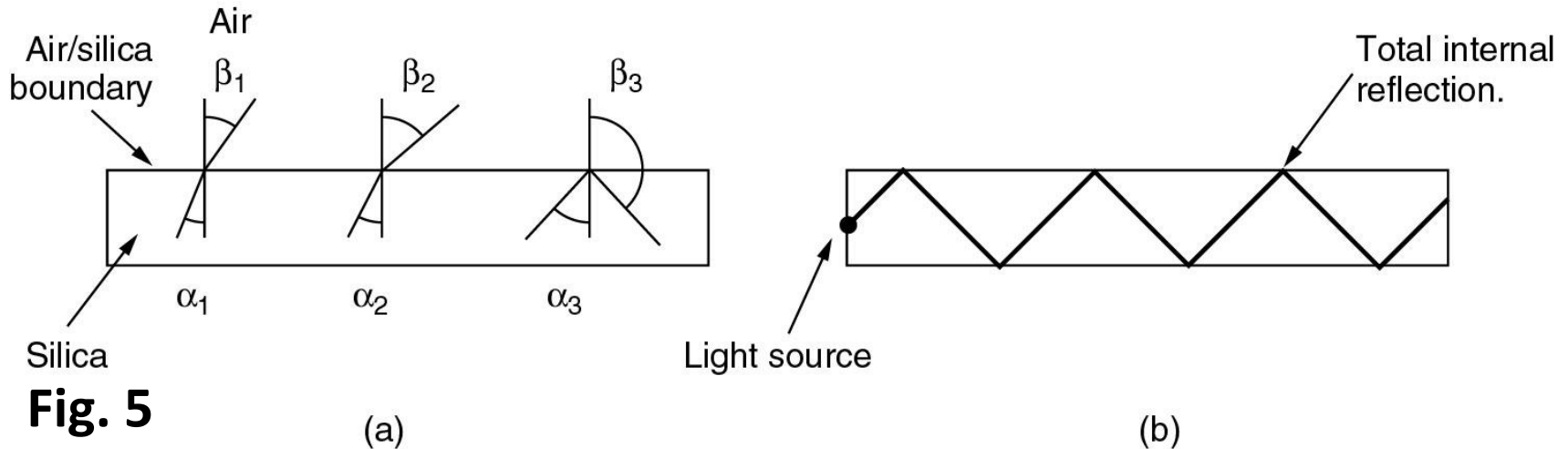


Tipo de cable	Usado en	Ancho de banda	velocidad
50 Ohm	Transmisión digital		10 Mbps en hasta 1 km de longitud
75 Ohm	Transmisión analógica, internet sobre cable.	Máximo 450 MHz	150 Mbps a 300 Mhz

Fibra óptica

- Con la tecnología de **fibra óptica** el ancho de banda alcanzable es de 50,000 Gbps (50 Tbps).
- El límite actual ronda los 100 Gbps y se debe a nuestra inabilidad de convertir entre señales eléctricas y ópticas más rápidamente.
 - Para construir enlaces de mayor capacidad, varios canales son transportados en paralelo sobre una sola fibra.

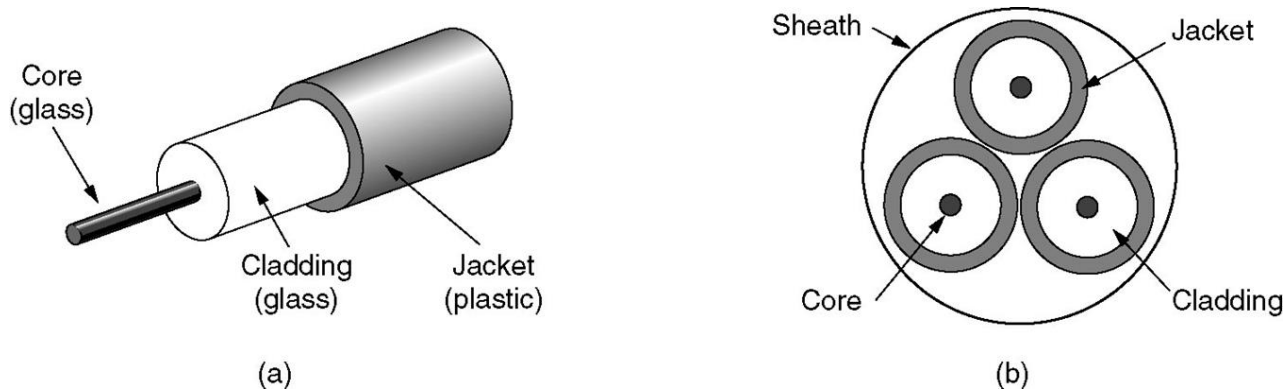
Fibra óptica



Veamos un poco de **física óptica** para entender por qué es posible el uso de la fibra óptica.

- (a) **Refracción**: 3 ejemplos de un rayo de luz desde el interior de una fibra de silicio refractándose en la frontera aire/silicio en ángulos diferentes. El grado de refracción depende de las propiedades de los medios.
- (b) Un rayo de luz que incide en un ángulo **mayor o igual al crítico** queda atrapado dentro de la fibra (Fig. 5-b) y se puede propagar por varios Km sin pérdida.

Fibra óptica



(a) Vista de lado de una única fibra.

(b) Vista de una cobertura con 3 fibras.

- **Propósito:** Comprender los **distintos tipos de fibra óptica**.
- Varios rayos estarán rebotando con **ángulos distintos**.
 - Se dice que cada rayo tiene un **modo diferente** y una fibra que tiene esta propiedad se llama **fibra multimodo**.
 - En las fibras multimodo el diámetro del núcleo de vidrio es de 50 micras – el grosor de un cabello humano.

Fibra óptica

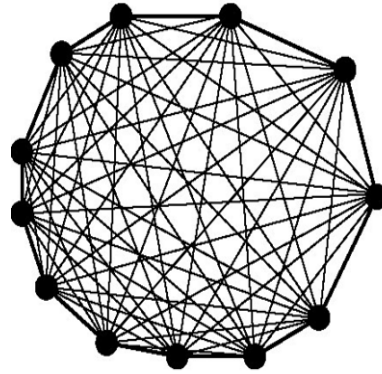
- **Fibra monomodo:** El diámetro de la fibra se reduce a unas cuantas longitudes de onda de luz, y la luz se propaga solo en **línea recta**.
 - Son más caras.
 - Se pueden usar en distancias mayores.
 - El grosor del núcleo de vidrio es de 8 a 10 micras.
 - Pueden transmitir datos a 100 Gbps por 100 km sin amplificación.

Fibra óptica

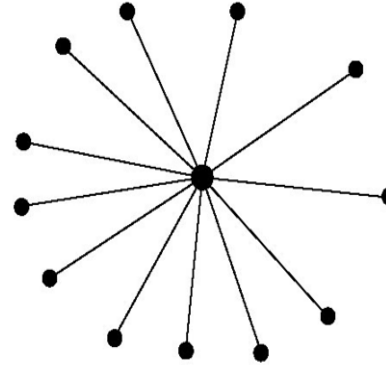
- **Situación:** los hosts no usan señales ópticas.
- **Problema:** cómo hacer para aprovechar la fibra óptica.
- **Solución:** usar un **sistema de transmisión óptico** con las siguientes 3 **componentes**:
 1. **Fuentes de luz.**
 - Un pulso de luz indica un bit 1 y la ausencia de luz indica un bit 0.
 - Se usan dos **clases de fuente de luz** para producir las señales:
 - **LED** – diodos emisores de luz- y
 - **láseres semiconductores**
 2. El **medio de transmisión** es una fibra de vidrio ultra delgada.
 3. El **detector** genera un pulso eléctrico cuando la luz incide en él.

La red de telefonía pública conmutada

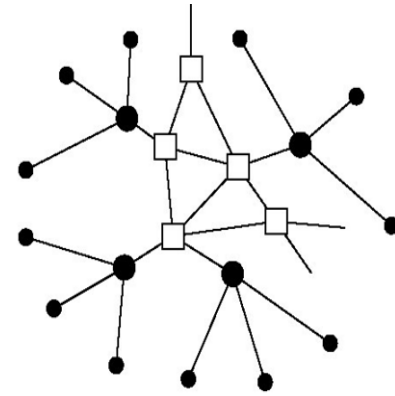
- (a) Red completamente interconectada.
- (b) Conmutador centralizado.
- (c) Jerarquía de dos niveles.



(a)



(b)



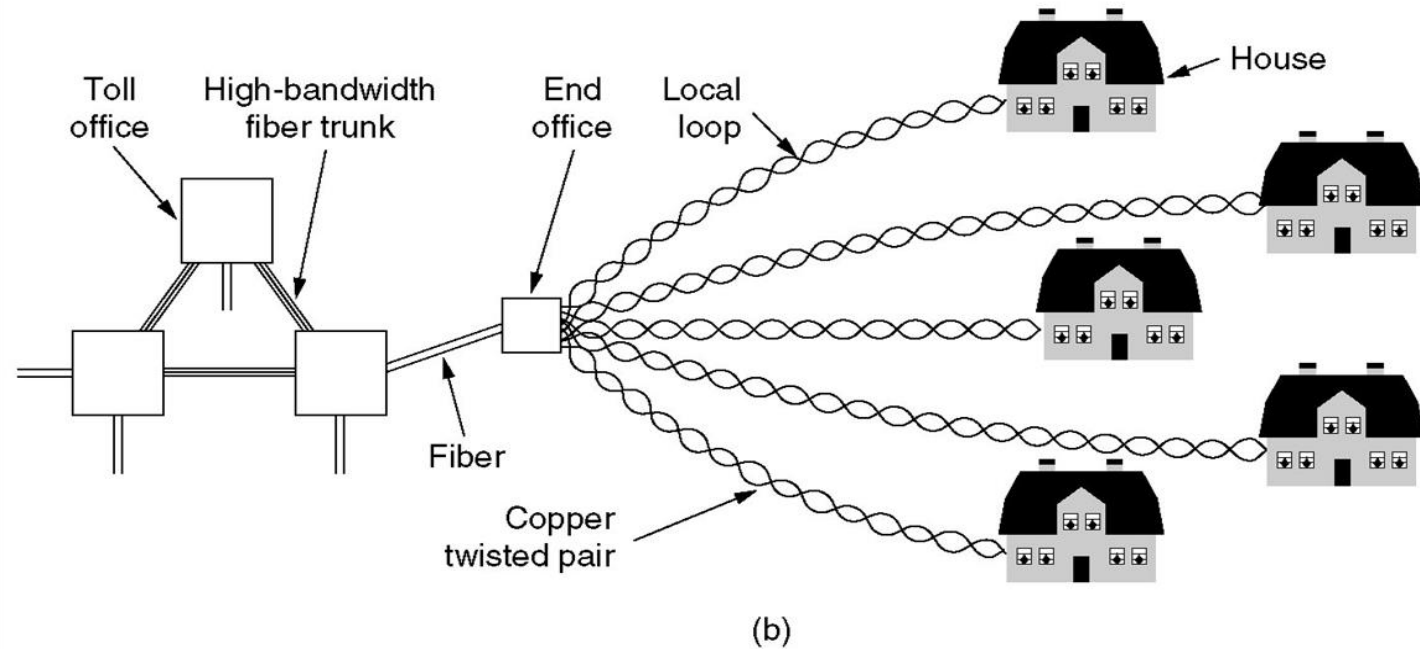
(c)

- Estudiamos cómo está **estructurada** la red de telefonía pública conmutada.
- Cuando apareció el teléfono, si un propietario de un teléfono deseaba comunicarse con otros n propietarios de teléfono, enlazaba alambres individuales a todas las n casas.
 - No funciona bien.
- Las **oficinas de conmutación**.
 - Para realizar una llamada el cliente debía dar vueltas a la manivela del teléfono para atraer la atención del operador, que a continuación conectaba manualmente a quien llamaba con el receptor de la llamada, por medio de un cable puenteador.

La red de telefonía pública conmutada

- **Problema:** ¿Cómo hacer para permitir llamadas de larga distancia entre ciudades?
- **Solución:** Conectar oficinas de conmutación entre sí por medio de cables.
 - **Oficinas de conmutación de segundo nivel.**
 - También se las llama **oficinas interurbanas**

Estructura del sistema telefónico



- Cada teléfono tiene dos alambres de cobre que van a la **oficina central local (end office)** de la compañía telefónica.
 - La distancia va de 1 a 10 km.
- **Circuito local** = conexión entre el teléfono del suscriptor y la oficina central
- Las **oficinas interurbanas (toll office)** sirven de intermediarias entre oficinas centrales diferentes.
- **Troncales de comunicación interurbanas**: Unen oficinas centrales con oficinas interurbanas.

La red de telefonía pública conmutada

- Una oficina central tiene hasta 10.000 circuitos locales.
- Todas las oficinas tienen equipo que conmuta las llamadas.
- El circuito local es el único elemento de tecnología analógica.
- Entre las oficinas de conmutación se usa **fibra óptica**.
- Todas las troncales y los conmutadores son **digitales**.
 - Con la transmisión digital basta con distinguir entre un 0 y un 1.
 - **Ventajas** de la transmisión digital: mayor confiabilidad y mantenimiento más económico y sencillo.

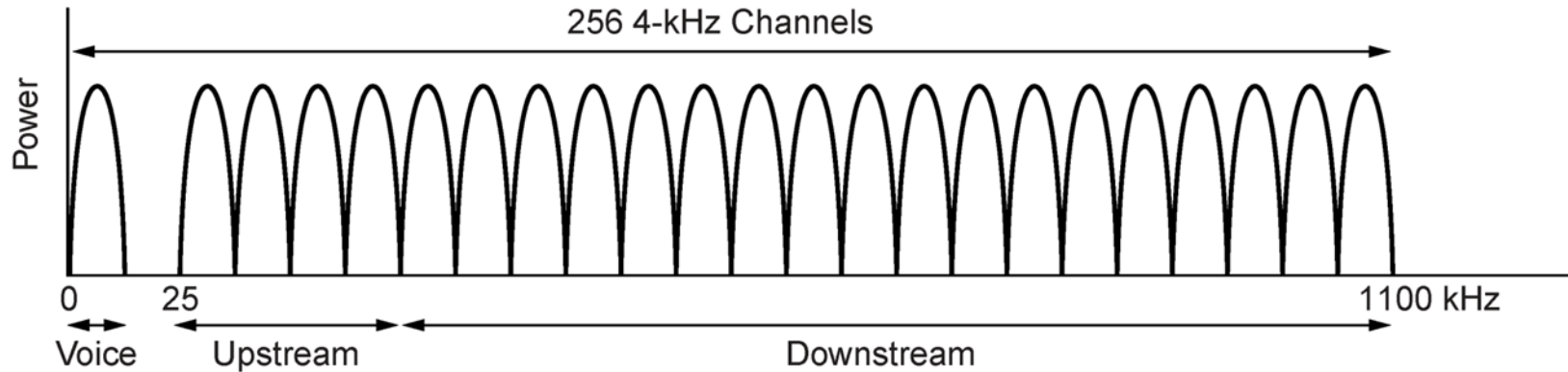
La red de telefonía pública conmutada

- En las oficinas centrales es común que se realice **multiplexación clásica**, tanto por división de tiempo (TDM) como por división de frecuencia (FDM), para combinar múltiples señales de usuarios finales en enlaces troncales.
 - Por ejemplo, en telefonía tradicional, las llamadas de muchos usuarios se multiplexan en TDM para enviarlas por enlaces digitales hacia la red troncal.
- En las oficinas interurbanas también se usa **demultiplexación**, pero además realizan funciones de conmutación y enrutamiento.
 - En sistemas tradicionales, las oficinas interurbanas manejan señales multiplexadas (TDM o FDM), demultiplexan para enrutar mensajes; luego se hace un enrutamiento.

DSL

- Ahora estudiamos en qué consiste la **comunicación de banda ancha** (también llamado xDSL).
- **Situación:** el sistema telefónico está preparado desde un inicio para trabajar con canales de 4312 Hz cada uno donde se pueden mandar datos o llamadas.
- **Problema:** ¿Cómo hacer para aprovechar a full un cable de cobre para envío de datos y llamadas con un ancho de banda de 1,1 MHz?

DSL



Using discrete multitone modulation.

- **Solución: DMT (multi-tono discreto)** divide el espectro de 1,1 MHz en el circuito local en 256 canales de 4312 Hz cada uno.
 - Multiplexado OFDM es usado.
 - El canal 0 se usa para el servicio telefónico convencional.
 - Los canales 1 a 5 no se emplean, para evitar que las señales de voz y de datos interfieran entre sí.
 - De los 250 canales restantes 1 se usa para control del flujo ascendente y 1 para el control del flujo descendente.
 - El resto está disponible para datos del usuario.

ADSL

- Ahora vemos cómo ADSL usa los canales y hace modulación.
- **Situación:** normalmente los usuarios usan más la internet para descargar datos que para subir datos.
- **Problema:** ¿Cómo asignar el uso de canales teniendo en cuenta este hecho?
- **Solución:** usar **ADSL** que consiste en usar más canales para descarga que para subida (p.ej. 80 o 90% para descarga).

ADSL

- El proveedor determina cuántos canales se utilizarán para el flujo ascendente y cuántos para el flujo descendente.
 - La mayoría de los proveedores asigna entre 80 y 90% del ancho de banda al canal descendente.
 - Esta situación dio lugar a la A (asimétrica) de ADSL.
- Dentro de cada canal, **modulación QAM** es usada a una tasa de alrededor de 4000 symbols/sec.
- Los datos actuales se envían con modulación QAM con un máximo de 15 bits por baudio.

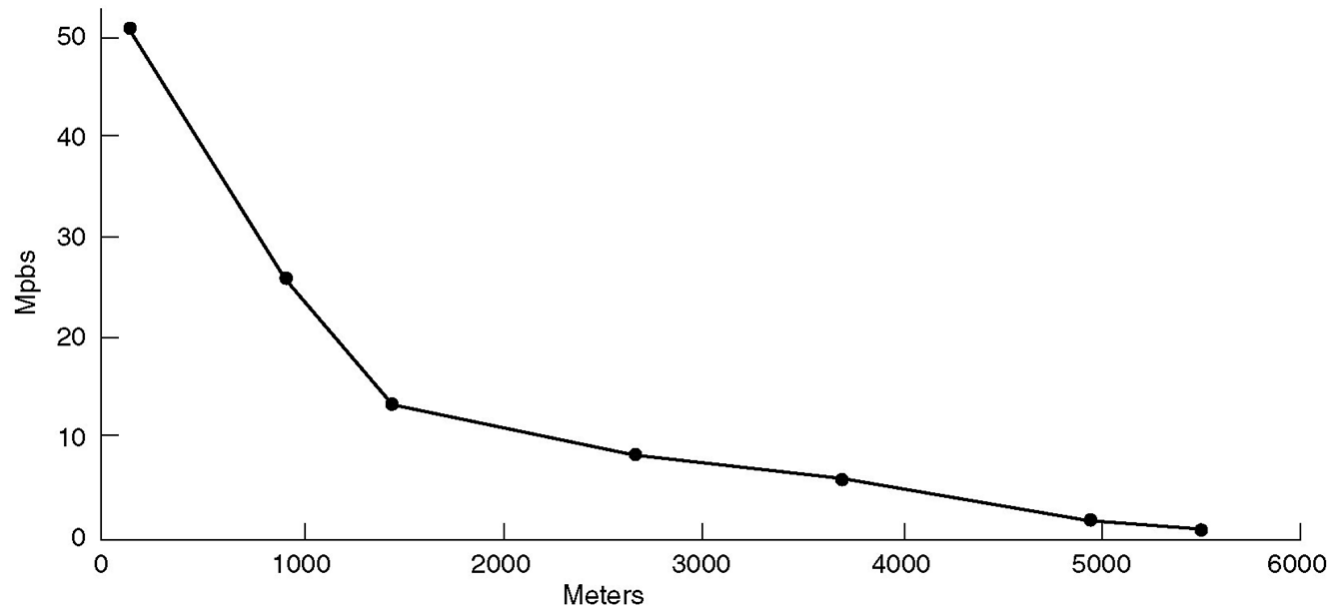
ADSL

- **Problema:** supongamos que se usa 90% para flujo descendente. ¿Cuál es la velocidad del flujo descendente?
- **Solución:** 90% son 225 canales descendientes. Pero uno se usa para control. Luego son 224 canales. Para 224 canales descendientes y 15 bits por baudio a 4000 baud, la velocidad del flujo descendente es de:

$$4000 \times 15 \times 224 = 13,44 \text{ Mbps.}$$

- **Observación:**
 - En la práctica la relación señal a ruido nunca es suficientemente buena para alcanzar esa tasa,
 - pero en trayectorias cortas sobre circuitos de alta calidad es posible lograr 8 Mbps.
- La calidad de la línea en cada canal se monitorea de manera constante y la tasa de datos se ajusta cada vez que es necesario.

DSL



- Gráfica del ancho de banda potencial como una función de la distancia (Figura de arriba, se usan cables de cobre).
 - Se da por sentado que todos los demás factores son óptimos (cables nuevos, haces moderados de cables, etc.).
 - **Implicaciones de figura.**
 - Entre más baja sea la velocidad elegida, más amplio será el radio y podrán abarcarse más clientes.

ADSL

- Estudiamos ahora **cómo se configuran** los equipos que usan ADSL.
- **Situación**: en el cable de cobre se pueden recibir llamadas y mensajes de internet al mismo tiempo.
- **Problema**: ¿cómo diseñar los equipos de una casa para hacer/recibir llamadas telefónicas y usar la internet al mismo tiempo?

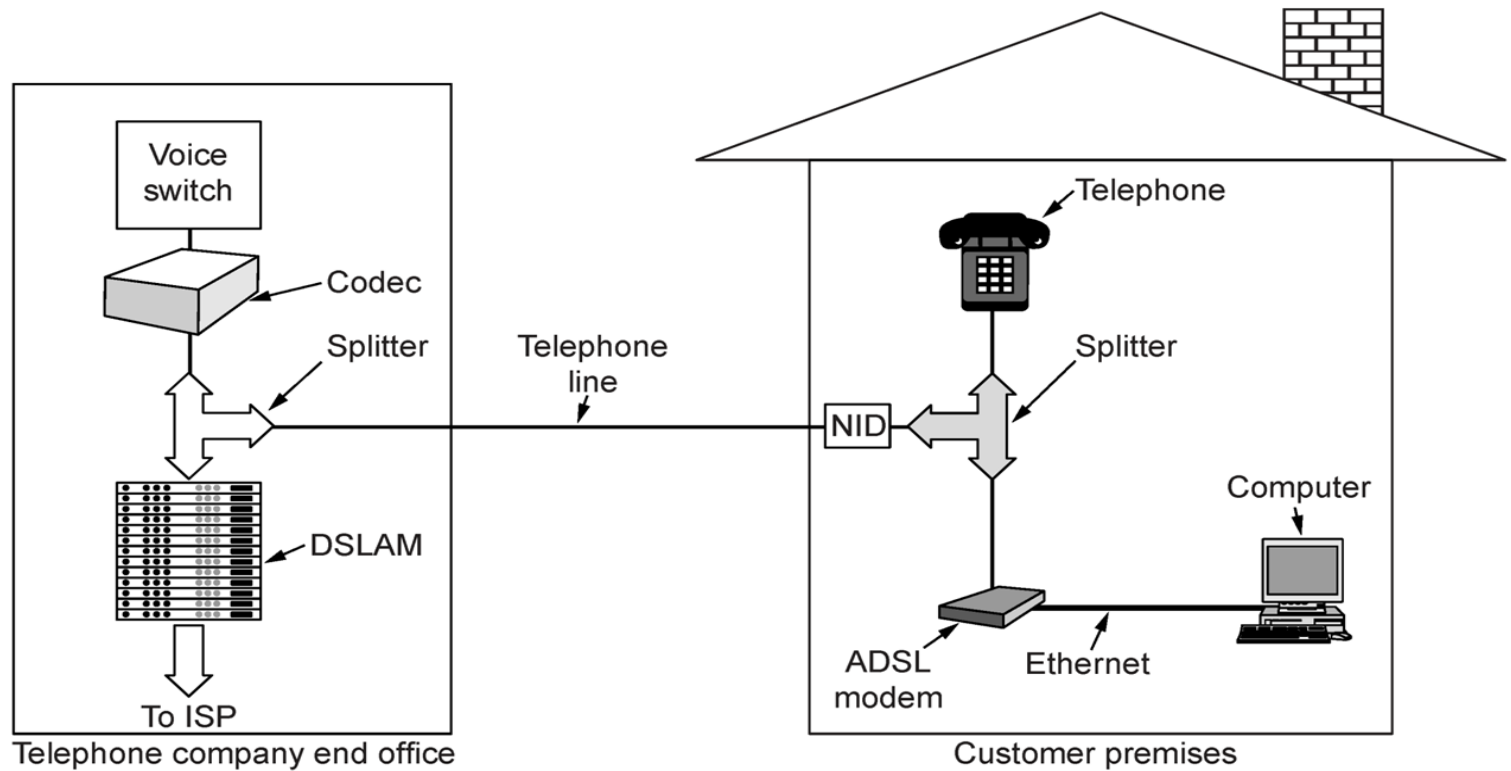
ADSL

- **Solución:** De los 256 canales potenciales se usa 1 para voz y 5 no se usan. Luego quedan 250 canales para datos. Del teléfono sale un canal de voz.
- En el modem ADSL entra una señal digital. El stream de bits a ser enviado es dividido en 250 substreams.
 - La suma de las tasas de datos de los substreams es igual a la tasa de datos total de la señal digital de input.
- Cada substream se convierte a señal analógica usando QAM.
- Esas señales analógicas son multiplexadas usando división por frecuencia en un cable.

ADSL

- **Solución (cont.):** Para determinar el tipo de QAM usado para un substream, el modem manda señales de prueba a cada subcanal para determinar la relación señal a ruido.
 - El modem asigna más bits para subcanales con mejor calidad de transmisión de señal y menos bits a subcanales de transmisión de señal pobre.
- Es necesario juntar los canales de datos y el canal de voz en el canal de par trenzado de cobre.
 - Se recibe cable con canales multiplexados de modem y cable con señal de voz y se ponen todos estos canales en el cable de par trenzado de cobre.
 - Cuando llega señal de cable de par trenzado de cobre hace falta dividirla en llamada telefónica y canales de datos.

ADSL



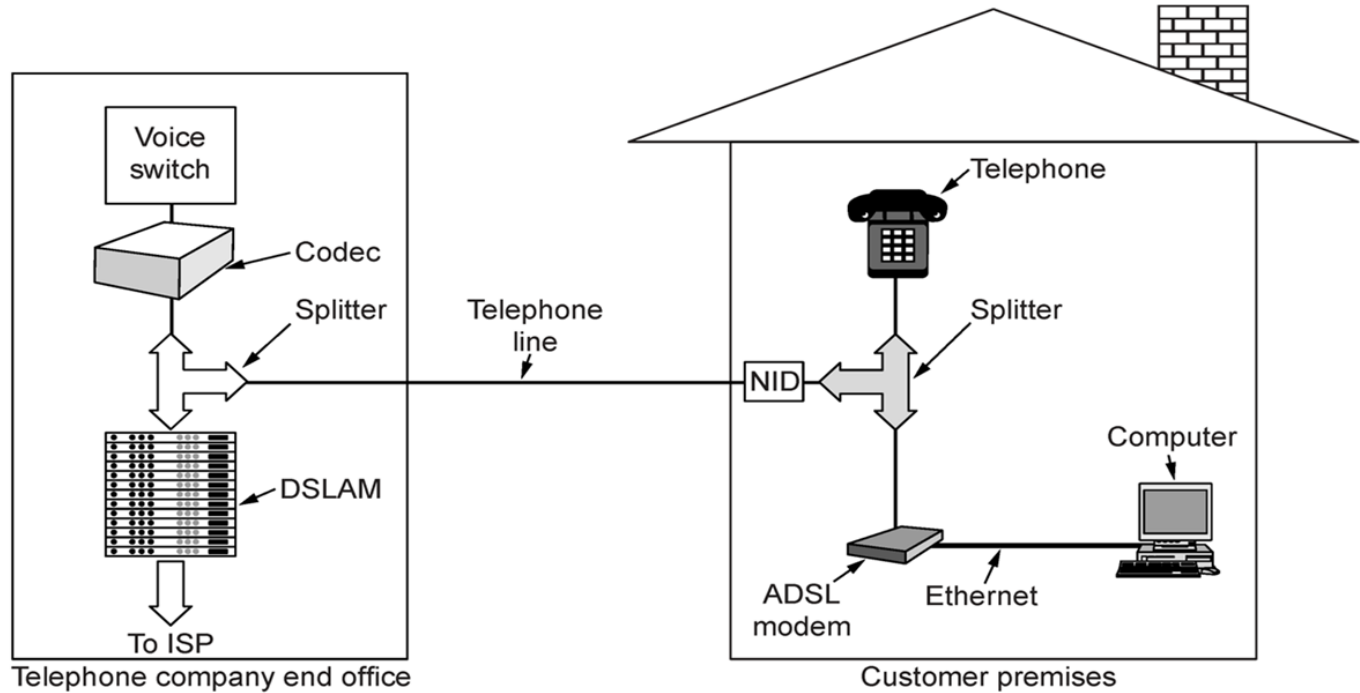
A typical ADSL equipment configuration.

- **Implementación:** ADSL común en el **hogar**.
 - Instalación de **NID** (**dispositivo de interfaz de red**).
 - Cerca del NID (y en ocasiones en combinación con él) hay un **divisor**.
 - **Divisor** = filtro analógico que separa la banda de 0-4000 Hz utilizada por la voz de los datos
 - La señal POTS se enruta hacia el teléfono y la señal de datos se enruta a un módem.

ADSL

- El **módem ADSL** funciona como **250 módems QAM** operando en paralelo a diferentes frecuencias (implementa OFDM).
 - La computadora se conecta con él a alta velocidad.
 - Esto se hace usando Ethernet, 802.11 o un cable USB.
- **Situación:** se dispone de un sistema telefónico para llamadas
- **Problema:** ¿cómo diseñar una oficina central de conmutación para aprovechar ese sistema telefónico de llamadas existente y además introducir el uso de banda ancha de internet?

ADSL



A typical ADSL equipment configuration.

- **Solución:** esquema de ADSL común en la **oficina central:**
 - **Divisor:** filtra la porción de voz de la señal y se envía al conmutador de voz normal.
 - Las señales por arriba de 26 KHz se envían hacia un dispositivo **DSLAM** (**multiplexor de acceso de línea digital de suscriptor**).
 - Una vez que la señal digital se extrae de un flujo de bits, se elaboran paquetes y se envían al ISP.

ADSL

- El **DSLAM** recibe las señales digitales de datos de múltiples usuarios ADSL, cada uno conectado mediante un par de cobre desde su domicilio.
 - Agrupa y combina estas señales en un solo flujo de mayor capacidad para enviarlo hacia la red de alta velocidad del proveedor (por ejemplo, una red ATM o IP).
- Una buena parte de los DSLAM usan **ATM** como tecnología de transporte, que emplea multiplexación con entrelazado de bytes (TDM sobre ATM).
 - Esto significa que los datos de múltiples usuarios se multiplexan en ranuras de tiempo dentro de celdas ATM para su transporte eficiente.

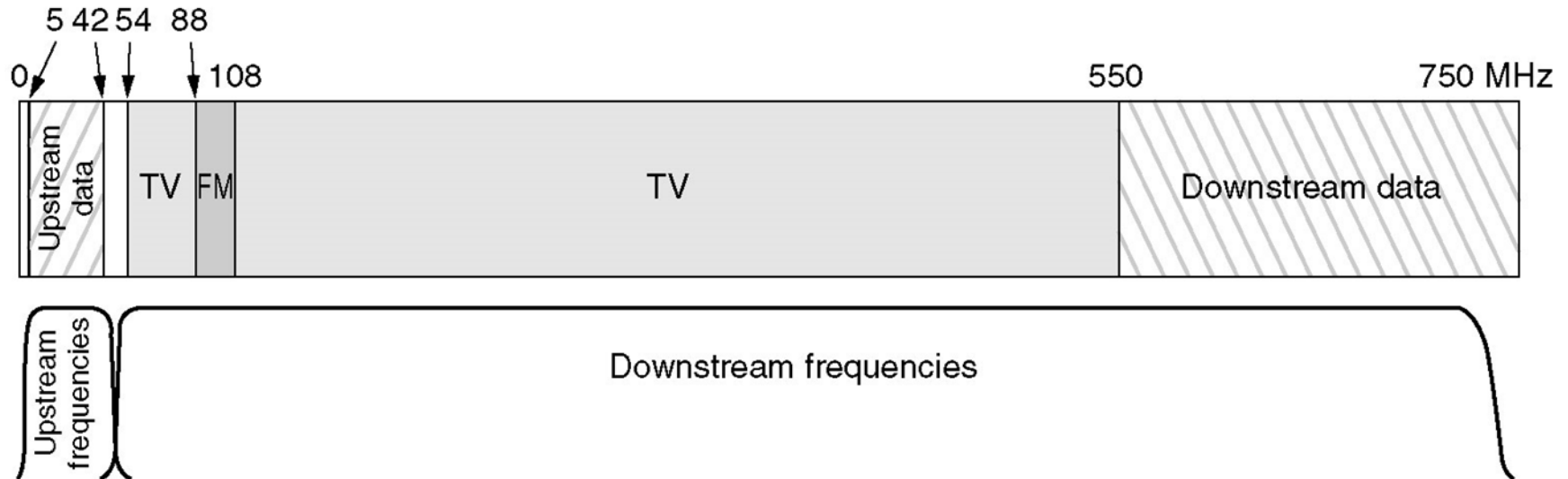
ADSL

- Un **DSLAM sobre redes IP** es un equipo que concentra las señales DSL de múltiples usuarios y utiliza protocolos basados en IP y Ethernet para la agregación y transporte del tráfico.
 - Encapsula los datos en tramas ethernet.
 - Envía tráfico mediante enlace ethernet de alta velocidad.
- Un DSLAM IP puede usar multiplexado TDM o estadístico (secuencia de paquetes IP)
- La tendencia actual es migrar hacia DSLAMs sobre IP/Ethernet, debido a la evolución de las redes hacia arquitecturas totalmente IP.
- Sin embargo, en algunas regiones o redes legacy, los DSLAM ATM todavía están en operación.

Internet por cable

- **Propósito:** Comprender cómo es el sistema de alojamiento de frecuencias en un sistema de internet por cable.
- **Situación:** En un cable de TV por cable usualmente no se usa todo el ancho de banda que puede dar.
- **Problema:** ¿Cómo aprovechar el cable de TV por cable para poder usarlo también para envío de datos?

Internet por cable

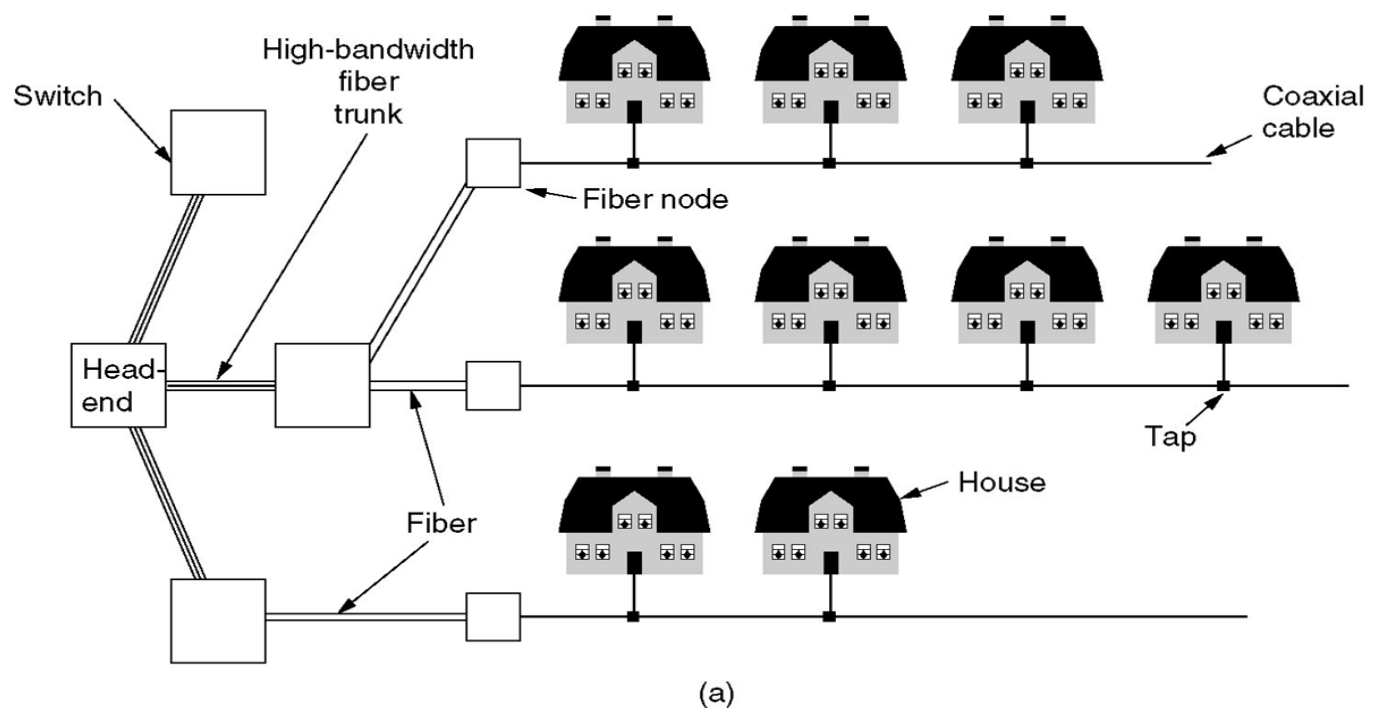


- **Solución:** Normalmente la TV y la internet coexisten en un mismo cable.
 - Los canales de TV en USA ocupan la región de 54 a 550 MHz; estos canales tienen 6 MHz de ancho de banda.
 - Los cables modernos pueden operar más arriba con frecuencias de hasta 750 MHz o incluso más.
 - Se introducen canales ascendentes en la franja 5-42 MHz y se usan frecuencias en extremo superior para el flujo descendente.

Internet por cable

- **Problema:** Cuando muchas casas comparten un solo cable coaxial:
 - La velocidad de transmisión es baja si todas las casas están usando la internet en forma continua.
 - ¿Cómo resolver esta situación?
- **Solución:** dividir el cable largo en cables menores y conectarlos directamente a un **nodo de fibra**.
 - Ese nodo de fibra va a operar a una tasa de transferencia mucho mayor que los cables coaxiales.
 - Un nodo de fibra convierte la señal analógica a óptica y como recibe varios cables coaxiales debe agregar las señales también.

Internet por cable



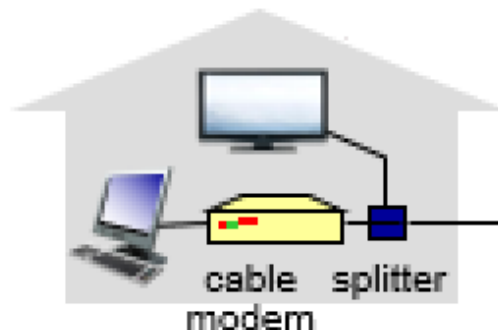
- **Solución (cont.):** Por lo tanto, siempre y cuando no haya demasiados suscriptores en cada segmento del cable, la cantidad de tráfico será manejable.
 - Los cables típicos tienen entre 500 y 2000 casas.
- Los nodos de fibra pueden conectarse a un **planificador headend** o a **conmutadores** que se conectan a planificador headend.

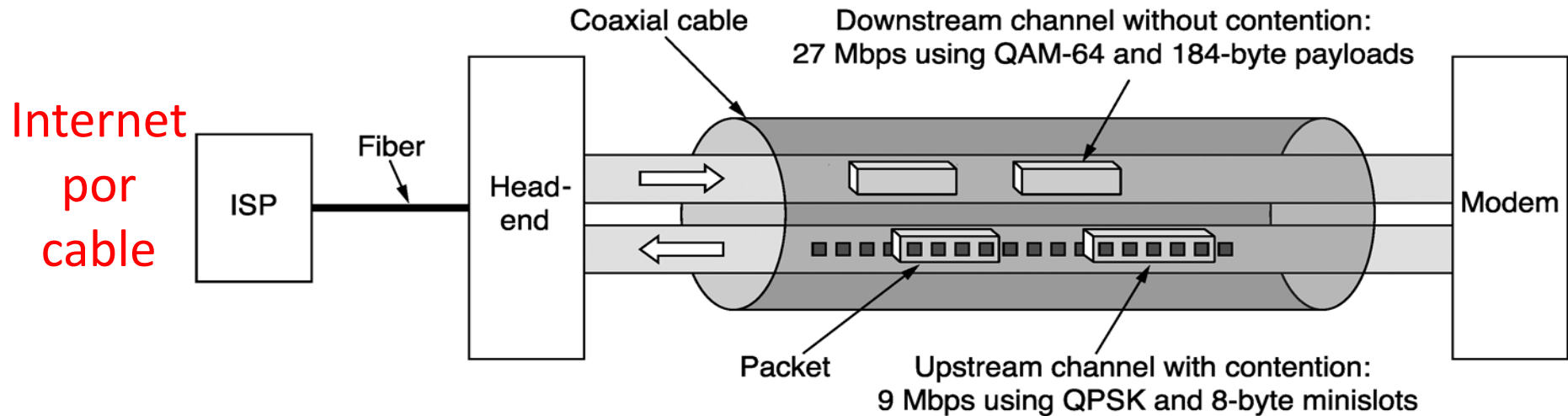
Internet por cable

- ¿Qué se hace con las señales de las casas?
- En las casas debe haber un modem de cable que convierte de digital a analógico.
 - Se usa enfoque asimétrico con mayor ancho de banda para bajada que para subida.
- En los cables coaxiales debe usarse multiplexado por división de frecuencia para poner las señales descendientes de todas las casas.
 - El cable tiene canales de flujo descendiente de 6 o 8 MHz.
- En el flujo ascendiente varios suscriptores usan TDM y en una ranura TDM se puede usar CDMA.

Internet por cable

- **¿Cómo implementar internet por cable en una casa?**
- Hace falta un dispositivo que haga que:
 - Una parte de la señal del cable va directo al TV (desde 54 a 550 MHz).
 - El resto va vía el modem a la computadora (de bajada).
- De la computadora va una señal digital (de subida) al modem.
- El cable modem manda datos en canal de subida y en canal de bajada.





Typical details of the upstream and downstream channels in North America.

- **Propósito:** comprender cómo son los **módems de internet por cable**.
- **Conexión Modem-computador:** Ethernet u ocasionalmente USB.
- **El otro extremo** es más complicado y usa FDM, TDM y CDMA para compartir el ancho de banda del cable entre los suscriptores.
- En el cable se necesita la **modulación analógica**.

Internet por cable

- **Implementación de cable modem**

- 38 Mbps de bajada y 9 Mbps de subida.
- Canal de bajada de 6 MHz modulado con QAM 64 o QAM 256 solo si la calidad del canal es muy buena.
 - Canal de bajada con QAM 256 da 39 Mbps sin sobrecarga.
 - Canal de bajada con QAM 64 da 27 Mbps sin sobrecarga.
- Hay más ruido en zona de subida del cable coaxial, luego el cable modem usa modulación QPSK o QAM 128 para subida.

Internet por cable

- **Problema:** ¿Cómo asistir a un cable modem para saber qué canales usar?
- **Solución:** El cable modem necesita saber por qué canales de subida y de bajada debe operar. El **planificador headend** se ocupa de esto.
 - Cuando un modem entra en línea anuncia su presencia en uno de los canales de subida.
 - El headend asigna al modem luego los canales de subida y de bajada.
 - **Necesidades de cable modem para subir paquete:**
 - El cable modem para subir un paquete necesita saber cuándo comienza un round de ranuras (TDM) y qué ranuras puede usar para enviarlo.
 - El headend anuncia un nuevo round de ranuras periódicamente.

Internet por cable

- **Solución (cont):** Durante la inicialización de un cable modem el headend asigna una ranura para usar para pedir ancho de banda de subida para mandar un paquete.
 1. Cuando la computadora manda un paquete al modem, el modem pide al headend una cantidad de ranuras para el paquete.
 - En la ranura para enviar este pedido pueden ocurrir colisiones y las mismas son manejadas con retroceso exponencial binario.
 2. El headend responde al pedido de ranuras con **mensaje MAP** diciendo al cable modem qué ranuras han sido reservadas para mandar el paquete.
 3. El paquete es enviado usando las ranuras asignadas.

Internet por cable

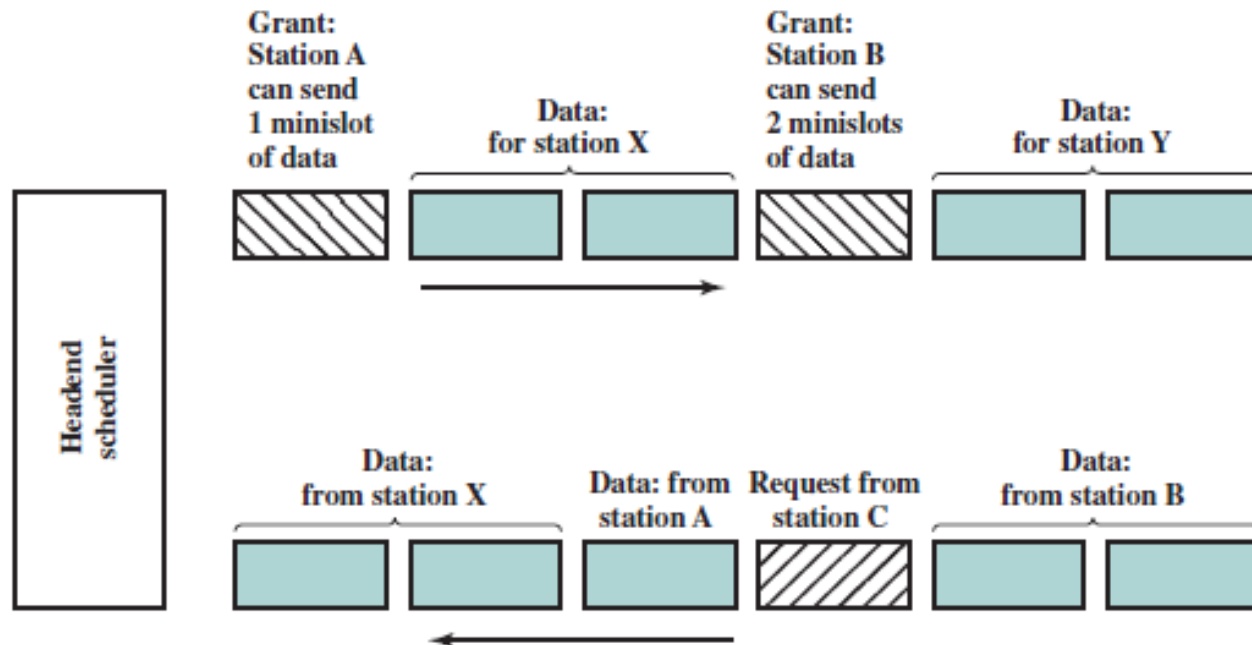


Figure 8.12 Cable Modem Scheme

Abajo está el canal de subida donde las estaciones A y B usan ranuras para transmitir
Arriba está el canal de bajada donde llegan paquetes MAP.

Internet por cable

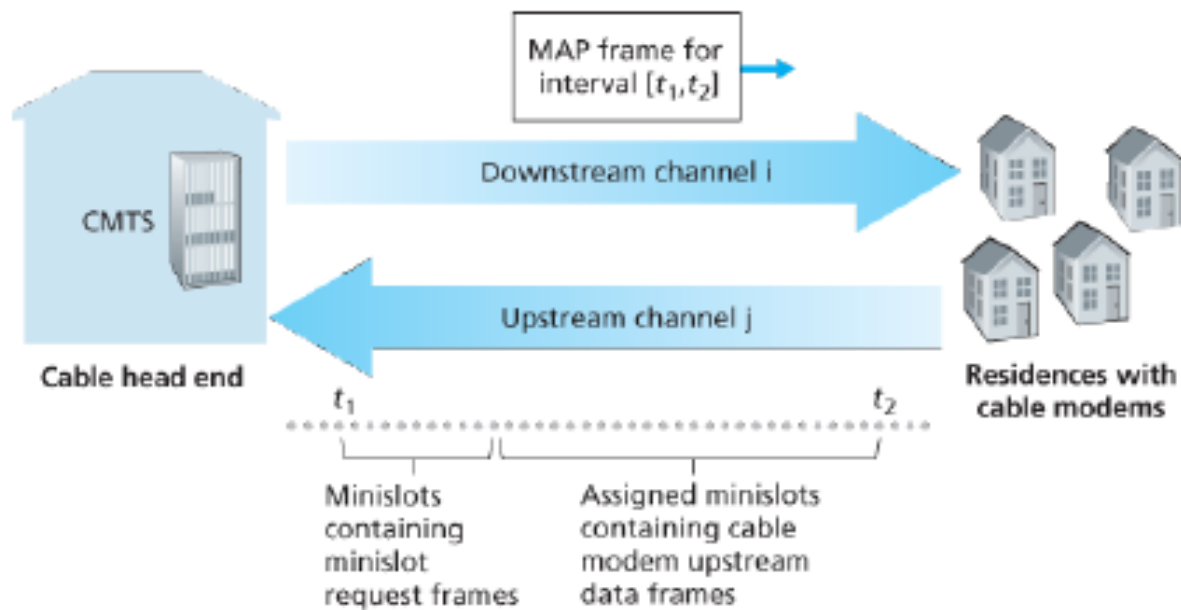


Figure 6.14 Upstream and downstream channels between CMTS and cable modems

Otra forma de visualizar lo que fue explicado

Internet por cable

- **Funcionamiento de nodos de fibra:**

- **Del headend al hogar:**

1. El nodo de fibra recibe una única señal óptica de alto ancho de banda desde el headend.
2. El nodo de fibra convierte la señal óptica a una señal eléctrica de radiofrecuencia (RF).
3. La señal RF es replicada y enviada a través de múltiples cables coaxiales.

- **Del hogar al headend:**

1. Se reciben varias señales RF de cada cable coaxial
2. El nodo de fibra agrega las señales RF en una única señal compuesta.
3. La señal compuesta se convierte en una señal óptica que es enviada por la fibra óptica.
4. El headend separa las señales combinadas para dirigirlas a sus destinos adecuados.

Internet por cable

- **Procesamiento del headend de señales ópticas recibidas:**
 1. El headend **convierte** las señales ópticas recibidas en **señales eléctricas digitales** para su procesamiento.
 2. Las señales digitales **se procesan mediante equipos especializados** que incluyen amplificadores, moduladores digitales RF y codificadores/decodificadores para adecuar las señales al formato IP para datos.
 3. El headend puede combinar varios flujos de datos usando **multiplexores IP**.
 4. Las señales multiplexadas en formato IP son enviadas a los enrutadores del headend que gestionan el encaminamiento del tráfico hacia internet.
 - Para esto el enrutador primero **demultiplexa las señales ópticamente**, las convierte en señales eléctricas digitales con paquetes IP, y luego analizan los paquetes IP.