

# Capítulo 7

## La Capa Física: parte 2

Application
Transport
Network
Link
Physical

# Conversión de una señal analógica a digital

- Ahora estudiamos métodos para convertir señales analógicas a digitales.
- **Problema:** ¿cómo convertir fuentes de información analógicas a forma digital para procesamiento posterior?
- **Solución:** **pulse code modulation** (PCM)
  - Funcionamiento de PCM
    - el nivel de una señal analógica es medido repetidamente en intervalos fijos de tiempo y convertido a forma digital .

# Conversión de una señal analógica a digital

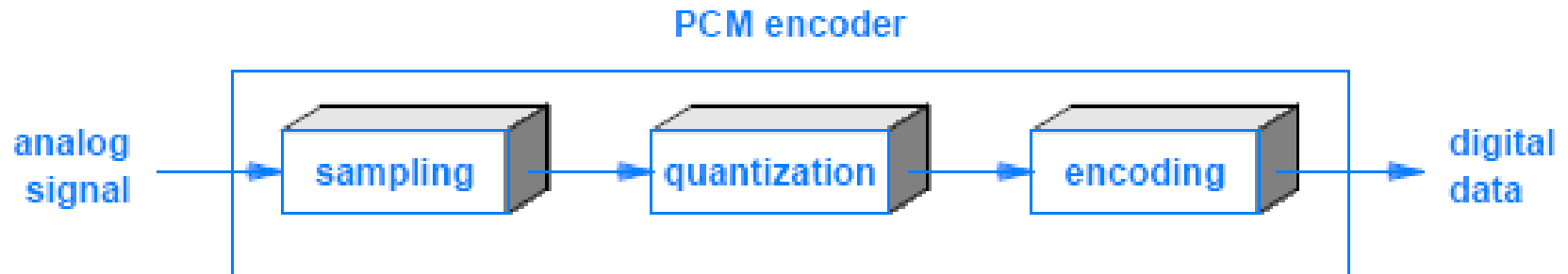


Figure 6.14 The three steps used in pulse code modulation.

- Pasos usados en PCM:

1. **Muestreo (sampling)**

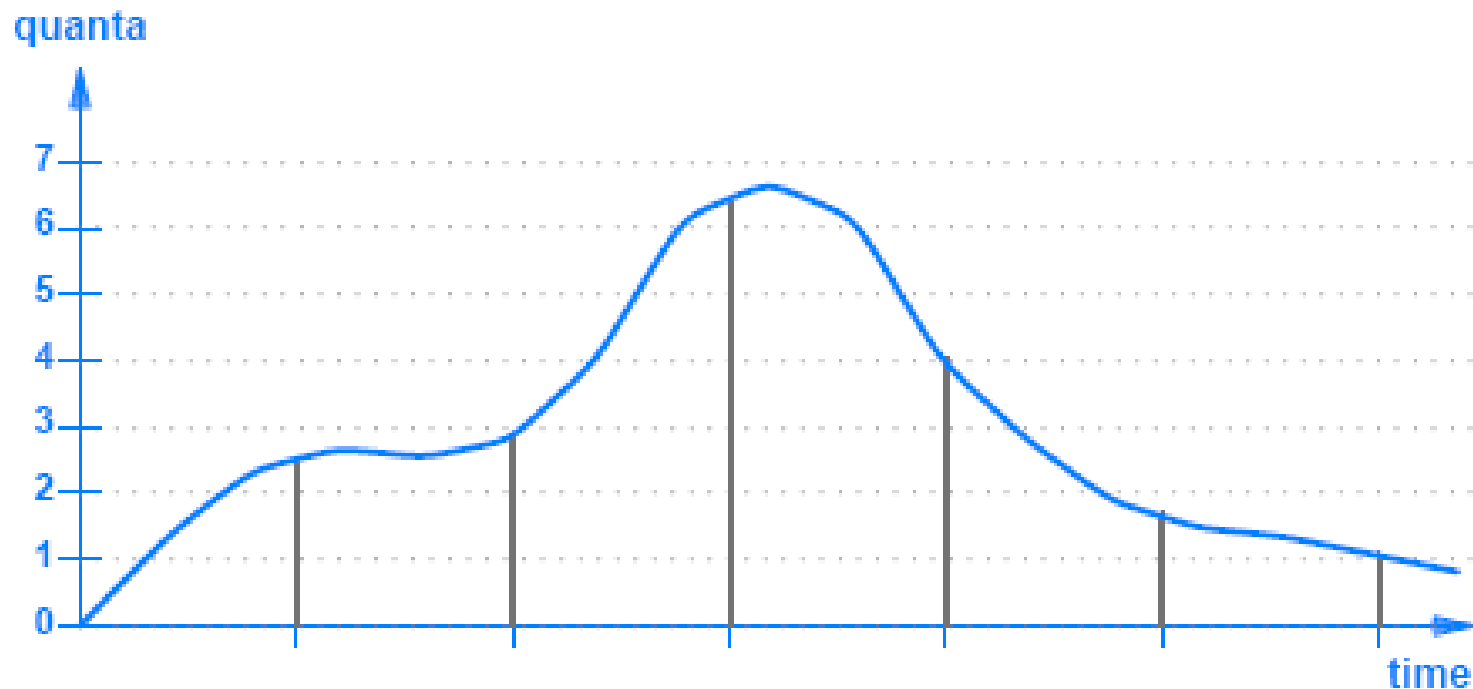
- **Muestra** = medición.

2. Una muestra se **cuantifica (quantization)**

- Convirtiéndola en un valor entero pequeño.
- Uso de conjunto de ranuras para representar valores en el rango de una señal (típicamente es una potencia de 2).

3. Luego se lo **codifica** en un formato específico.

# Conversión de una señal analógica a digital



**Figure 6.15** An illustration of the sampling and quantization used in pulse code modulation.

# Conversión de una señal analógica a digital

- En la práctica variaciones leves de muestreo han sido inventadas.
- P. ej., para evitar una **inexactitud** causada por un breve **pico/caída** en la señal, usar el promedio
  - En lugar de confiar en una medida única para cada muestra, 3 medidas pueden ser tomadas cercanas entre sí y el promedio puede ser computado.

# Medios de transmisión

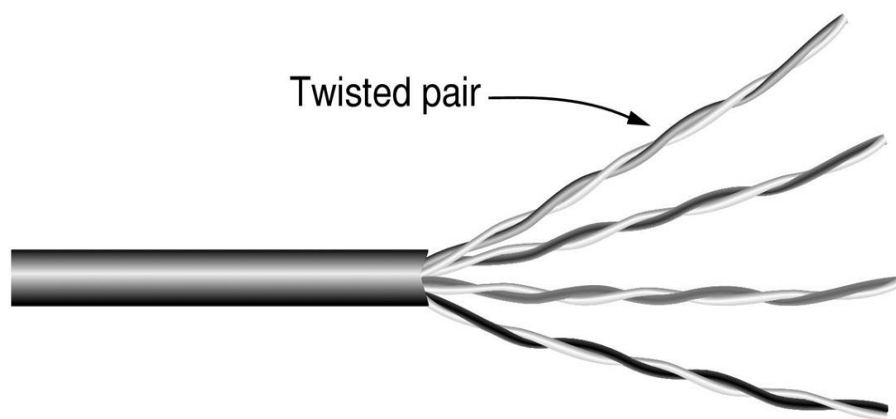
- Los **medios físicos** se clasifican en:
  - **medios guiados** - cable de cobre, fibra óptica.
  - **medios no guiados** – radio
  - **Medios magnéticos** - DVDs, Blu-ray, cintas magnéticas
- Hay **2 tipos** de **cable de cobre**: cables de par trenzado de cobre y cable coaxial.
  - Estudiamos cada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

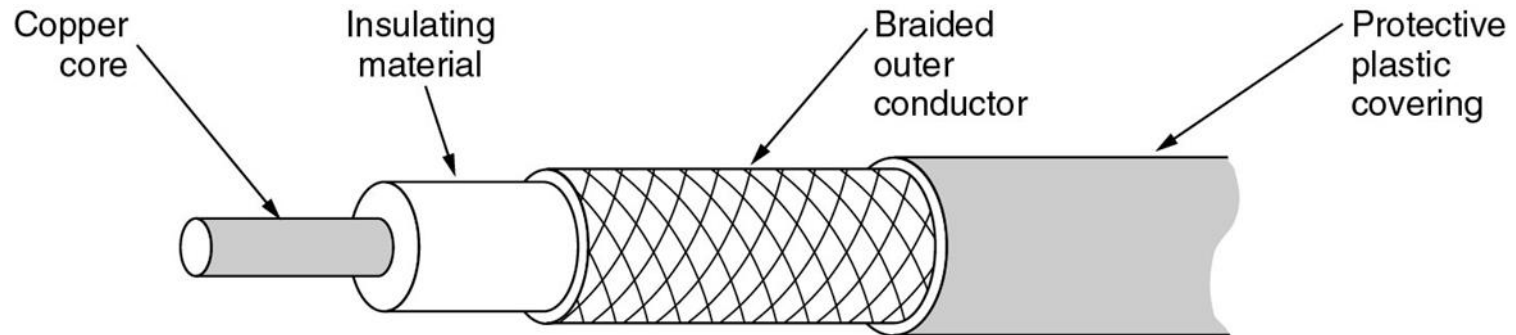
Cat 5



# 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

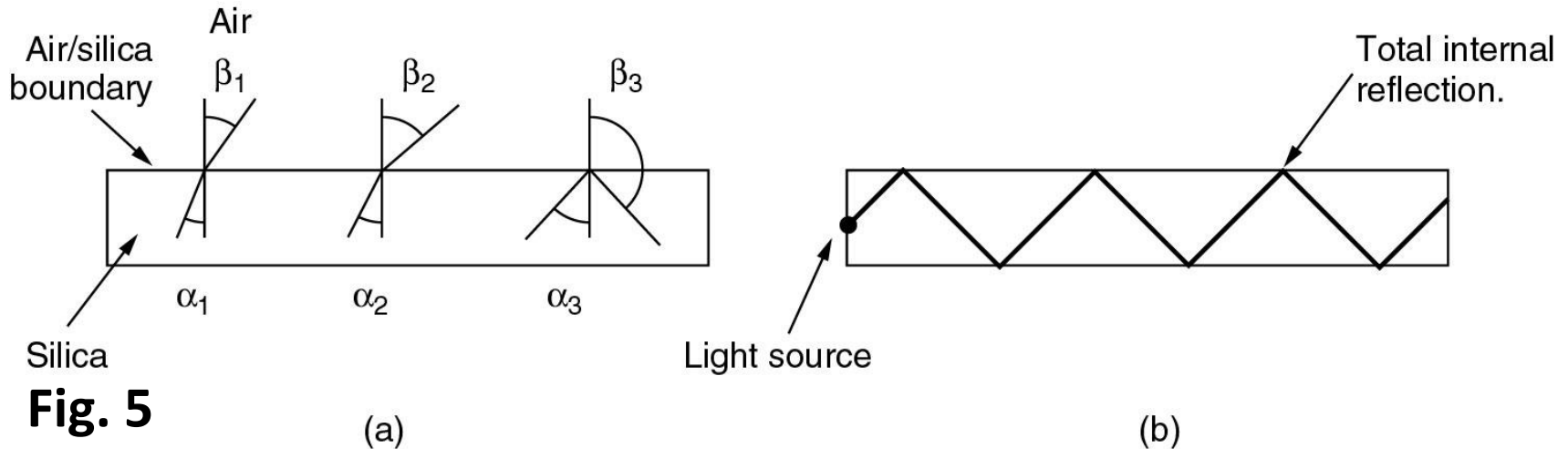


Tipo de cable	Usado en	Ancho de banda	velocidad
50 Ohm	Transmisión digital		10 Mbps en hasta 1 km de longitud
75 Ohm	Transmisión analógica, internet sobre cable.	Máximo 450 MHz	150 Mbps a 300 Mhz

# 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.

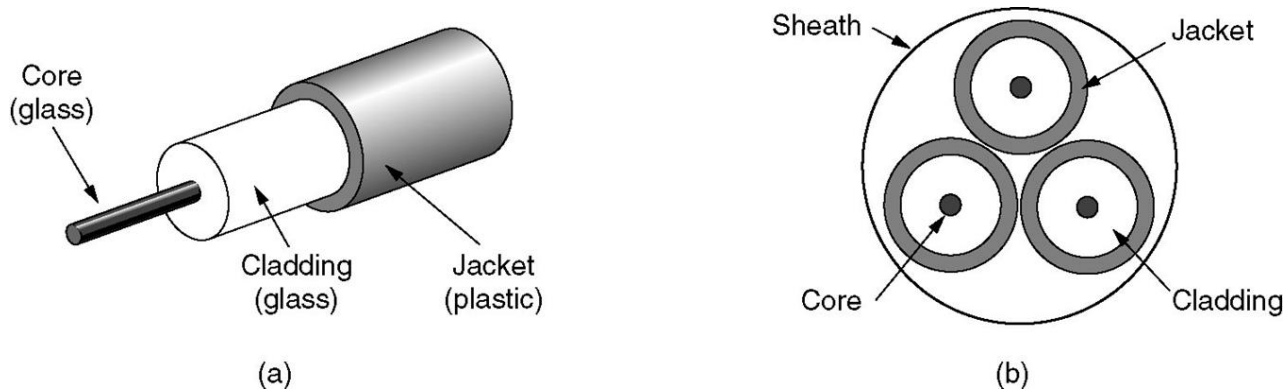
# Fibra óptica



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.

# Transmisión inalámbrica

- **Motivación:**
  - Para los usuarios móviles los medios cableados no son de utilidad.
  - Para ellos la comunicación inalámbrica es la respuesta.
- Estudiamos los conceptos, principios y leyes de la **transmisión inalámbrica**
- **Ondas electromagnéticas.**
  - Cuando los electrones se mueven crean ondas electromagnéticas que se pueden propagar por el espacio libre (aun en el vacío).
- **frecuencia**  $f$  de una onda electromagnética = cantidad de oscilaciones por segundo (se mide en Hz).
- **longitud de onda**  $\lambda$  = distancia entre dos puntos máximos o mínimos consecutivos.



# Transmisión inalámbrica

- **Principio:** Al conectarse una antena del tamaño adecuado a un circuito eléctrico, las ondas electromagnéticas pueden ser difundidas de manera eficiente y ser captadas por un receptor a cierta distancia.
- En el vacío todas las ondas electromagnéticas viajan a la **velocidad de la luz**  $c$  y es de 30 cm por nanosegundo.
- En el cobre o la fibra óptica, la velocidad es aprox.  $2/3 c$  y se vuelve ligeramente dependiente de la frecuencia.
  - La velocidad de la luz es el límite máximo de velocidad.
- **Ley:** La relación entre  $\lambda$ ,  $f$  y  $c$  **en el vacío** es de  $\lambda * f = c$ .

# Transmisión inalámbrica

- Cuando  $\lambda$  se expresa en m y  $f$  en MHz,  $\lambda * f \cong 300$ .
  - **Ejemplo:** las ondas de 100 MHz son de aproximadamente 3 m de longitud, las de 1000 MHz son de 0,3 m y las ondas de 0,1 m de longitud tienen una frecuencia de 3000 MHz.

# Transmisión inalámbrica

- Diferenciando  $f$  con respecto a  $\lambda$ :

$$df/d\lambda = -c/\lambda^2$$

- Si usamos diferencias finitas en lugar de diferenciales y solo consideramos los valores absolutos obtenemos:

$$\Delta f = c\Delta\lambda/\lambda^2$$

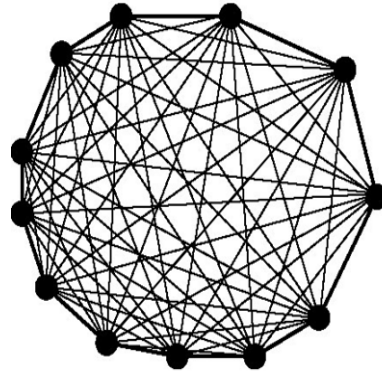
- **Significado:** dado el **ancho de una banda de longitud de onda**,  $\Delta\lambda$  podemos calcular la banda de frecuencia correspondiente  $\Delta f$  y a partir de ella, la tasa de datos.

# Transmisión inalámbrica

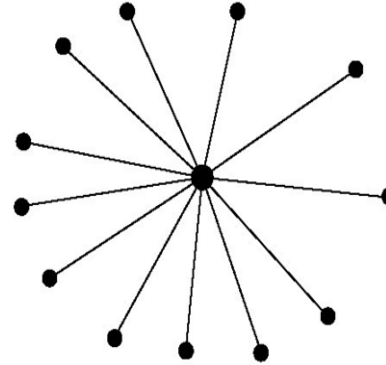
- **Ejercicio:** considere la banda de 1,3 micras que tiene un ancho de 0,17 micras y que se pueden transmitir 8 bits por Hz, ¿qué velocidad de transmisión tenemos?
- **Solución:** aquí tenemos  $\lambda = 1,3 * 10^{-6}$  y  $\Delta\lambda = 0,17 * 10^{-6}$  de manera que  $\Delta f = c\Delta\lambda/\lambda^2 = c * 0,17 * 10^{-6} / 16,9 * 10^{-12} \cong 30$  THz. A 8 bits por Hz tenemos 240 Tbps.
- La mayoría de las transmisiones ocupa una banda de frecuencia estrecha; es decir,  $\Delta f / f \ll 1$  a fin de obtener la mejor recepción (muchos watts por Hz).
- **Espectro electromagnético:**
  - Las ondas de radio están entre  $10^4$  y  $10^7$  Hz
  - Las microondas están entre  $10^9$  y  $10^{11}$  Hz
  - Los rayos infrarrojos están entre  $10^{12}$  y  $10^{14}$  Hz
  - La luz visible está entre  $10^{14}$  y  $10^{15}$  Hz

# La red de telefonía pública conmutada

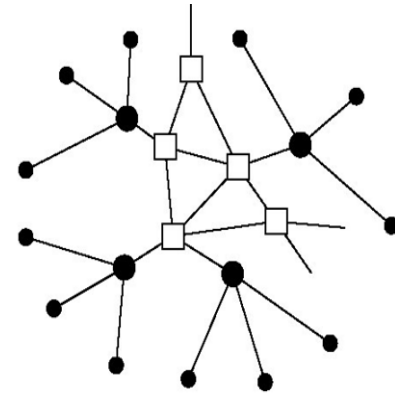
- (a) Red completamente interconectada.
- (b) Conmutador centralizado.
- (c) Jerarquía de dos niveles.



(a)



(b)



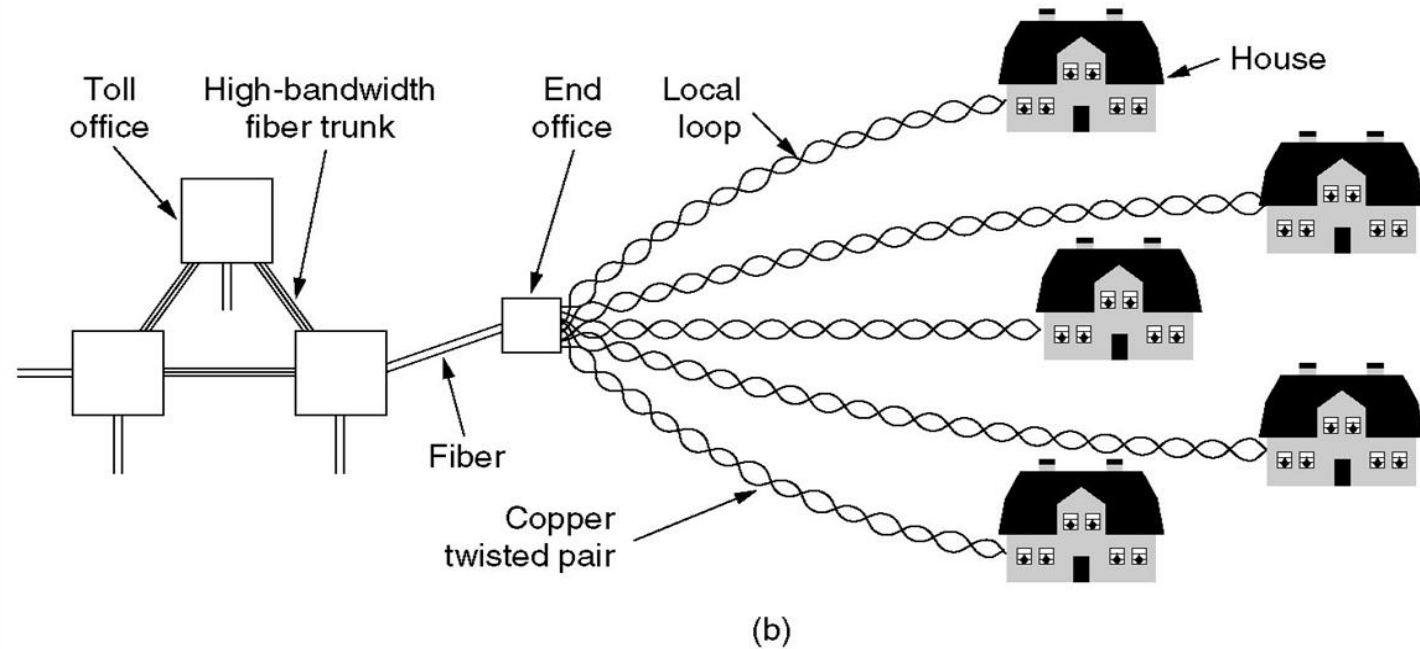
(c)

- 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.



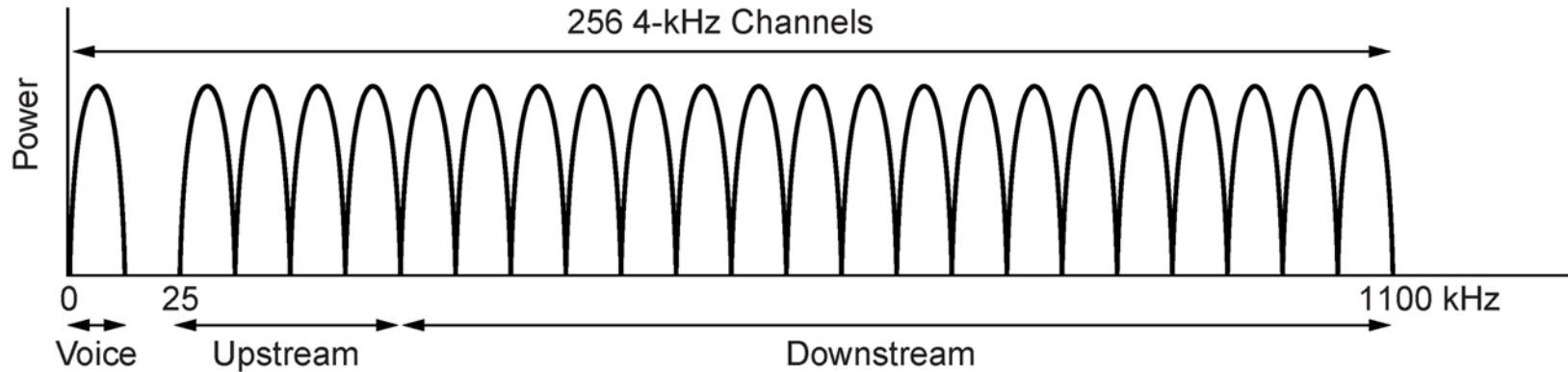
# La red de telefonía pública conmutada

- Vemos ahora **cómo se puede usar** la red de telefonía pública conmutada **para enviar datos de una computadora a otra**.
- Para enviar datos digitales de una PC sobre una línea analógica de acceso telefónico, es necesario convertir los datos a formato analógico.
  - **Módem telefónico**: hace esa conversión.
- Los datos se convierten a formato digital en la oficina central de la compañía telefónica para transmitirlos sobre las troncales.
  - **Codec**: es el dispositivo que hace esa conversión.
  - En el extremo receptor (del otro lado del troncal) el stream de bits es usado para reconstruir los datos analógicos.
- Para las troncales de largo alcance, la principal consideración es cómo reunir múltiples señales y enviarlas juntas por la misma fibra óptica.
  - Se usa **multiplexado**.

# 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).

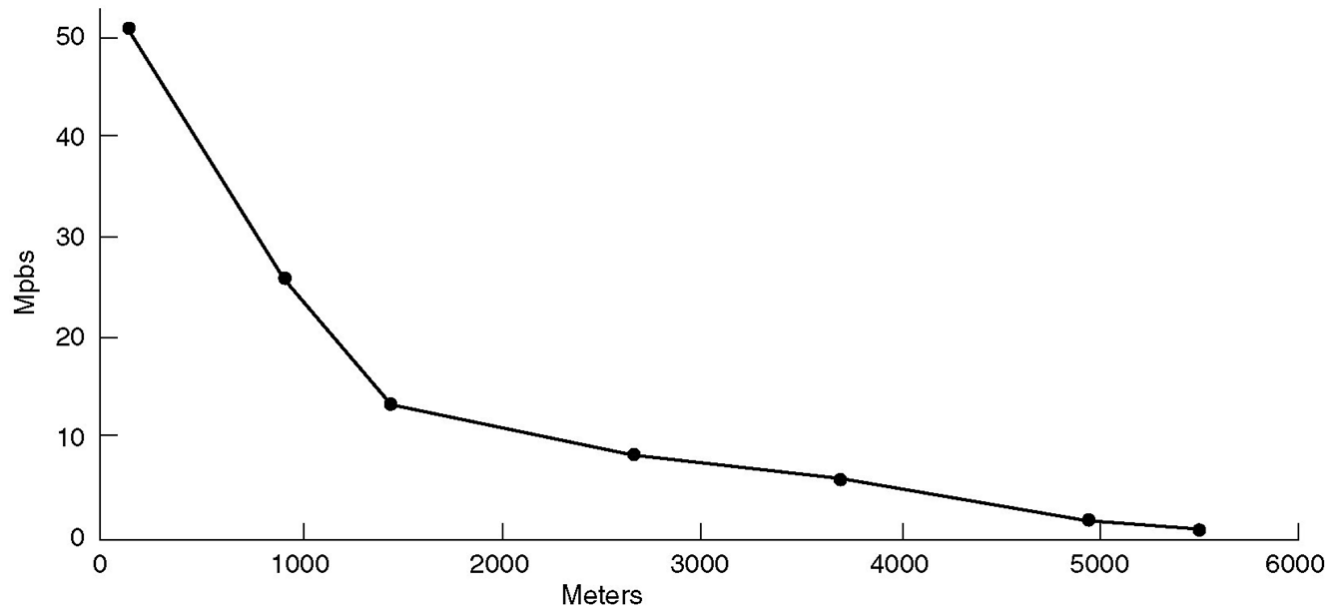
# ADSL

- 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

- Con 224 canales descendentes y 15 bits por baudio a 4000 baud, la velocidad del flujo descendente es de 13,44 Mbps.
  - 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



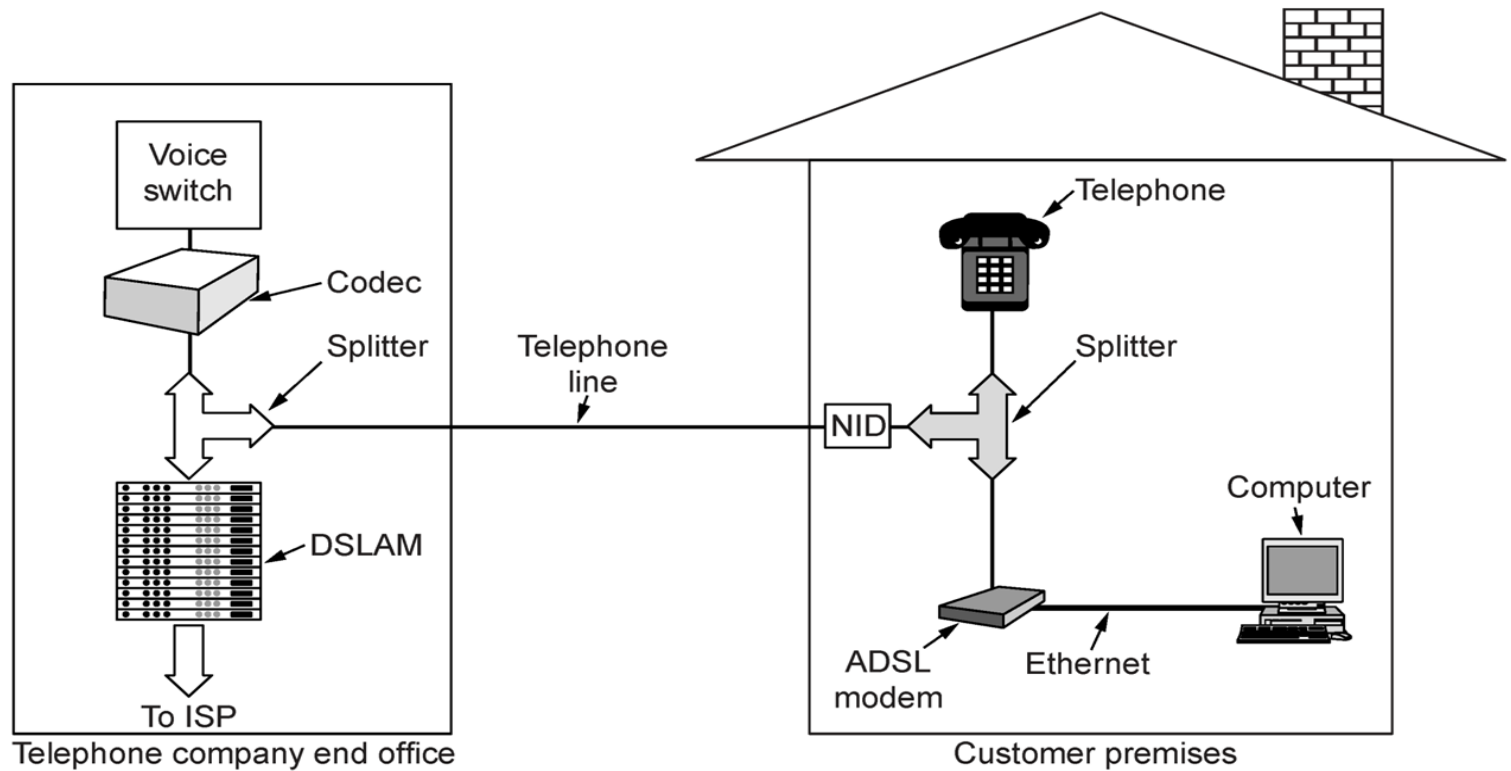
- Gráfica del ancho de banda potencial como una función de la distancia (Figura de arriba, se usan cables de cobre).
  - Se da por sentado que todos los demás factores son óptimos (cables nuevos, haces moderados de cables, etc.).
  - **Implicaciones de figura.**
    - Entre más baja sea la velocidad 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 para hacer/recibir llamadas telefónicas y usar la internet al mismo tiempo?



# ADSL



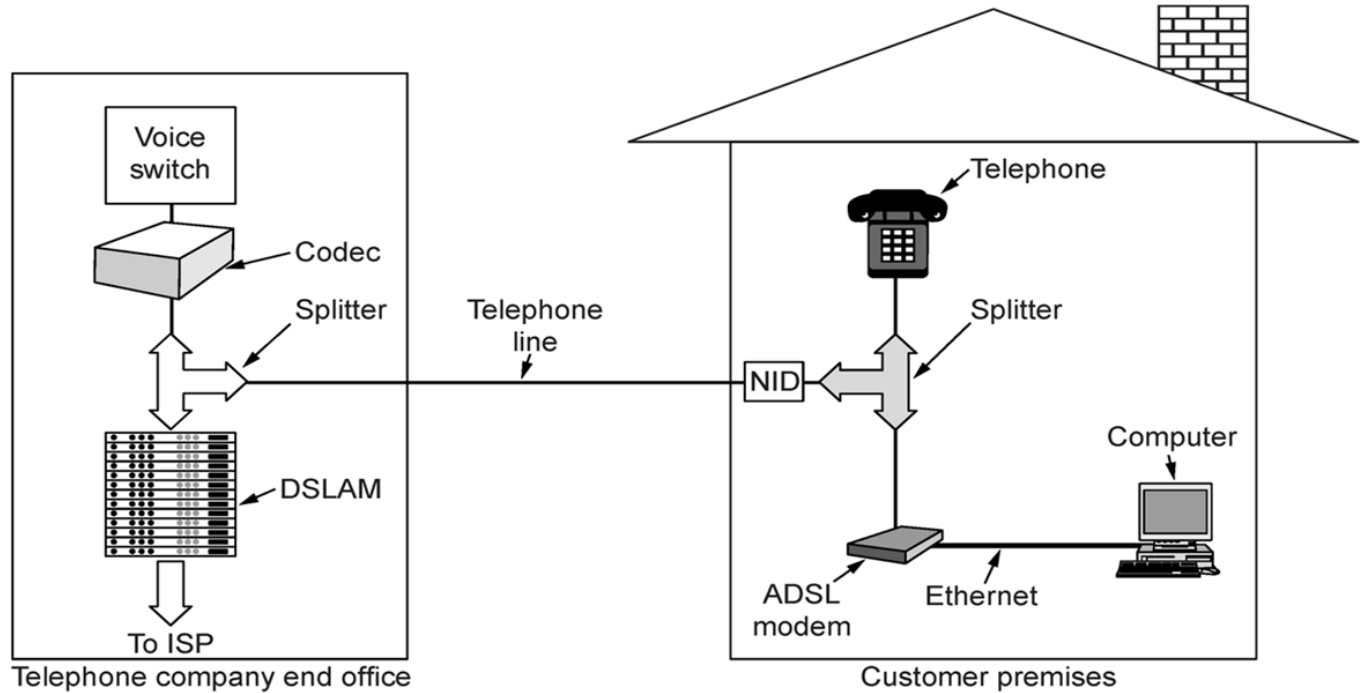
A typical ADSL equipment configuration.

- **Solución:** 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?

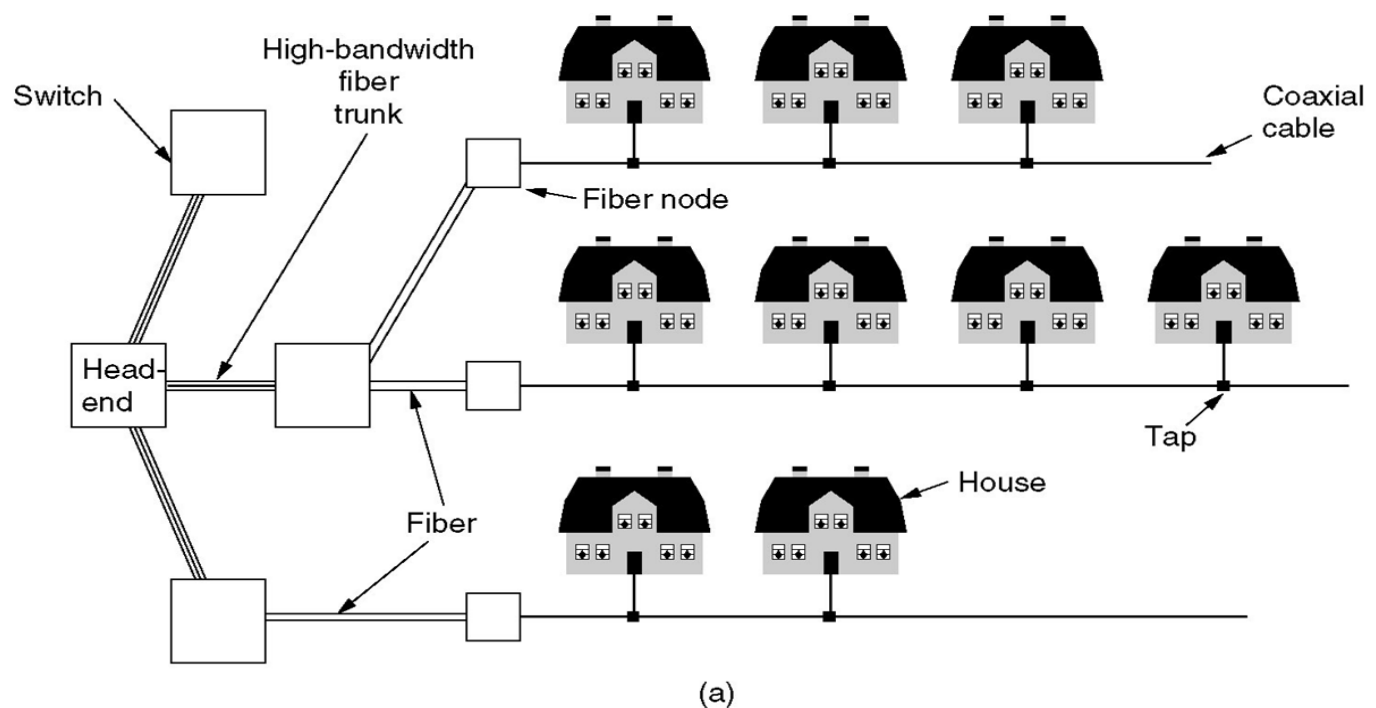
# ADSL



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.

# Internet por cable



- Estudiamos la arquitectura de los sistemas de internet por cable.
- Hay segmentos de cable coaxial, a cada uno de ellos se conectan varias casas.
- Sistema **HFC** (**red híbrida de fibra óptica y cable coaxial**).
  - Los convertidores electroópticos se llaman **nodos de fibra**.
  - Como el ancho de banda de la fibra es mucho mayor que el del cable coaxial, un nodo de fibra puede alimentar múltiples cables coaxiales
  - **Modem-head end** antes de nodo de fibra.

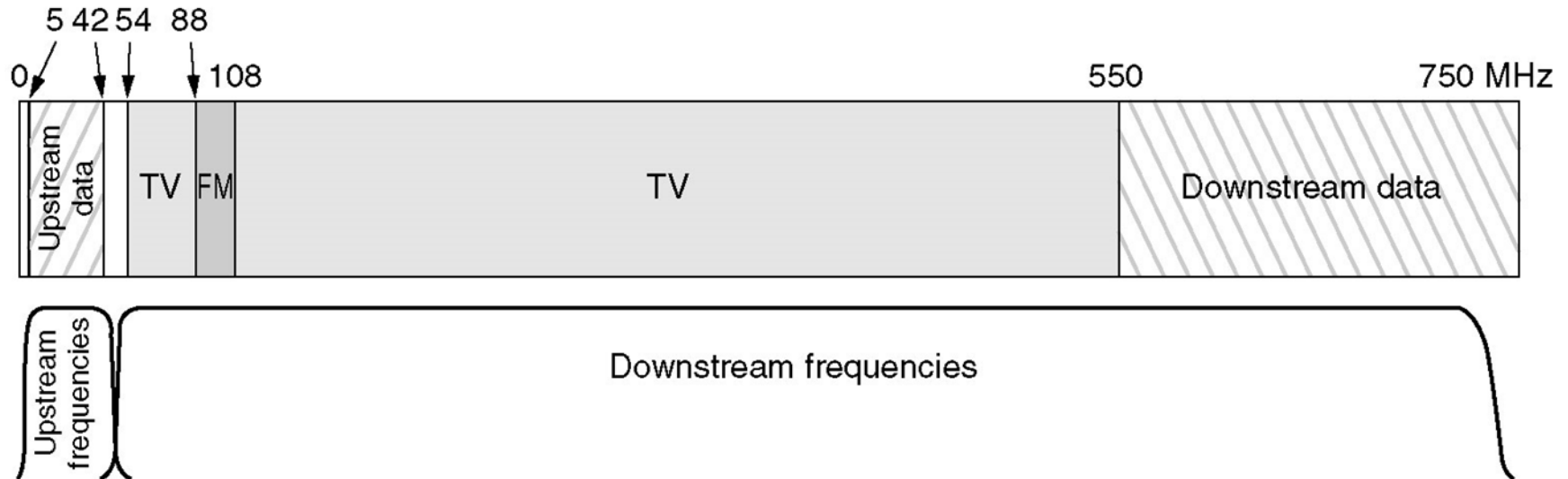
# Internet por cable

- **Problema:** cuando en los vecindarios muchas casas comparten un solo cable.
  - La velocidad de transmisión es baja si todas las casas están usando la internet en forma continua.
  - ¿Cómo resolver esta situación?
- **Solución:** dividir los cables largos y conectarlos directamente al nodo de fibra.
  - El ancho de banda que el **modem head end** proporciona a cada nodo de fibra es grandísimo;
    - 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.

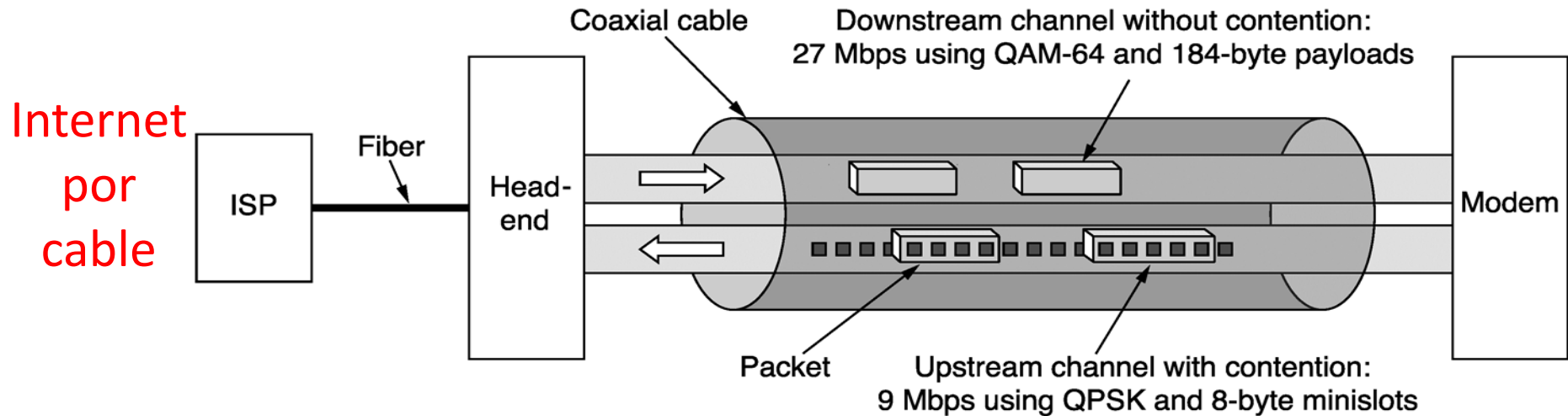
# Internet por cable

- **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.



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**.
  - Para el flujo descendente cada canal descendente de 6 MHz se lo modula con:
    - **QAM-64** (casi 36 Mbps de la cual se aprovecha 27 Mbps de carga útil), o
    - si la calidad del cable es muy buena, QAM-256 (carga útil de 39 Mbps).
  - Para el flujo ascendente se varía de QPSK o QAM-128..



# Internet por cable

- **Propósito:** Comprender cómo se hace multiplexado en un cable coaxial
- El uso de canales para flujo descendiente de 6 MHz o de 8 MHz es la parte **FDM**.
- **TDM** se usa para compartir ancho de banda en el flujo ascendente entre varios suscriptores.
  - El tiempo se divide en **miniranuras** y diferentes suscriptores envían en las diferentes miniranuras.
  - Varios módem pueden compartir la misma miniranura, usando **CDMA** enviando simultáneamente, pero a una tasa reducida.