



## **REDES**

*Grados Ing. Informática / Ing. de Computadores / Ing. del Software*  
*Universidad Complutense de Madrid*

---

# **TEMA 2. La capa Física y Medios de Transmisión**

### **PROFESORES:**

Rafael Moreno Vozmediano  
Rubén Santiago Montero  
Juan Carlos Fabero Jiménez

# Datos y señales

- **Datos**

- Son las entidades de información que transmiten
  - Pueden ser analógicos o digitales
- Datos Analógicos
  - Toman valores continuos dentro de un intervalo.
  - Ejemplos: voz, vídeo, magnitudes físicas
- Datos Digitales
  - Son aquellos que toman valores discretos.
  - Ejemplos: texto, ficheros de ordenador, datos binarios en general

- **Señales**

- Codificación eléctrica o electromagnética de los datos a transmitir, que hacen posible la propagación a través de un medio de transmisión.
  - Pueden ser analógicas o digitales
- Señales Analógicas
  - Ondas electromagnéticas que varían de forma continua dentro de un rango de valores
  - Ejemplos: Línea telefónica analógica, señales de radio y TV, etc
- Señales Digitales
  - Secuencias de pulsos eléctricos o electromagnéticos discretos y discontinuos (voltaje o luz)
  - Ejemplos: Señales binarias, por ejemplo, un 1 se representa mediante un voltaje positivo y un 0 mediante un voltaje negativo.

# Datos y señales

- **Combinaciones posibles de datos y señales**

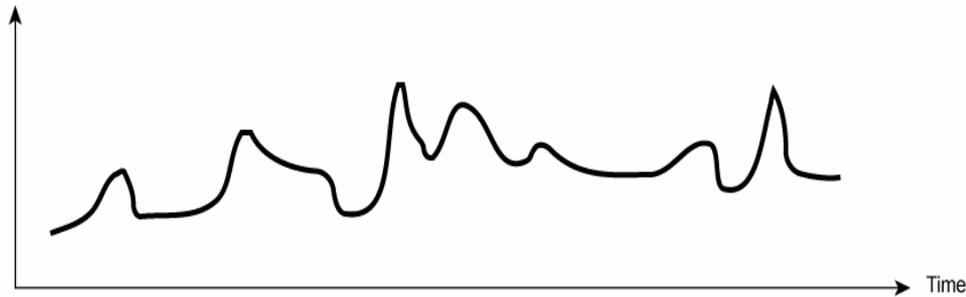
- Datos analógicos mediante señales analógicas
  - Ejemplo: telefonía analógica, radio y TV analógicas
  - En determinados casos es necesario usar técnicas de modulación de los datos en señales portadoras de distinta frecuencia (ej. AM ó FM)
- Datos analógicos mediante señales digitales
  - Ejemplos: radio y TV digital, voz sobre IP, transmisión de audio/video por Internet
  - Es necesario convertir los datos analógicos a señales digitales mediante técnicas de digitalización (ej. PCM)
- Datos digitales mediante señales analógicas
  - Ejemplos: conexión por módem y ADSL
  - Es necesaria convertir los datos digitales a señales analógicas mediante técnicas de modulación (ej. ASK, PSK, QPSK, QAM, etc.)
- Datos digitales mediante señales digitales
  - Ejemplos: redes de área local (Ethernet)
  - En general se pueden utilizar distintas técnicas de codificación digital (NRZ, NRZ-I, bipolar, manchester, etc.)

En este curso sólo se estudiarán las técnicas de transmisión de **datos digitales** mediante **señales analógicas** y **señales digitales**

# Tipos de señales

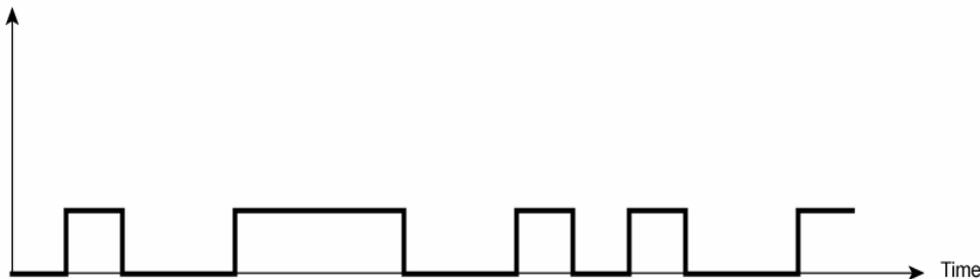
- **Señal continua o analógica**

- Su intensidad varía suavemente a lo largo del tiempo y no presenta saltos ni discontinuidades



- **Señal discreta o digital**

- La intensidad sólo toma determinados valores constantes a lo largo del tiempo



# Tipos de señales: Señales Analógicas (1)

- **Señales periódicas**

- Es una función que repite un mismo patrón en un **periodo** de tiempo

$$S(t+T) = S(t), \text{ donde } T \text{ es el periodo}$$

- La función periódica más **simple** es la onda sinusoidal

$$S(t) = A \text{ sen}(2\pi ft + \Phi)$$

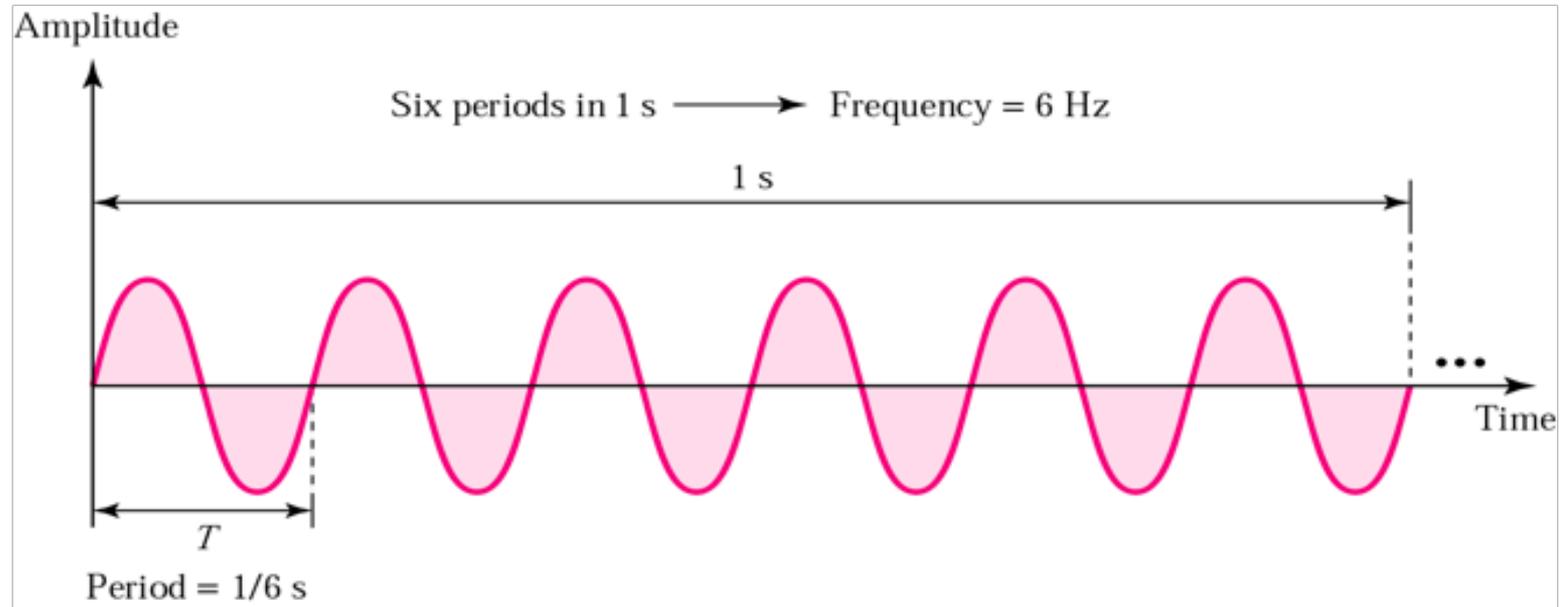
- $A \rightarrow$  amplitud

- $f \rightarrow$  frecuencia

- $\Phi \rightarrow$  fase

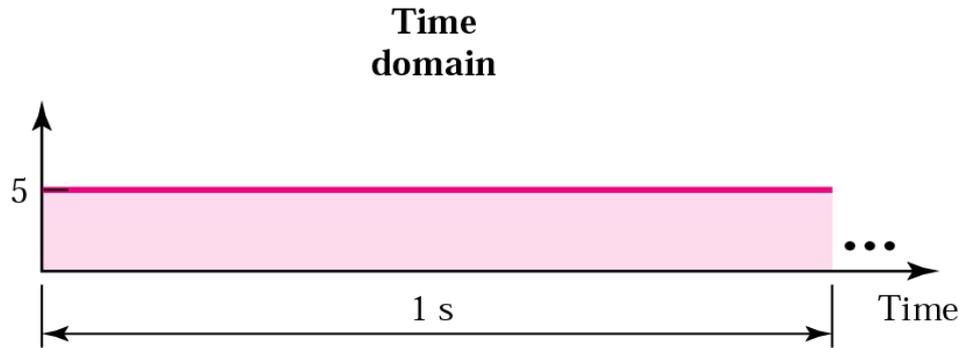
- $T=1/f \rightarrow$  periodo

- Las señales periódicas **compuestas** son combinaciones de ondas seno.

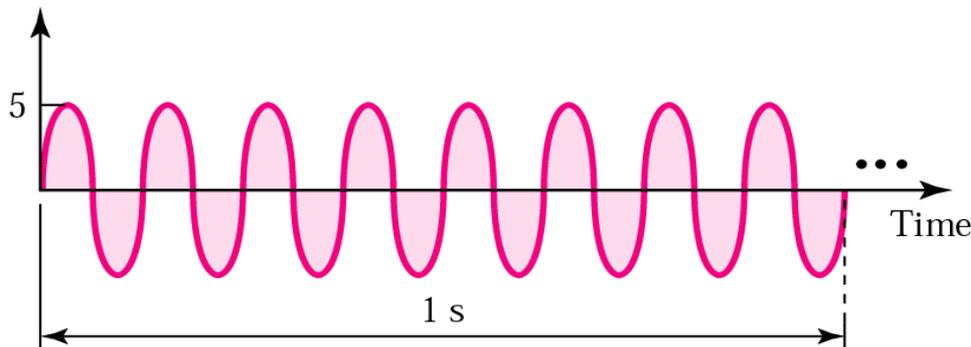
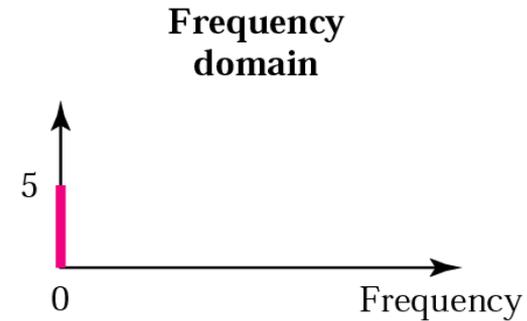


# Tipos de señales: Señales Analógicas (2)

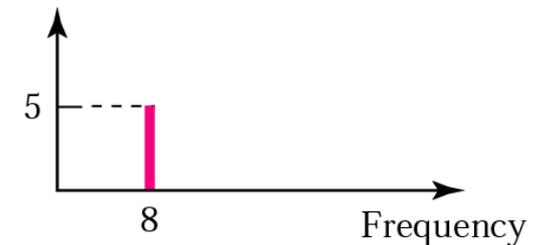
- **El dominio en el tiempo y el dominio en frecuencia**
  - Una onda seno se caracteriza por:  $A$ ,  $f$  y  $\Phi$
  - La representación de la amplitud ( $A$ ) como  $f(t)$  es el dominio en el tiempo
  - La representación de la amplitud ( $A$ ) como  $f(f)$  es el dominio en frecuencia



a. A signal with frequency 0



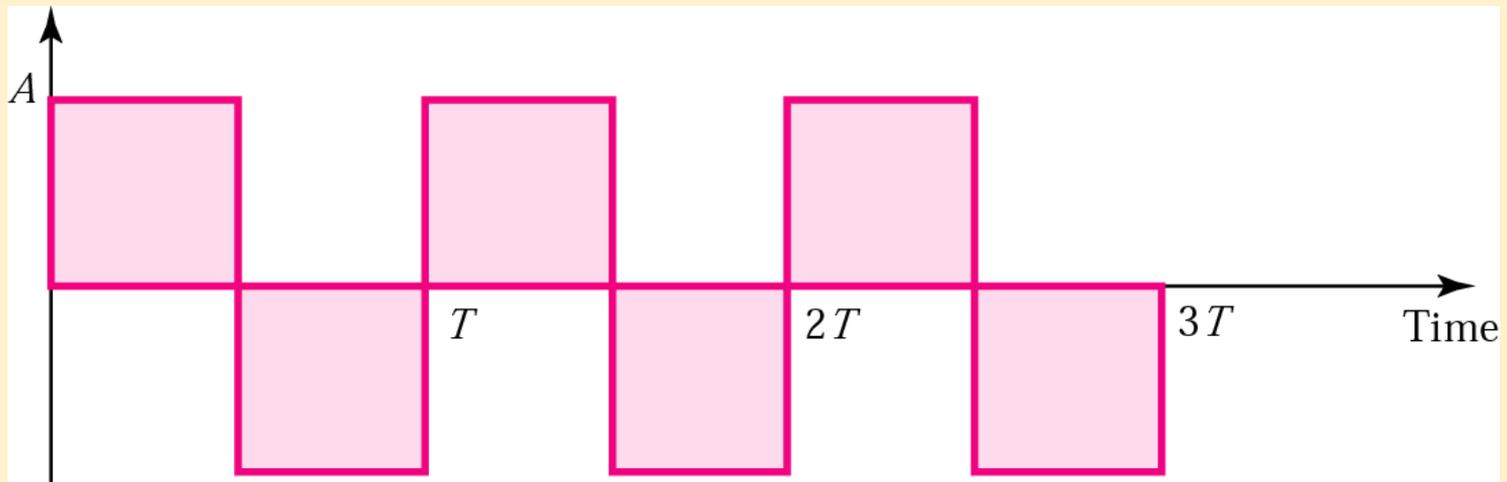
b. A signal with frequency 8



# Tipos de señales: Señales Analógicas (3)

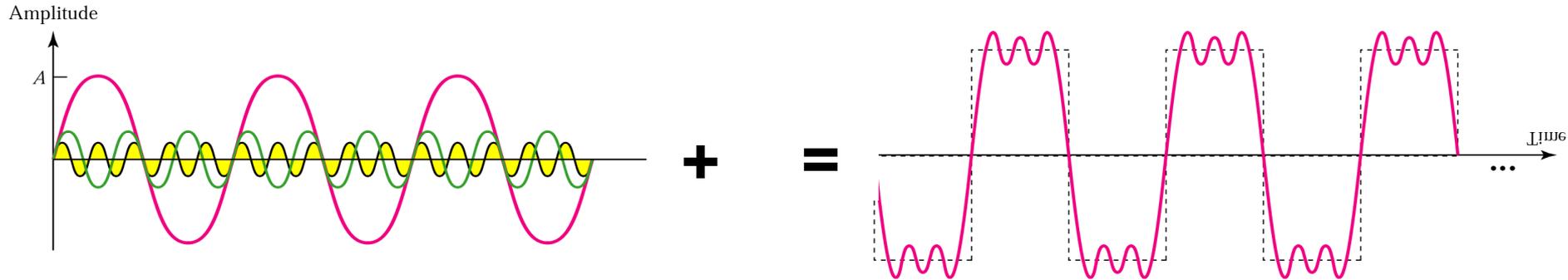
- **El dominio en el tiempo y el dominio en frecuencia**
  - **Descomposición de Fourier:** Una señal periódica se puede descomponer en una suma (infinita) de funciones senoidales con diferentes  $A$ ,  $f$  y  $\Phi$
  - Las **señales periódicas** se pueden descomponer en ondas seno de frecuencias discretas y múltiplos de la frecuencia fundamental ( $f$ ,  $2f$ ,  $3f$ ,...)
  - Las **señales no-periódicas** se pueden descomponer en ondas seno de frecuencias continuas.

**Ejemplo:** Representación de la onda cuadrada

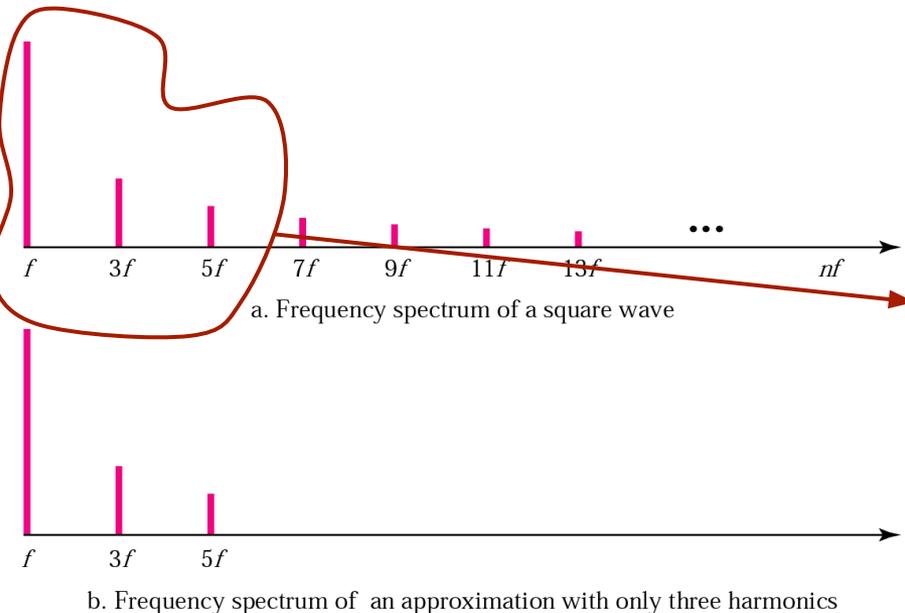


# Tipos de señales: Señales Analógicas (4)

- **Dominio en el Tiempo:** Representación de 3 componentes (armónicos)



- **Dominio en Frecuencia:** Representación de las componentes



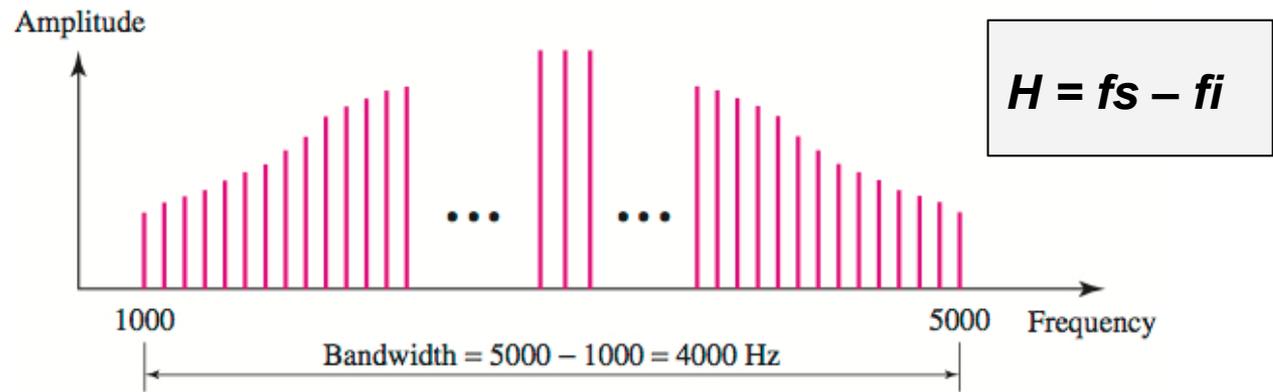
- Las componentes (armónicos) de mayor amplitud son suficientes
- No es necesario representar **todas** las componentes
- No es necesario usar todo el rango de frecuencias ( $f$ ,  $3f$ ,  $5f$ )

# Tipos de señales: Señales Analógicas (5)

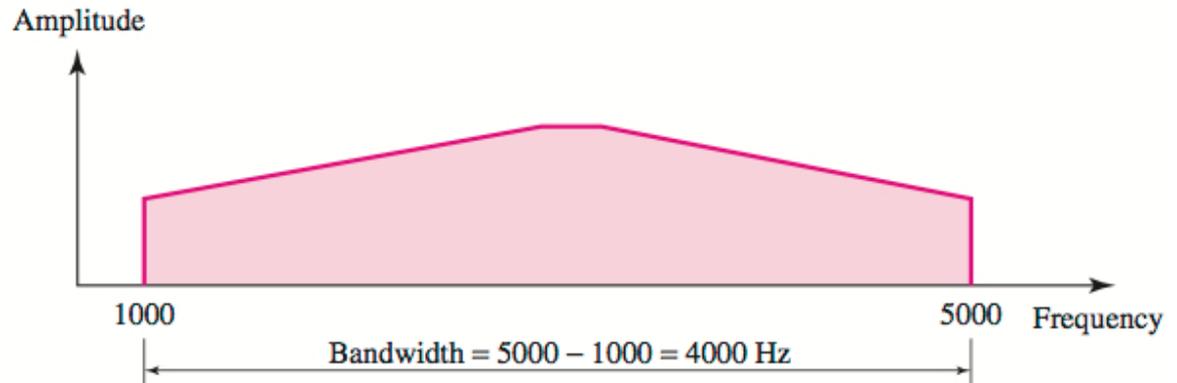
- **Ancho de Banda**

- Rango de frecuencias *significativas* de la señal que un medio debe transmitir para una distancia determinada sin atenuación.
- Normalmente la diferencia entre las frecuencias mayor y menor
- Cualquier señal con una frecuencia fuera del rango sufrirá una fuerte atenuación en el medio de transmisión y no alcanzará su destino.

Ancho de banda de una señal periódica



Ancho de banda de una señal aperiódica



# Tipos de señales: Señales Analógicas (7)

## Ejemplo

Queremos transmitir una señal binaria cuadrada (10101010...) a una velocidad de 2 Mbps (frecuencia  $f=1$  MHz)

- Para que la señal sea reconocible en el destino, queremos que se transmitan, al menos, los tres primeros armónicos.
- El medio de transmisión debe tener
  - Una frecuencia de corte inferior  $f_i \leq f = 1\text{MHz}$
  - Una frecuencia de corte superior  $f_s \geq 5f = 5\text{MHz}$
- Necesitamos un ancho de banda  $H = f_s - f_i = 4\text{ MHz}$  como mínimo

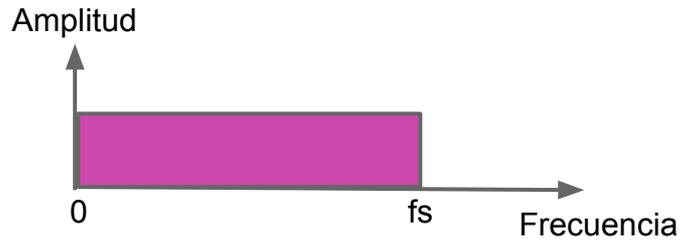
## • Conclusión

- A mayor velocidad de transmisión, mayor es el ancho de banda necesario en el medio de transmisión
- A mayor ancho de banda del medio, mayor es la velocidad de transmisión que se puede alcanzar
- Ancho de banda y velocidad de transmisión son parámetros directamente proporcionales y se tratan como términos sinónimos

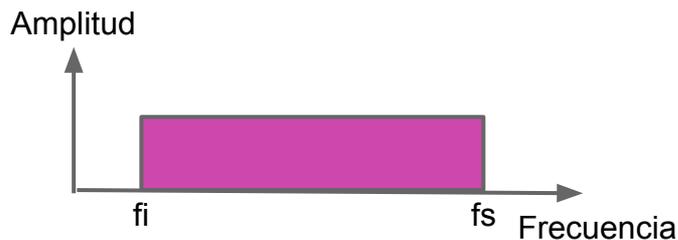
# Tipos de señales: Señales Analógicas (6)

## Canales de transmisión y ancho de banda

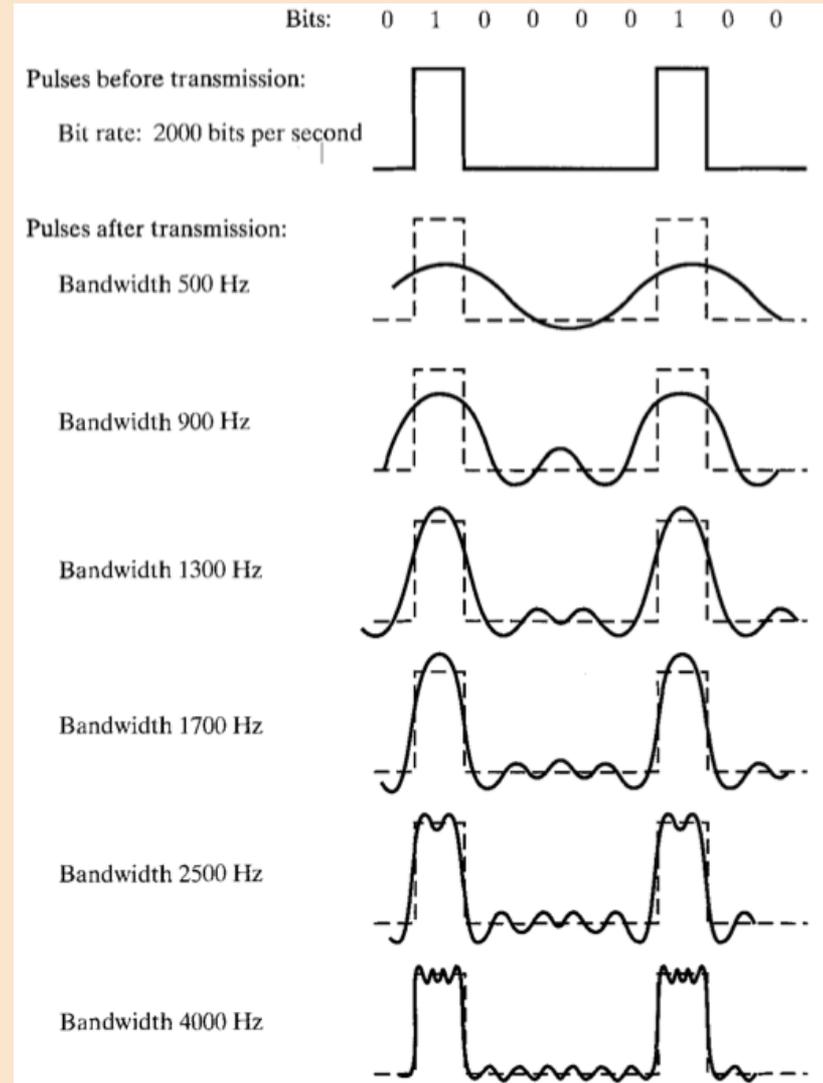
- Canal paso-baja
  - La frecuencia inferior es  $f_i=0$
  - Transmite las frecuencias  $f \leq f_s$



- Canal paso-banda
  - La frecuencia inferior es  $f_i > 0$
  - Transmite las frecuencias  $f_i \leq f \leq f_s$



## Ejemplo

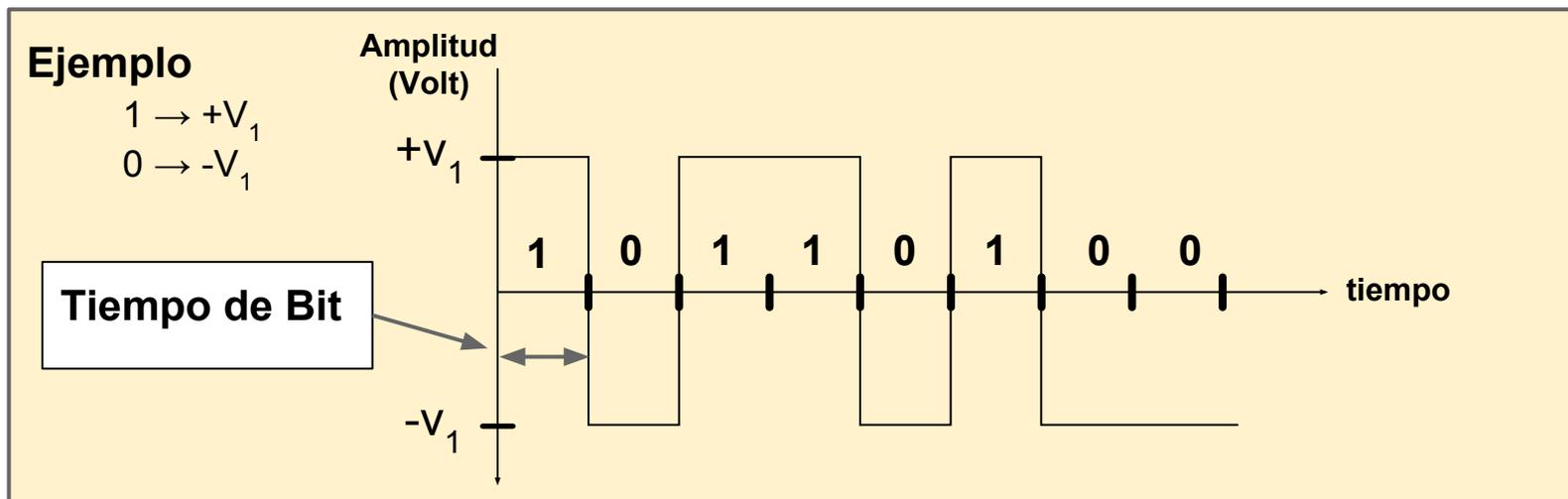


# Tipos de señales: Señales Digitales (1)

- En general las señales digitales no son periódicas. Periodo y frecuencia no son características relevantes.
- **Tasa de Bits (bps)**
  - Número de bits enviados por segundo

*Tasa bits = Elementos de señal por segundo \* bits por elemento de señal*

  - **baudios:** El número elementos de señal en un segundo
  - **bits por baudio:** Función del número de elementos diferentes ( $N = \log_2 V \text{ bits}$ )
- **Ejemplo:** Transmisión monobit
  - $V = 2$  elementos de señal (p. ej. 2 niveles eléctricos)
  - $N = 1$  bit por elemento de señal (1 bit por baudio)

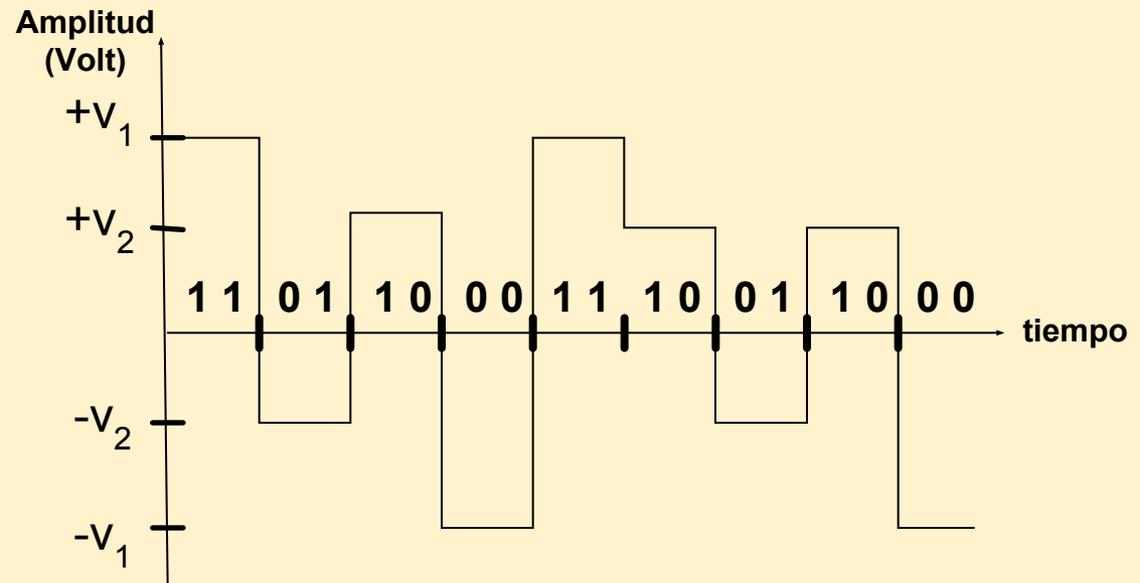


# Tipos de señales: Señales Digitales

- **Ejemplo:** Transmisión dibit
  - $V = 4$  elementos de señal (p. ej. 4 niveles eléctricos)
  - $N = 2$  bits por elemento de señal (2 bits por baudio)

## Ejemplo

11  $\rightarrow +V_1$   
10  $\rightarrow +V_2$   
01  $\rightarrow -V_2$   
00  $\rightarrow -V_1$



# Tipos de señales: Señales Digitales

## Ejemplo

- Supongamos un canal de 1200 baudios  
¿Cuál es la velocidad de transmisión (en bps) para  $V= 2, 4, 8, 16, 32, 64$  y  $128$  elementos de señal distintos?

Nº de elementos de señal (V)	Nº de bits por elemento de señal (N)	Capacidad en Baudios (B)	Velocidad de transmisión (NxB)
2	1	1200 baud	<b>1200 bps</b>
4	2	1200 baud	<b>2400 bps</b>
8	3	1200 baud	<b>3600 bps</b>
16	4	1200 baud	<b>4800 bps</b>
32	5	1200 baud	<b>6000 bps</b>
64	6	1200 baud	<b>7200 bps</b>
128	7	1200 baud	<b>8400 bps</b>

# Perturbaciones de la señal (1)

---

- **El problema de las perturbaciones**

- En cualquier medio de transmisión real, la señal que se recibe nunca es exactamente igual a la señal transmitida, debido a las perturbaciones que sufre la señal durante su transmisión.

- **Tipos de perturbaciones**

- Atenuación
- Distorsión
- Ruidos

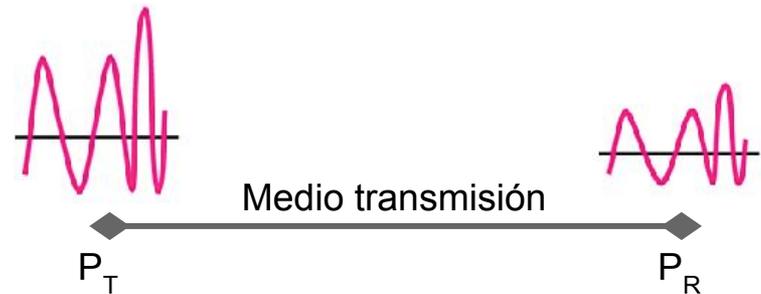
# Perturbaciones de la señal: Atenuación

- La energía de la señal decae con la distancia recorrida en el canal de transmisión
  - Para que el receptor pueda detectar e interpretar correctamente la señal recibida, ésta debe tener suficiente energía
  - La limitación en el ancho de banda de un canal viene causada por la elevada atenuación que sufren las frecuencias fuera del rango de las frecuencias de corte del canal
- La atenuación se expresa en decibelios (dB)

$$\text{Atenuación}_{\text{dB}} = 10 \cdot \log(P_R/P_T)$$

$P_T$  = Potencia de señal transmitida

$P_R$  = Potencia de señal recibida (atenuada)



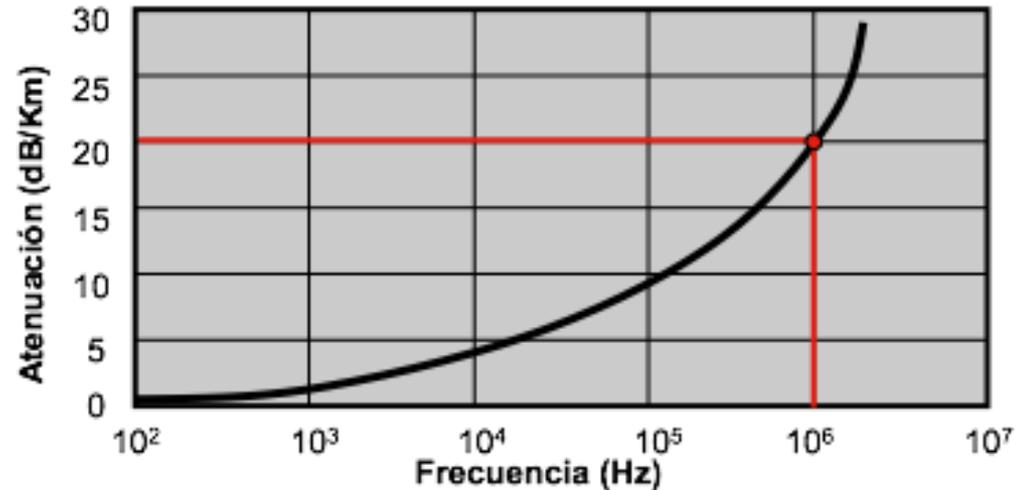
**Ejemplo:** Supongamos una señal que viaja por un medio de transmisión y su potencia se reduce a la mitad, es decir,  $P_R = 0,5 P_T$

$$\text{Atenuación}_{\text{dB}} = 10 \cdot \log(P_R/P_T) = 10 \cdot \log(0,5) = 10 \cdot (-0,3) = -3 \text{ dB}$$

# Perturbaciones de la señal: Atenuación

- La atenuación es una función de:
  - La distancia
  - La frecuencia

Atenuación de un medio de transmisión



**Ejemplo:** Señal de 1 MHz  $\rightarrow$  Atenuación = 20 dB/Km

Distancia	Atenuación	Relación $P_R/P_T$
100 m	-2dB	$10 \cdot \log(P_R/P_T) = -2 \rightarrow P_R/P_T = 0,6 \rightarrow P_R = 60\% P_T$
500 m	-10dB	$10 \cdot \log(P_R/P_T) = -10 \rightarrow P_R/P_T = 0,1 \rightarrow P_R = 10\% P_T$
1 Km	-20dB	$10 \cdot \log(P_R/P_T) = -20 \rightarrow P_R/P_T = 0,01 \rightarrow P_R = 1\% P_T$
2 Km	-40dB	$10 \cdot \log(P_R/P_T) = -40 \rightarrow P_R/P_T = 0,001 \rightarrow P_R = 0,01\% P_T$

# Perturbaciones de la señal: Ruidos

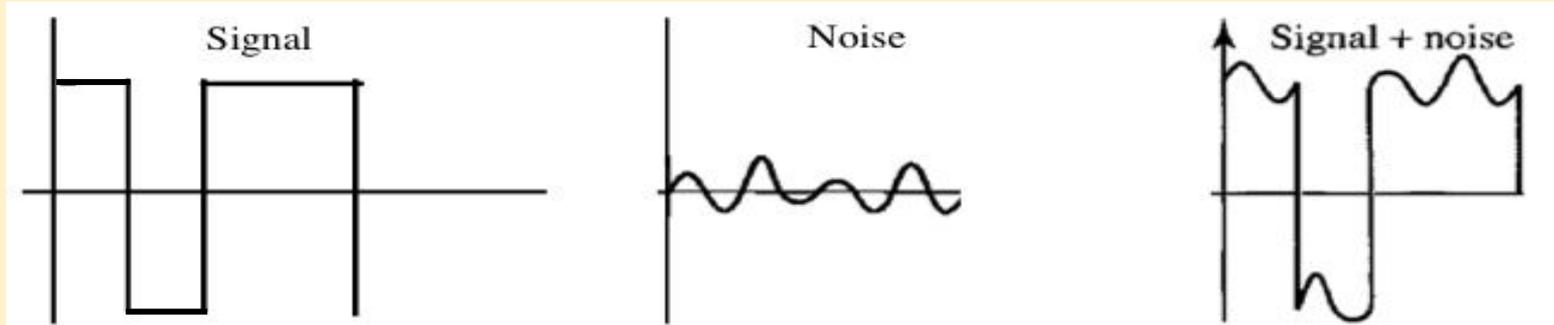
- Todos los medios de transmisión están sujetos a ciertos tipos de ruidos.
- Los tipos de ruido más comunes son:
  - **Ruido térmico o ruido blanco:** se debe a la agitación de los electrones dentro del conductor.
  - **Diafonía:** se debe al acoplamiento entre líneas o señales cercanas
  - **Ruido o impulsivo o electromagnético:** se genera por perturbaciones electromagnéticas exteriores (tormentas, líneas de alta tensión, fallos en el sistema de comunicación, etc.)
- **Relación señal/ruido (SNR, Signal/Noise Ratio)**
  - Se define como la relación entre la potencia de la señal (S) y la potencia del ruido (N) en un punto determinado del canal de transmisión.
  - Cuanto mayor es el valor de SNR, mayor será la calidad de la señal recibida.
  - SNR se mide en decibelios

$$NR_{dB} = 10 \cdot \log (S/N)$$

S

# Perturbaciones de la señal: Ruidos

## Ejemplo 1: Relación señal/ruido alta



Potencia media de la señal:  $S=60$  mWatt

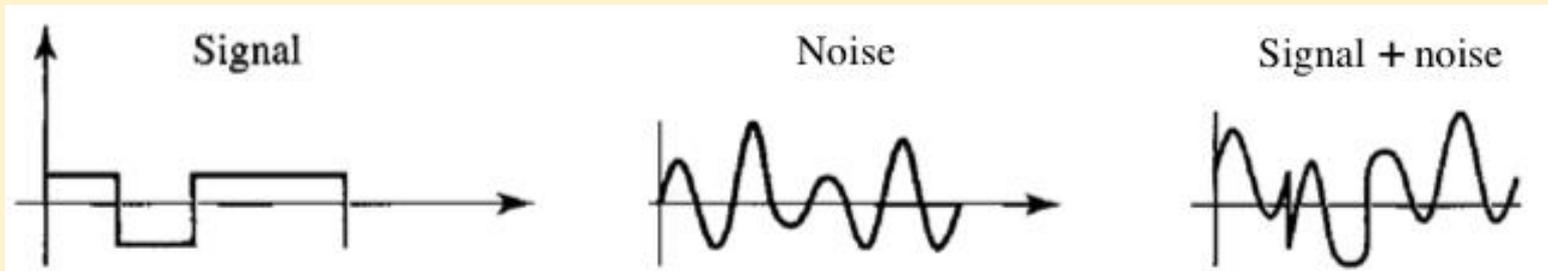
Potencia media del ruido:  $N=5$  mWatt



$$S/N = 60 \cdot 10^{-3} / 5 \cdot 10^{-3} = 12$$

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \cdot \log(S/N) = 10 \cdot \log(12) = 10.8 \text{ dB}$$

## Ejemplo 2: Relación señal/ruido baja



Potencia media de la señal:  $S=6$  mWatt

Potencia media del ruido:  $N=5$  mWatt



$$S/N = 6 \cdot 10^{-3} / 5 \cdot 10^{-3} = 1.2$$

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \cdot \log(S/N) = 10 \cdot \log(1.2) = 0.8 \text{ dB}$$

# Capacidad de transmisión del canal (1)

- **Capacidad de un canal ideal: Teorema de Nyquist**

- Relación entre ancho de banda y velocidad de transmisión en un canal ideal (sin ruido)

$$C = 2 \cdot H \cdot \log_2 V$$

Siendo

H el ancho de banda del canal

V el nº de elementos de señal distintos.

## Ejemplo

- Canal telefónico ideal:  $H=3000$  Hz
- La velocidad de transmisión alcanzable será
  - $V = 2$  elementos de señal (monobit)  $\rightarrow C = 2 \cdot 3000 \cdot \log_2(2) = 6000$  bps
  - $V = 4$  elementos de señal (dibit)  $\rightarrow C = 2 \cdot 3000 \cdot \log_2(4) = 12000$  bps
  - $V = 8$  elementos de señal (tribit)  $\rightarrow C = 2 \cdot 3000 \cdot \log_2(8) = 18000$  bps
  - $V = 16$  elementos de señal (cuatribit)  $\rightarrow C = 2 \cdot 3000 \cdot \log_2(16) = 24000$  bps
  - .....

# Capacidad de transmisión del canal (2)

- **Capacidad de un canal real: Teorema de Shanon**

- Relación entre ancho de banda y velocidad de transmisión en un canal real (con ruido)

$$C = H \cdot \log_2(1 + S/N)$$

Siendo

H = ancho de banda del canal

S/N = relación señal-ruido del canal

- Como vemos esta expresión no depende del número de elementos de señal utilizados, sino que representa la máxima velocidad absoluta alcanzable por un canal de transmisión real.

## Ejemplo

- Sea un canal telefónico real con

$$H = 3000 \text{ Hz}$$

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 30 \text{ dB} \rightarrow S/N = 1000$$

- La máxima velocidad teórica de transmisión alcanzable será de

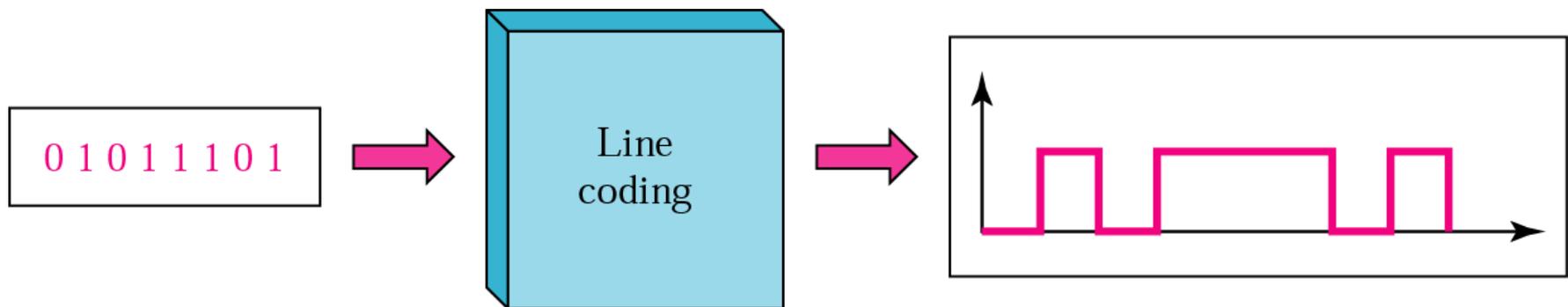
$$C_{\text{Shanon}} = 3000 \cdot \log_2(1 + S/N) = 29901 \text{ bps}$$

- Aplicando el teorema de Nyquist, este resultado limita el máximo  $n^\circ$  de elementos de señal, que será de 16 y la velocidad máxima real será

$$C_{\text{Nyquist}} = 2 \cdot 3000 \cdot \log_2(16) = 24000 \text{ bps}$$

# Transmisión Digital

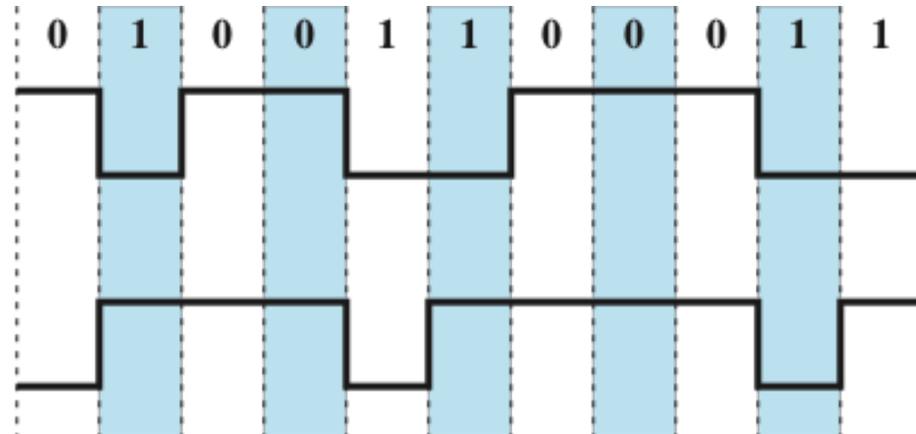
- **Transmisión en banda base:** Envío de datos digitales usando señales digitales.
- Tipos básicos de conversión digital-a-digital
  - **Codificación en línea**, convierte una secuencia de bits en una señal digital
  - **Codificación en bloque**, convierte bloques de m bits en n bits
- Tipos de codificación en línea
  - polar
  - bi-polar
  - Codificación multinivel: 2BIQ, 8B6T, 4D-PAM5
- En general los esquemas de codificación pretenden:
  - Auto-sincronización
  - Ajustar el perfil en frecuencia de la señal al medio
  - Reducir el ancho de banda necesario



# Transmisión Digital (1)

- **Codificación unipolar**

- Utiliza 2 niveles eléctricos
- **No retorno a cero de nivel (NRZ-L)**  
0 = nivel alto  
1 = nivel bajo
- **No retorno a cero invertido (NRZ-I)**  
0 = no hay transición al comienzo del intervalo (un bit cada vez)  
1 = transición al comienzo del intervalo



- **Propiedades**

- Fáciles de implementar
- Componente de continua (frecuencia 0 en el dominio en frecuencia)
- No tiene capacidad de sincronización.

# Transmisión Digital (2)

- **Codificación bipolar**

- Utiliza más de dos niveles eléctricos

- **Bipolar-AMI**

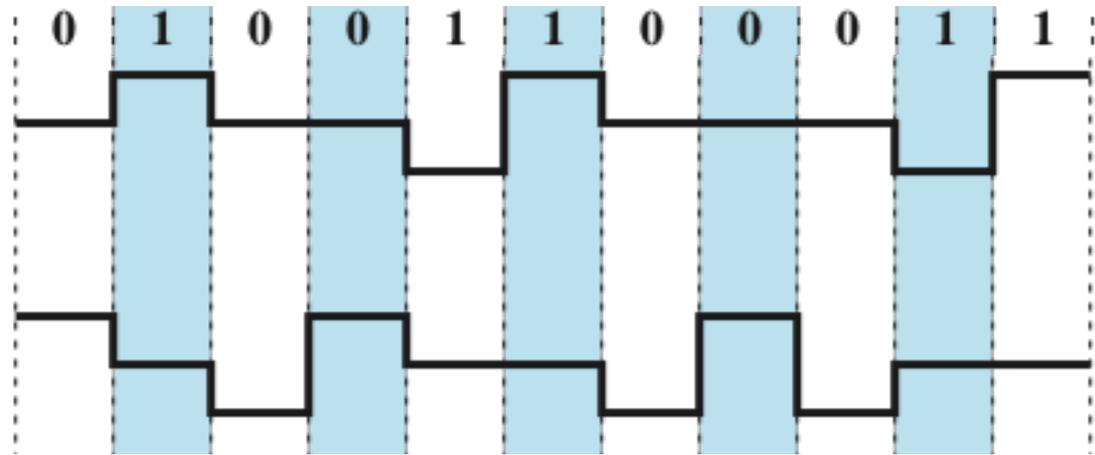
0 = no hay señal

1 = nivel positivo  
o negativo, alternante

- **Pseuroternaria**

0 = nivel positivo o  
negativo alternante

1 = no hay señal



- **Propiedades**

- No hay componente en continua
- Capacidad de sincronización parcial (transiciones en cadenas largas de 1's en AMI o cadenas largas de 0's en pseudo).
- Menos eficaz que NRZ (necesita más elementos de señal)

# Transmisión Digital (3)

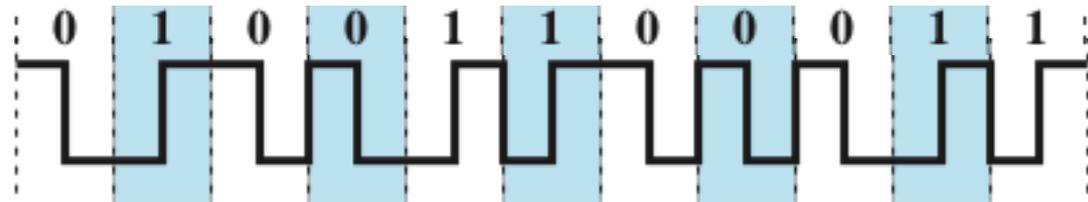
- **Codificación bifase**

- Combina la señal de reloj con los datos para permitir la sincronización entre emisor y receptor

- **Manchester**

0 = Nivel eléctrico alto,  
seguido de nivel bajo

1 = Nivel eléctrico alto,  
seguido de nivel bajo



Reloj = Transición en la mitad del intervalo de cada bit

- **Manchester diferencial**

0 = Presencia de transición  
al inicio del intervalo

1 = Ausencia de transición  
al inicio del intervalo



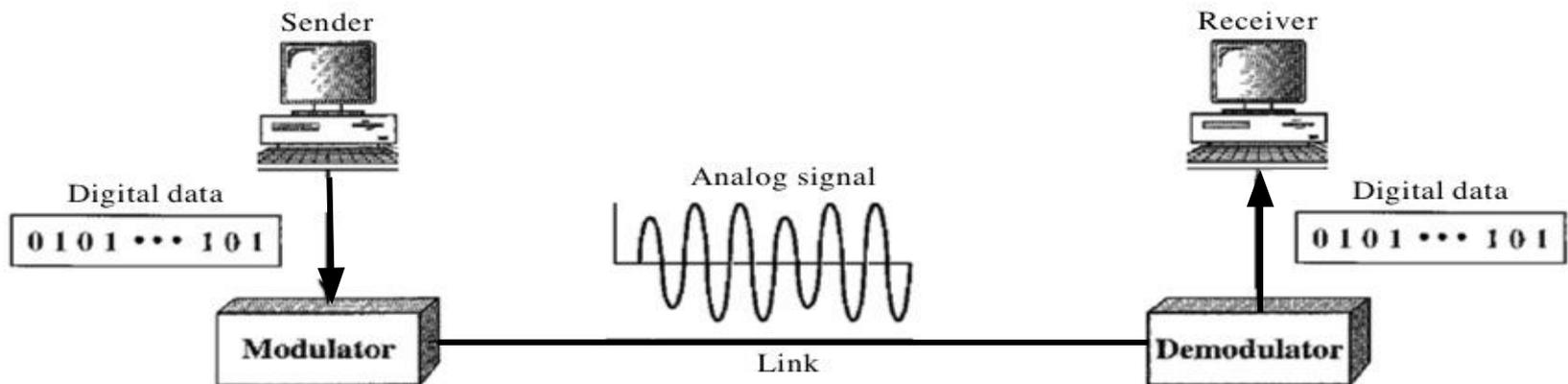
Reloj = Transición en la mitad del intervalo de cada bit

- **Propiedades**

- No hay componente en continua
- Sincronización perfecta

# Transmisión Analógica

- **Transmisión en banda ancha.** Cambia la señal digital en una señal analógica
- No necesita de un canal con frecuencias bajas
- **Técnicas**
  - **Modulación:** Conversión de datos digitales a una señal analógica
  - **Demodulación:** Conversión inversa
  - **Módems** (modulador/demodulador): Dispositivos que realizan la conversión de datos digitales a señales analógicas y viceversa



# Transmisión Analógica: Modulación (1)

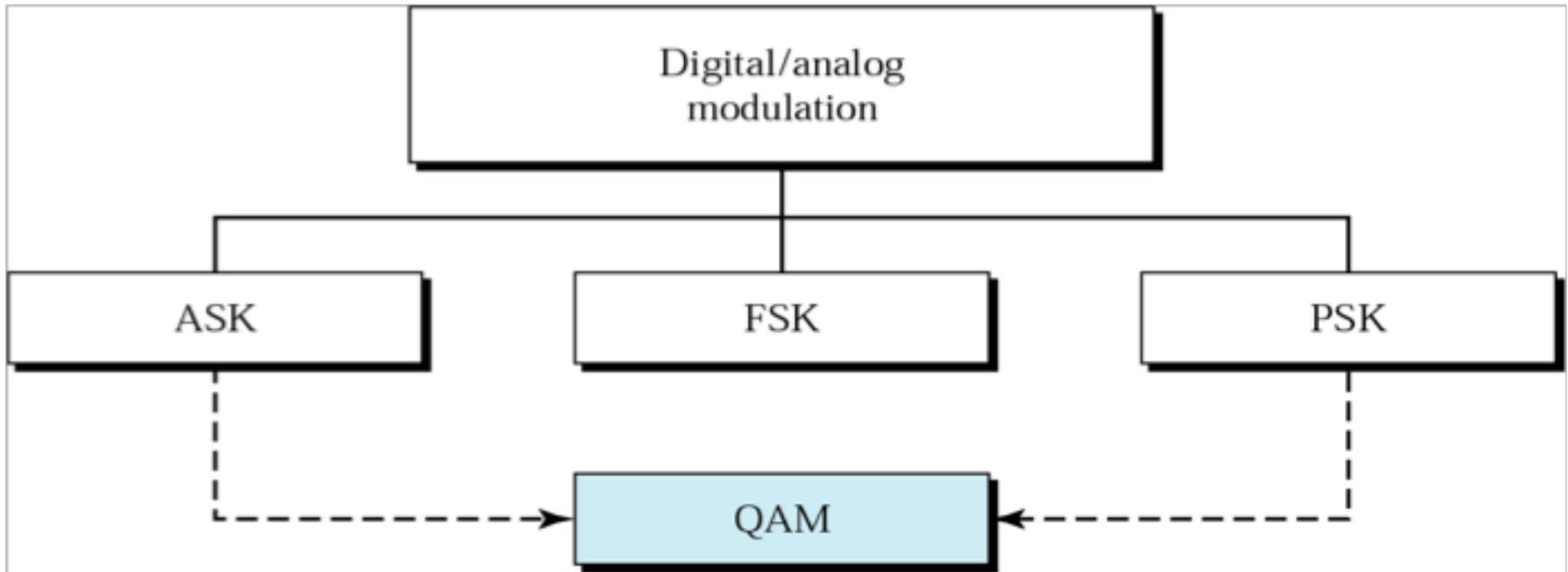
## Necesidad de la Modulación

- Rango de frecuencias de datos distinto al rango de frecuencias del medio
  - Los datos digitales poseen en general un gran número de componentes de frecuencia significativas (típicamente entre 0 y  $f$ )
  - En general, un medio de transmisión tiene un ancho de banda limitado (entre  $f_i$  y  $f_c$ )
  - Para evitar este problema, los datos digitales se pueden transformar (mediante técnicas de modulación) en señales analógicas con una frecuencia comprendida dentro del rango de frecuencias del medio.
- Multiplexación por división de la frecuencia en medios de transmisión de gran ancho de banda.
  - En lugar de utilizar este ancho de banda para transmitir un único flujo de datos digitales a gran velocidad, se puede dividir en varios subcanales para transmitir flujos de datos digitales de forma simultánea a una velocidad menor (multiplexación por división de frecuencia)
  - Para ello es necesario modular los datos digitales mediante señales analógicas de distinta frecuencia

# Transmisión Analógica: Modulación (2)

- **Principales técnicas de modulación**

- Modulación en amplitud (AM o ASK)
- Modulación en frecuencia (FM o FSK)
- Modulación de fase (PM o PSK)
- Modulación en cuadratura (QAM)

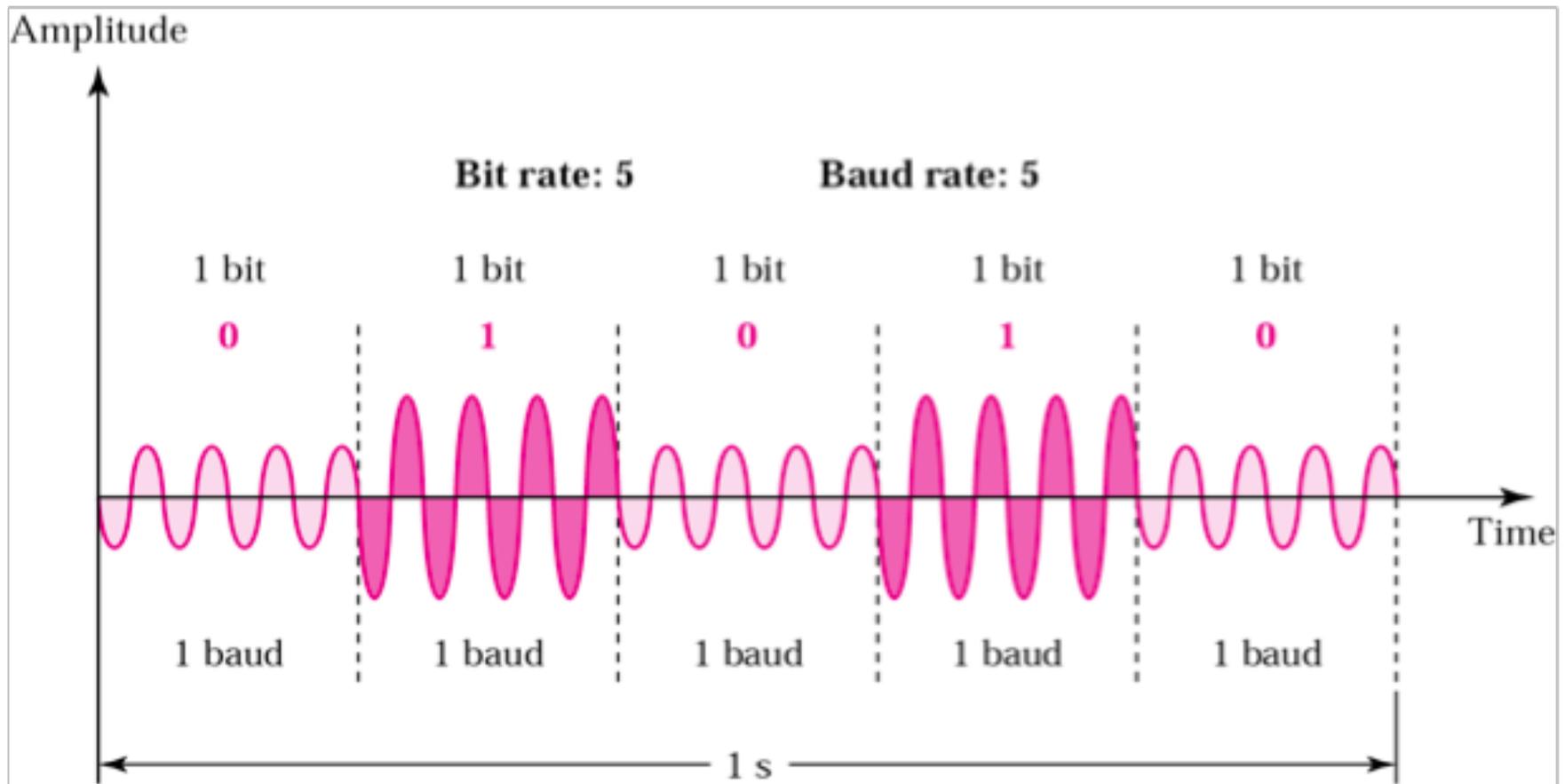


# Transmisión Analógica: Modulación (3)

- **Modulación en Amplitud (ASK, Amplitude Shift Keying)**
  - Utiliza una señal portadora con frecuencia y fase constante, pero dos niveles de amplitud distintos para representar el 1 y el 0 lógicos:

$$1 \rightarrow s(t) = A \sin(2\pi ft)$$

$$0 \rightarrow s(t) = B \sin(2\pi ft)$$

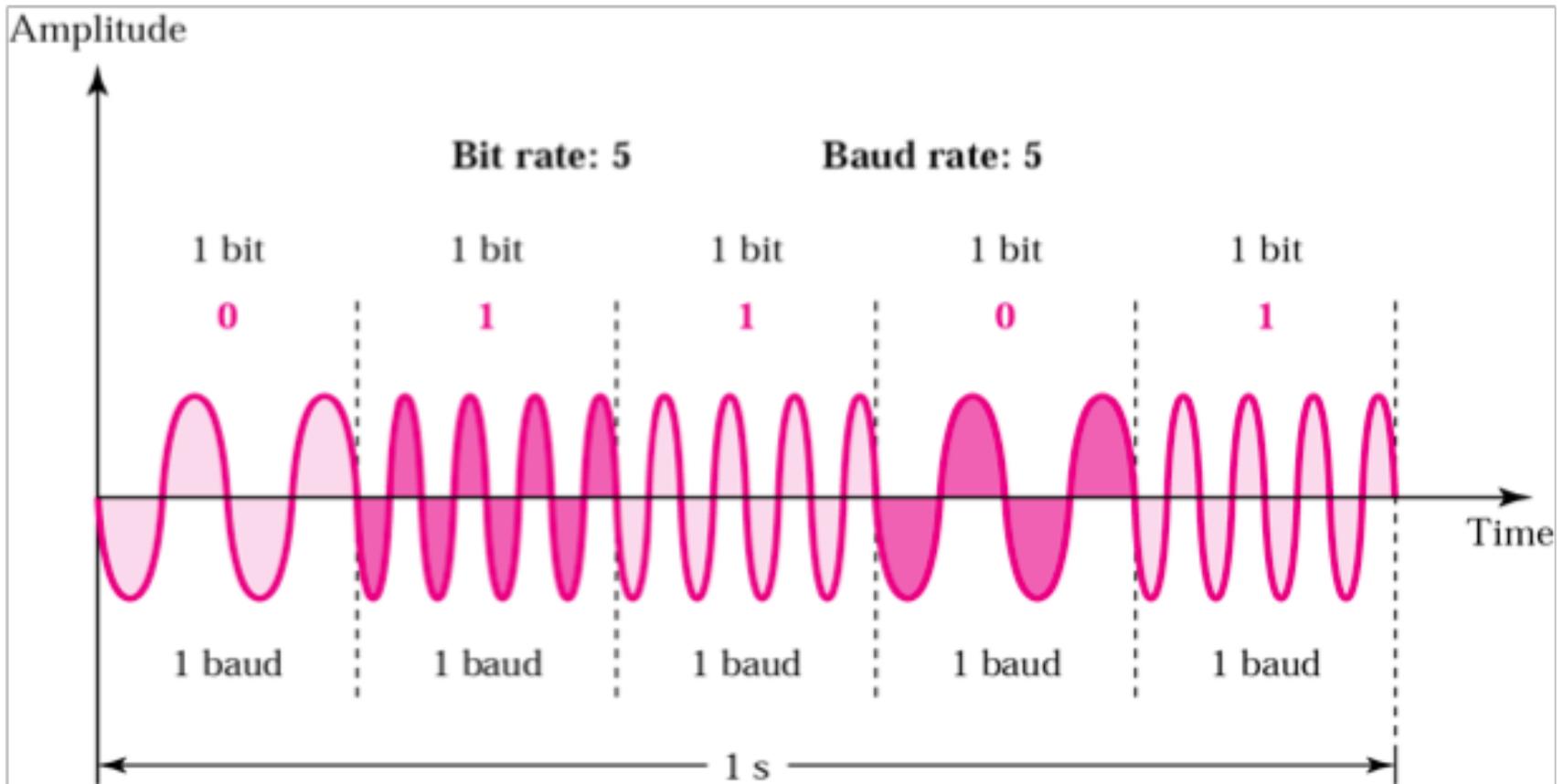


# Transmisión Analógica: Modulación (4)

- **Modulación en Frecuencia (FSK, Frequency Shift Keying)**
  - Utiliza una señal analógica portadora con amplitud y fase constantes, y con dos frecuencias distintas para representar el 1 y el 0 lógico:

$$1 \rightarrow s(t) = A \sin(2\pi f_1 t)$$

$$0 \rightarrow s(t) = A \sin(2\pi f_2 t)$$



# Transmisión Analógica: Modulación (6)

---

- **Modulación en Fase (PSK, Phase Shift Keying)**
  - Utiliza una señal analógica portadora que tiene amplitud y frecuencia constantes, pero varias fases distintas.
  - Existen distintas variantes, según el nº de fases utilizadas
    - 2-PSK o BPSK (PSK Binario): dos fases (1 bit por baudio)
    - 4-PSK o QPSK (PSK en cuadratura): cuatro fases (2 bits por baudio)
    - 8-PSK: 8 fases (3 bits por baudio)

# Transmisión Analógica: Modulación (7)

- **Modulación en Fase (cont.)**

- 2-PSK o BPSK (PSK Binario)

- Utiliza dos fases distintas para representar el 1 y el 0 lógicos, por ejemplo:

- $0 \rightarrow s(t) = A \sin(2\pi ft)$

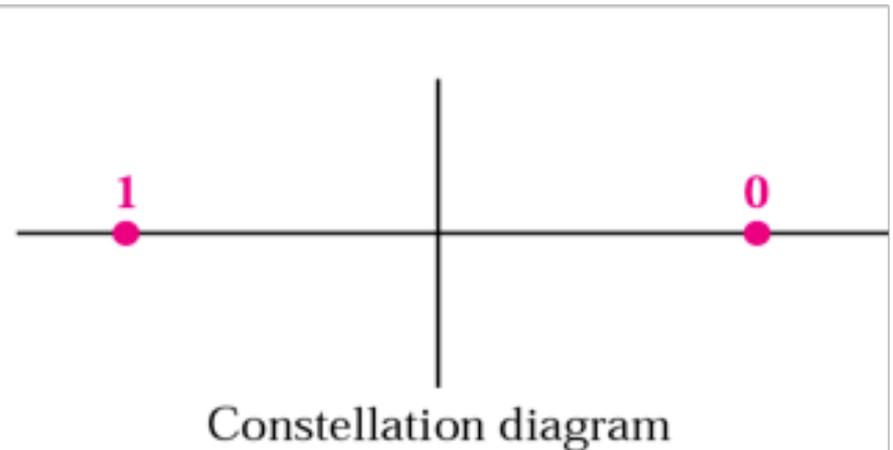
- $1 \rightarrow s(t) = A \sin(2\pi ft + \pi)$  \*

- (\* una fase de  $\pi$  radianes equivale a  $180^\circ$ )*

- Diagrama de constelación

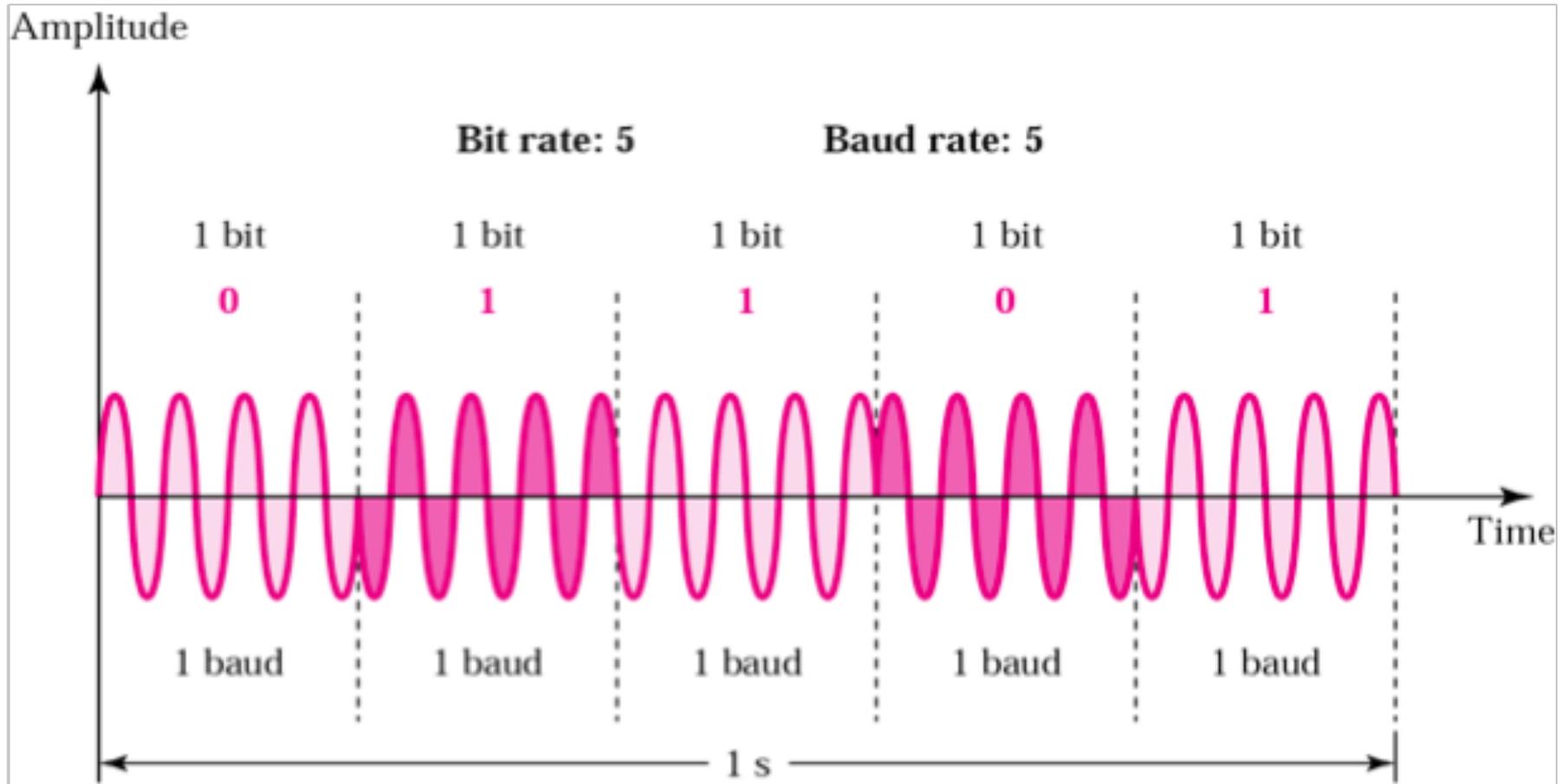
Bit	Phase
0	0
1	180

Bits



# Transmisión Analógica: Modulación (8)

- **Modulación en Fase (cont.)**
  - 2-PSK o BPSK (cont.)
    - La forma de onda resultante sería la siguiente:



# Transmisión Analógica: Modulación (9)

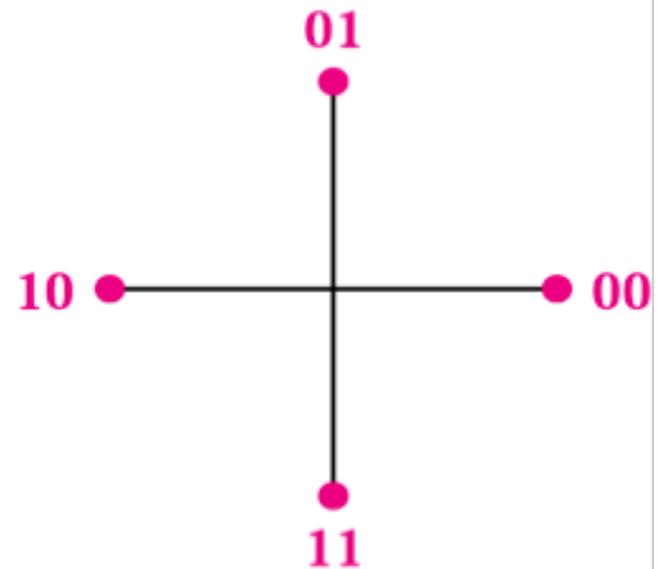
- **Modulación en Fase (cont.)**

- 4-PSK o QPSK (PSK en cuadratura)

- Similar a BPSK, pero usa cuatro fases distintas en lugar de dos.
    - Esto permite realizar una transmisión multinivel, con cuatro elementos de señal distintos, es decir, transmisión dibit (2 bits por baudio)
    - Por ejemplo:

Dibit	Phase
00	0
01	90
10	180
11	270

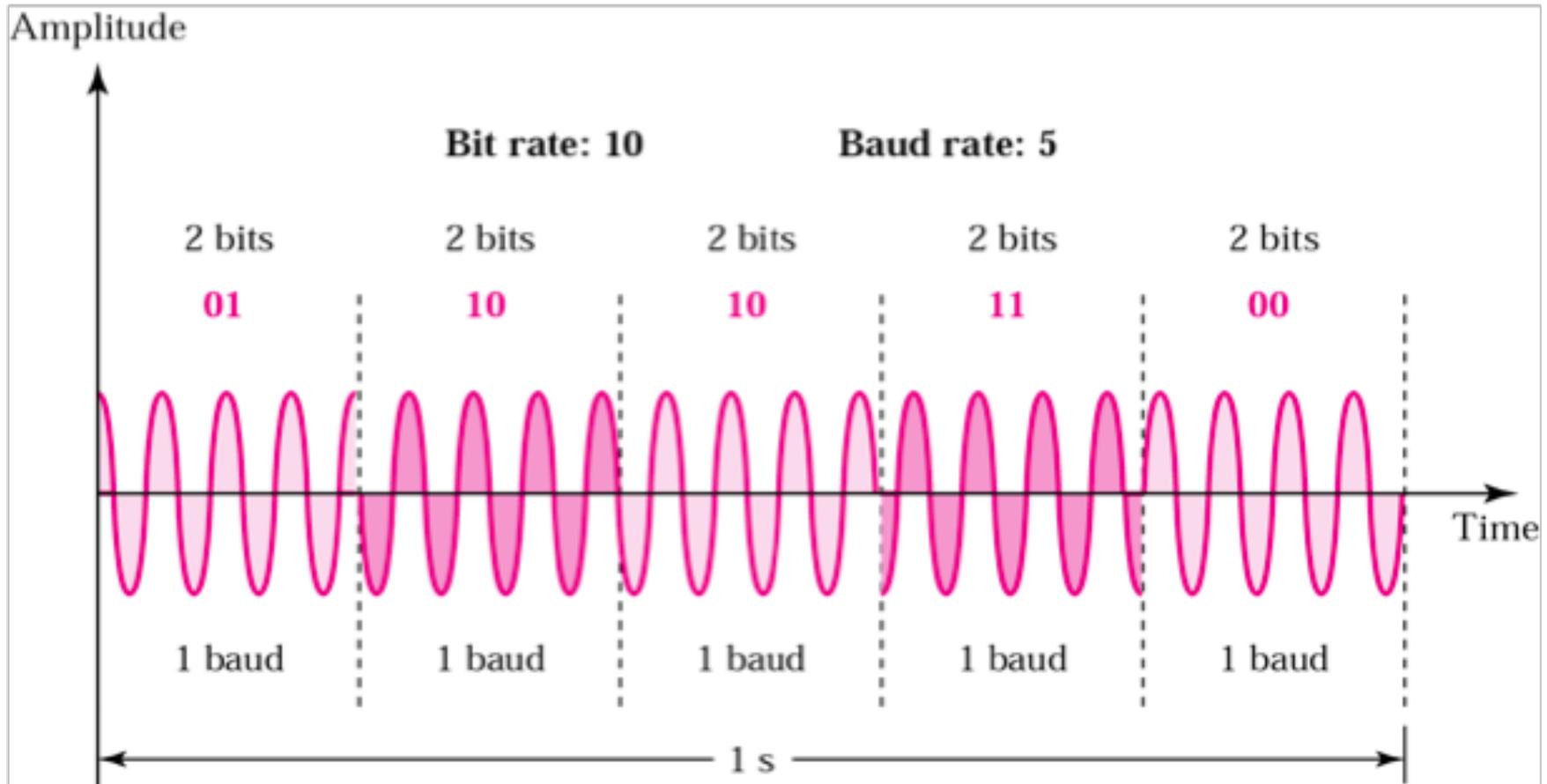
Dibit  
(2 bits)



Constellation diagram

# Transmisión Analógica: Modulación (10)

- **Modulación en Fase (cont.)**
  - 4-PSK o QPSK (cont.)
    - La forma de onda resultante sería la siguiente:



# Transmisión Analógica: Modulación (11)

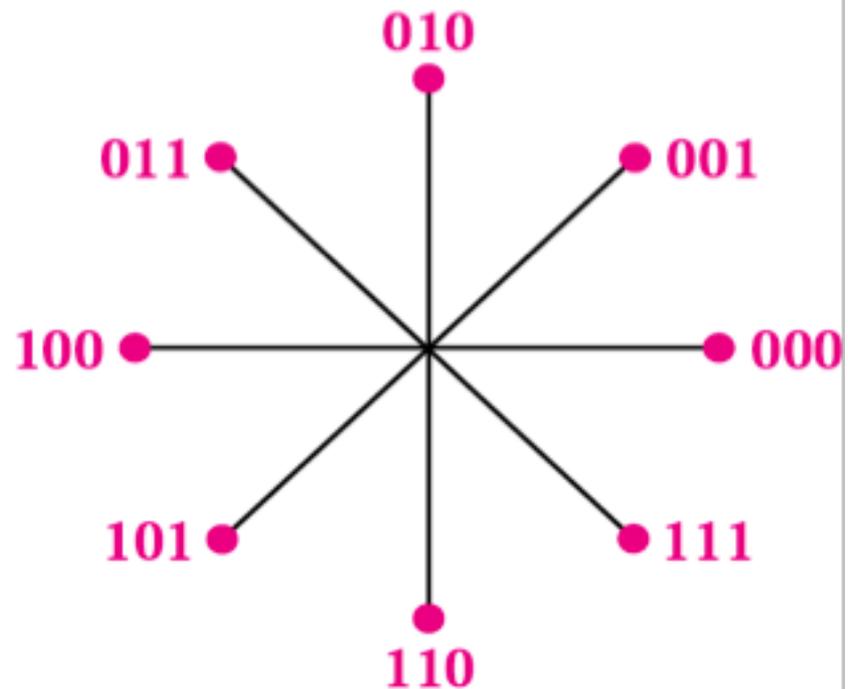
- **Modulación en Fase (cont.)**

- 8-PSK

- Similar a las anteriores pero usa ocho fases distintas.
    - Esto permite realizar una transmisión tribit (3 bits por baudio)
    - Por ejemplo:

Tribit	Phase
000	0
001	45
010	90
011	135
100	180
101	225
110	270
111	315

Tribits  
(3 bits)



Constellation diagram

# Transmisión Analógica: Modulación (13)

- **Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)**

- Es una combinación de PSK y ASK
  - Utiliza varias fases y amplitudes distintas para codificar un mayor número de bits por baudio
  - Ejemplos:
    - 8-QAM: 8 elementos de señal → 3 bits por baudio
    - 16-QAM: 16 elementos de señal → 4 bits por baudio
    - 32-QAM: 32 elementos de señal → 5 bits por baudio
    - etc.
  - Algunas técnicas QAM (por ejemplo, las usadas en ADSL), codifican hasta 15 bits por baudio

**Ejemplo:** El estándar V32 de modem para conexión telefónica usa una modulación 32QAM a una velocidad de 2400 baudios. ¿Cuál es el ancho de banda en bps si únicamente usa 4 de los 5 bits disponibles)

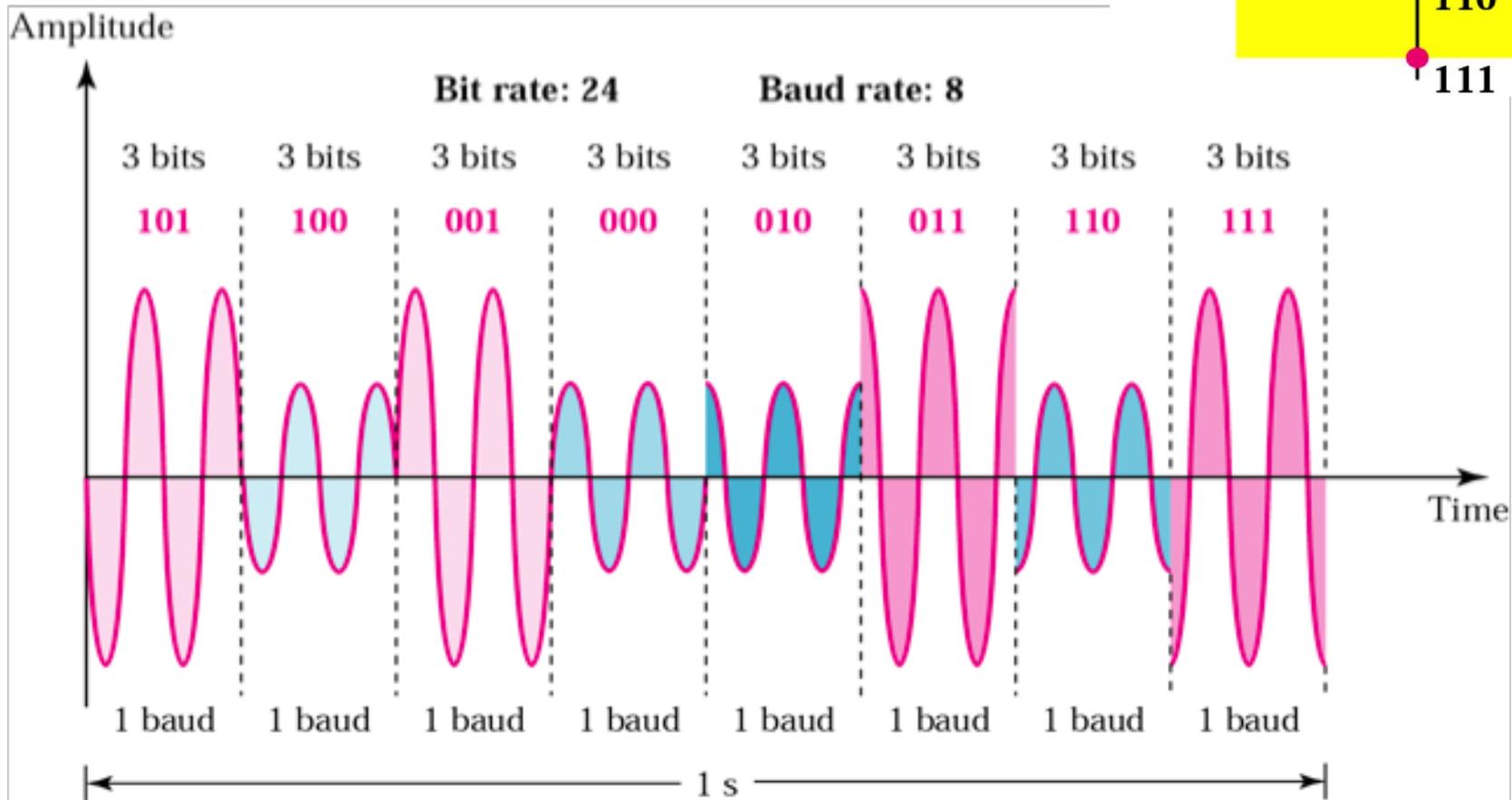
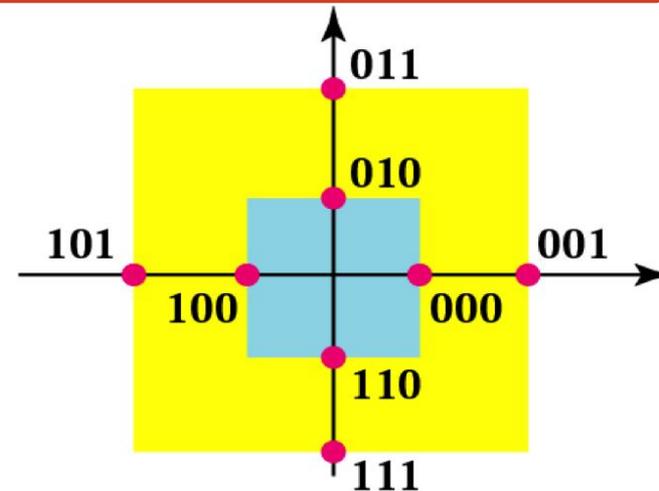
$$A = 2400 \text{ baudios} \times 4 \text{ bits/baudio} = 9600\text{bps}$$

# Transmisión Analógica: Modulación (14)

- **Modulación de amplitud en cuadratura (cont.)**

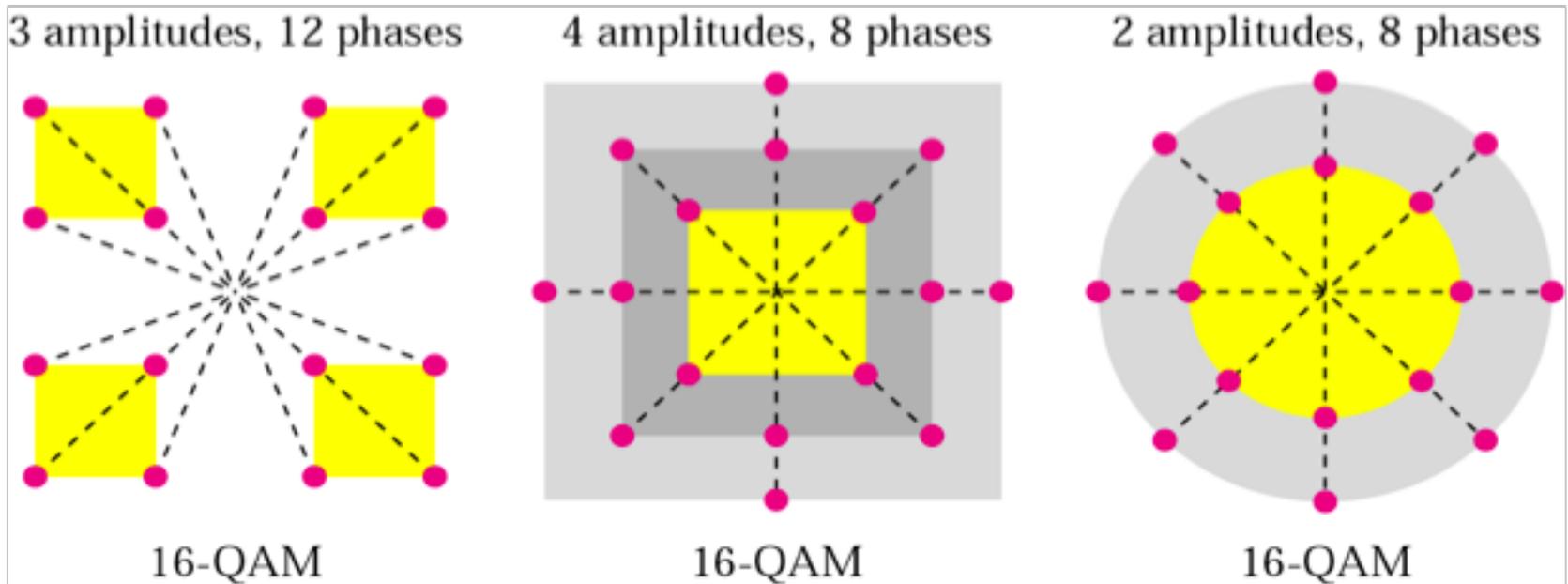
- Ejemplo 1: Modulación 8-QAM

- Permite codificar 3 bits por baudio
- Se puede obtener combinando 4 fases distintas y 2 amplitudes
- La forma de onda resultante es la siguiente:



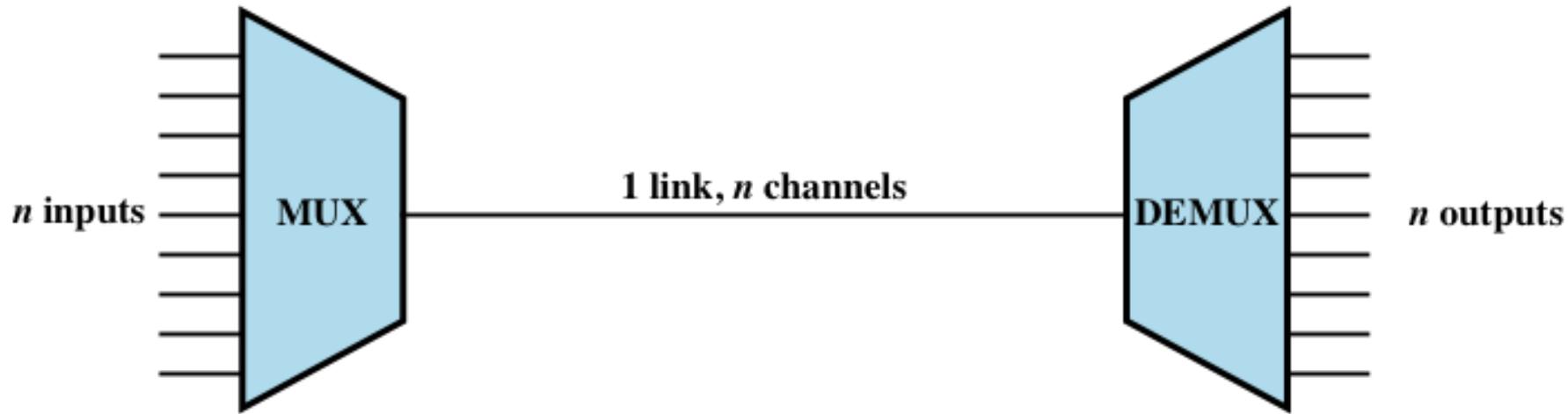
# Transmisión Analógica: Modulación (15)

- **Modulación de amplitud en cuadratura (cont.)**
  - Ejemplo 2: Modulación 16-QAM
    - Permite codificar 4 bits por baudio
    - Existen varias combinaciones alternativas de amplitudes y fases



# Aprovechamiento del Ancho de Banda

- **La multiplexación** es una técnica que permite la transmisión simultánea de múltiples señales a través de un mismo medio de transmisión
  - Permite compartir las líneas de transmisión entre múltiples usuarios o dispositivos de comunicación
  - Permite aprovechar de forma más eficiente el ancho de banda disponible en el medio de transmisión



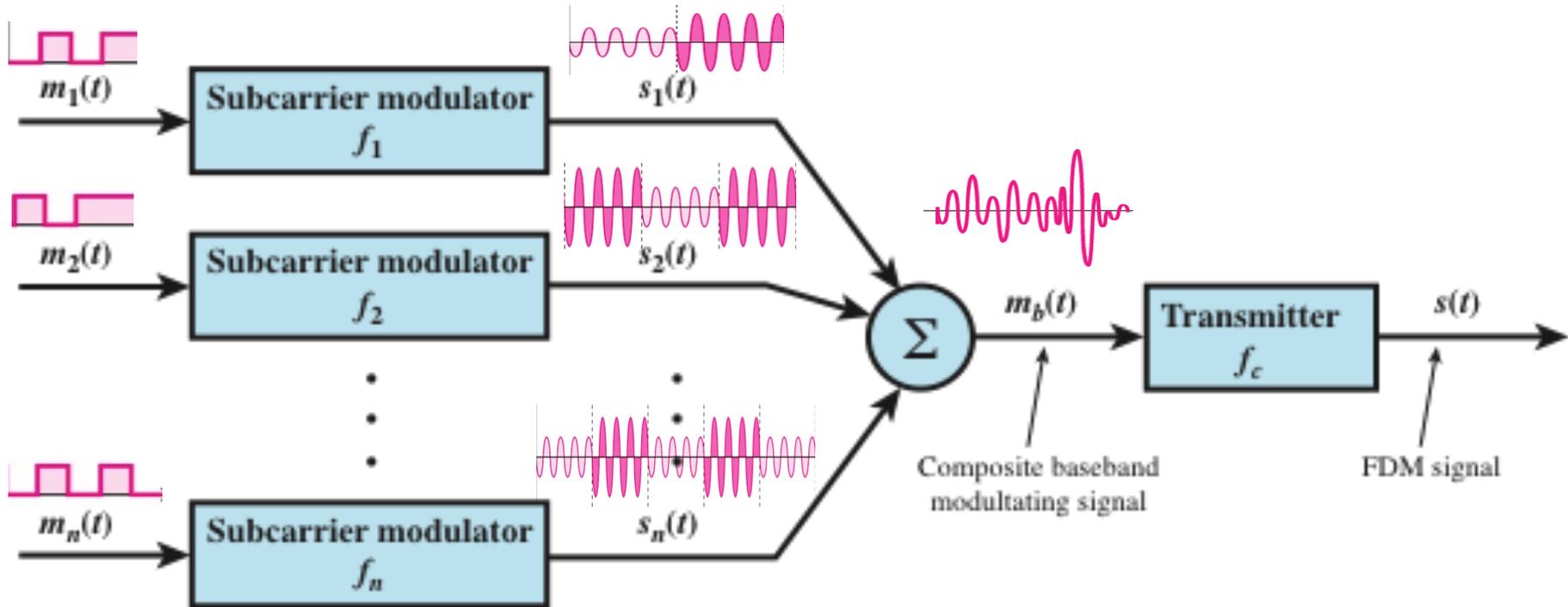
# Multiplexación FDM

- FDM (Frequency Division Multiplexing) es una técnica analógica que se aplica cuando el ancho de banda del enlace es superior al de las señales transmitidas.
- El ancho de banda total del medio se divide en varios canales, cada uno de ellos con una banda de frecuencias distinta
  - Cada canal usa una frecuencia portadora distinta
  - Los datos digitales generados por cada dispositivo emisor se modulan a la frecuencia de cada canal, usando una técnica adecuada (ASK, PSK, QAM...)
  - Normalmente, es necesario dejar **bandas de guardia** o de seguridad entre los distintos canales para evitar que se solapen las señales (evitar interferencias)



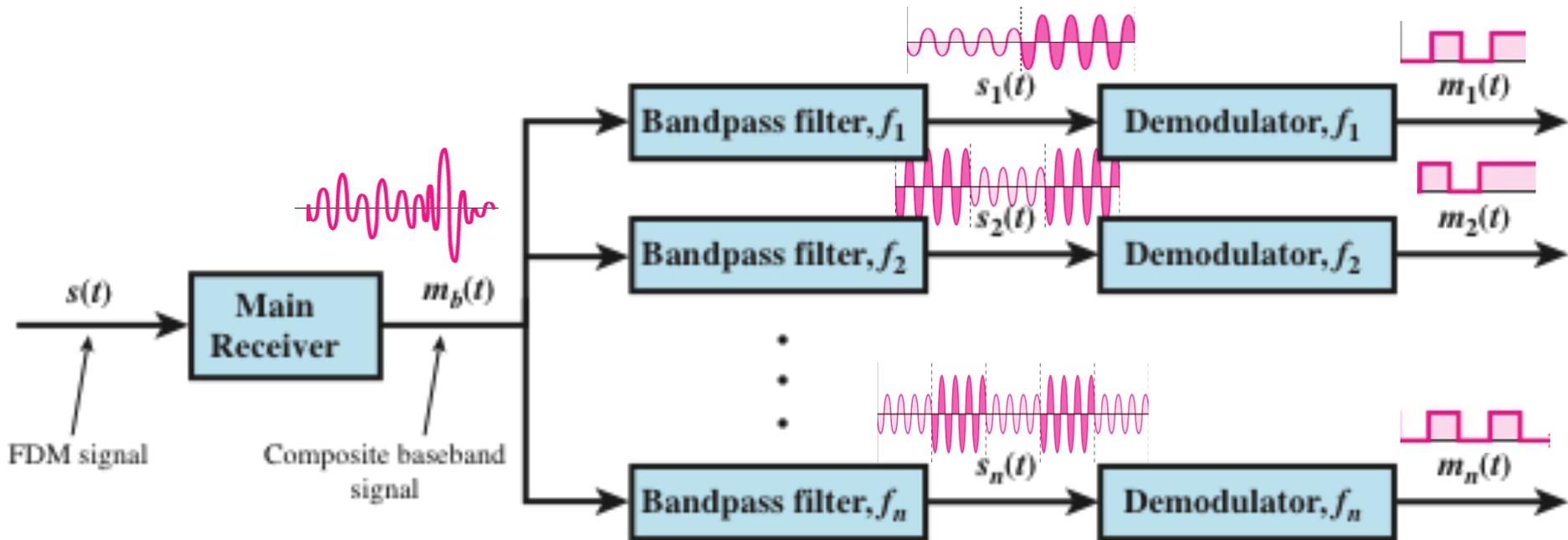
# Multiplexación FDM (1)

- Transmisión usando multiplexación en frecuencia



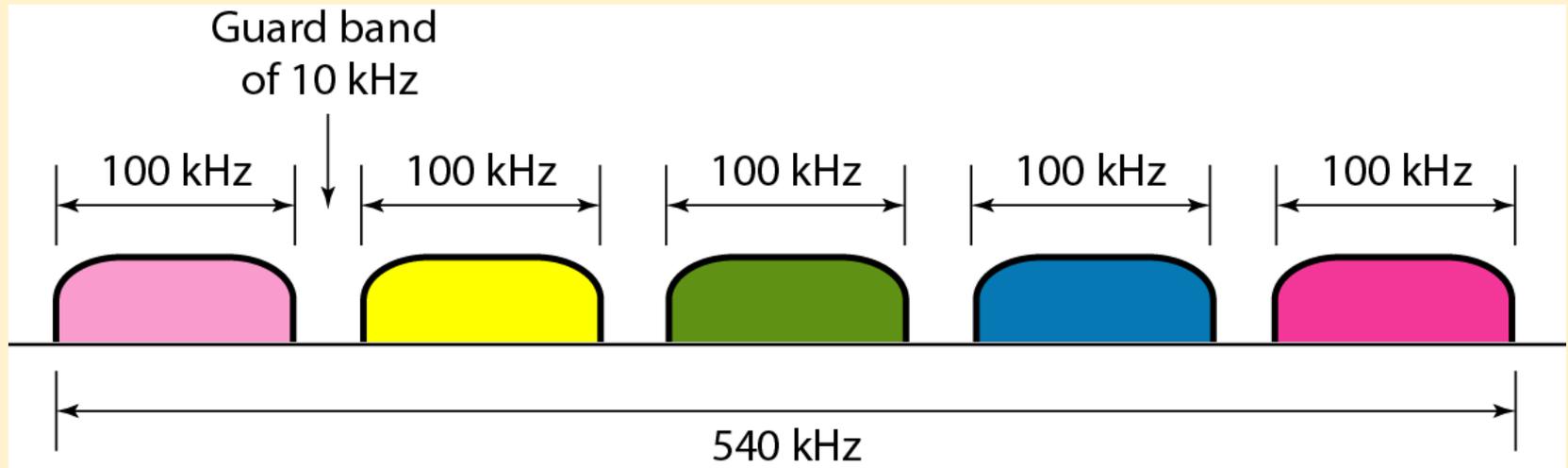
# Multiplexación FDM (2)

- Recepción FDM



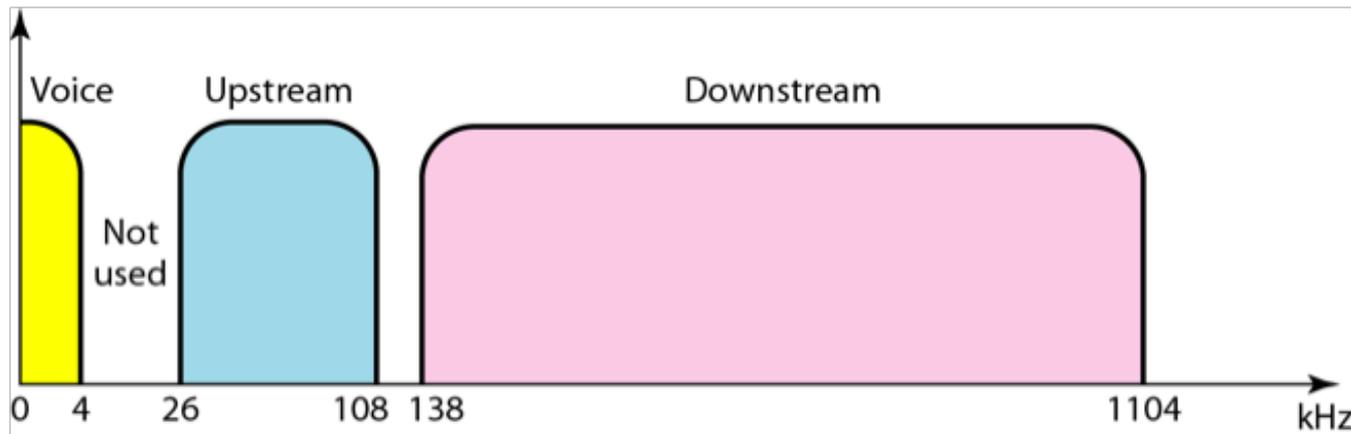
# Multiplexación FDM (3)

**Ejemplo:** Se quieren multiplexar cinco canales de 100 kHz cada uno para enviarlos simultáneamente por un mismo medio de transmisión. En este caso es necesario utilizar bandas de guardia de 10 kHz para evitar interferencias entre los distintos canales. ¿Cuál es el ancho de banda mínimo necesario en el medio de transmisión?



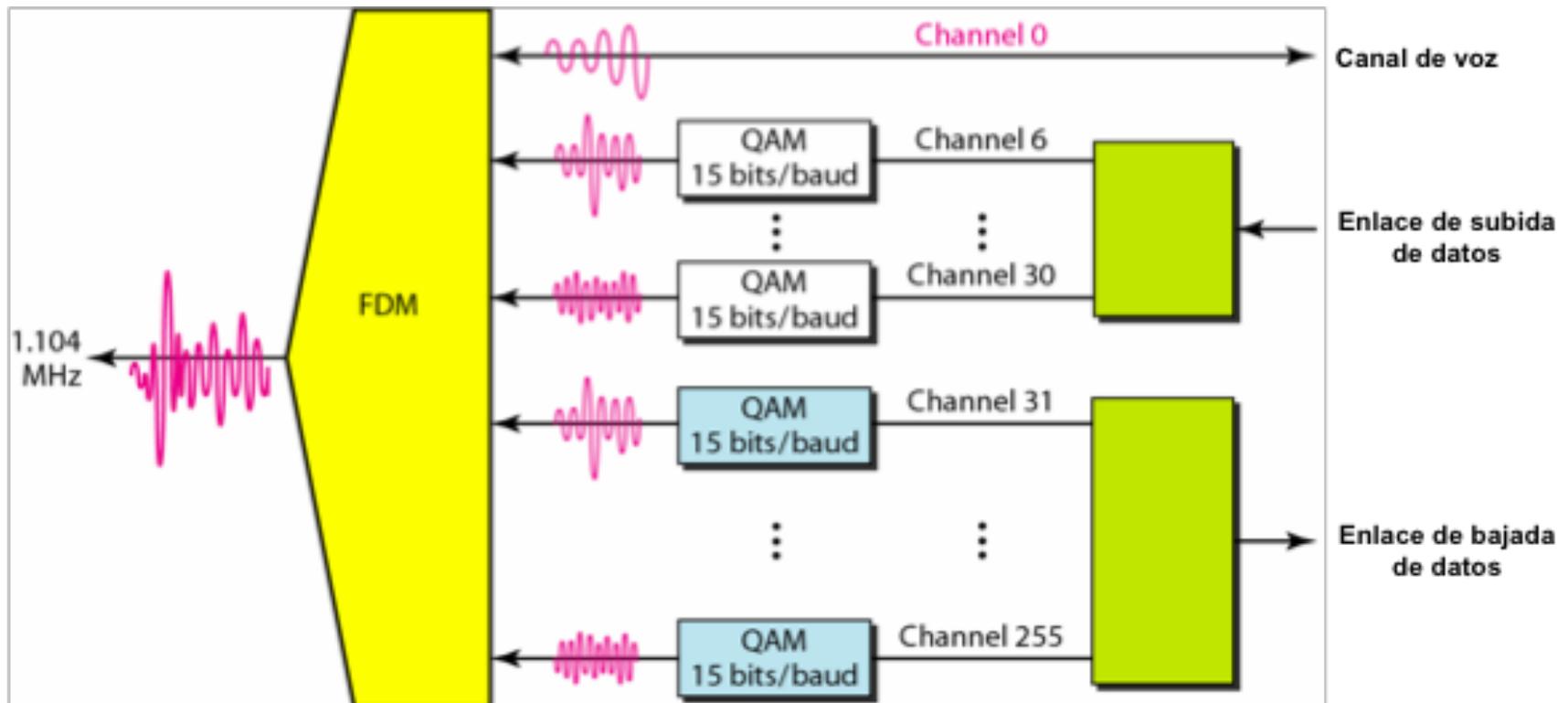
# Multiplexación FDM: ADSL (1)

- ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) es una tecnología de multiplexación basada en FDM
- Aprovecha el ancho de banda no utilizado por la línea telefónica convencional
  - El ancho de banda real del bucle de abonado es de 1,1 Mhz aprox.
  - La transmisión de voz sólo utiliza unos 3000 Hz
- ADSL utiliza flujos de datos de subida y bajada asimétricos
  - Canal de voz: ~4Khz
  - Subida de datos (upstream): ~80KHz
  - Bajada de datos (downstream): ~1MHz



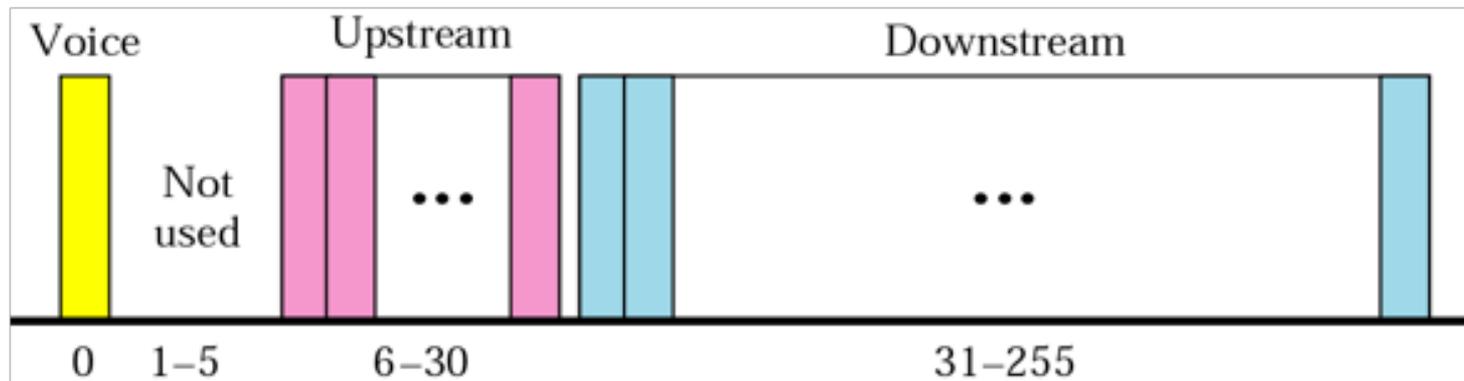
# Multiplexación FDM: ADSL (2)

- **Técnica de multitono discreto (DMT, Discrete Multitone)**
  - DMT permite aprovechar de forma más eficiente el ancho de banda disponible para transmisión de datos en ADSL
  - El ancho de banda de la línea telefónica (1,104 MHz) se divide en 256 canales (cada canal es de 4,312 kHz aprox.)



# Multiplexación FDM: ADSL (3)

- Canal de voz: canal 0 (4kHz). Los canales 1-5 se usan como banda de guardia
- Enlace de subida de datos (upstream): canales 6-30
  - 24 canales de datos + 1 canal de control
  - Cada canal utiliza 4 kHz con modulación QAM de 15 bits por baudio
  - Velocidad máxima teórica alcanzable: 1,44 Mbps
  - Velocidad real máxima alcanzable: 1 Mbps  
(algunos canales no se pueden usar debido al nivel de ruido)
- Enlace de bajada de datos (downstream): canales 31-255
  - 224 canales de datos + 1 canal de control
  - Cada canal utiliza 4 kHz con modulación QAM de 15 bits por baudio
  - Velocidad máxima teórica alcanzable: 13,4 Mbps
  - Velocidad real máxima alcanzable: ~8 Mbps



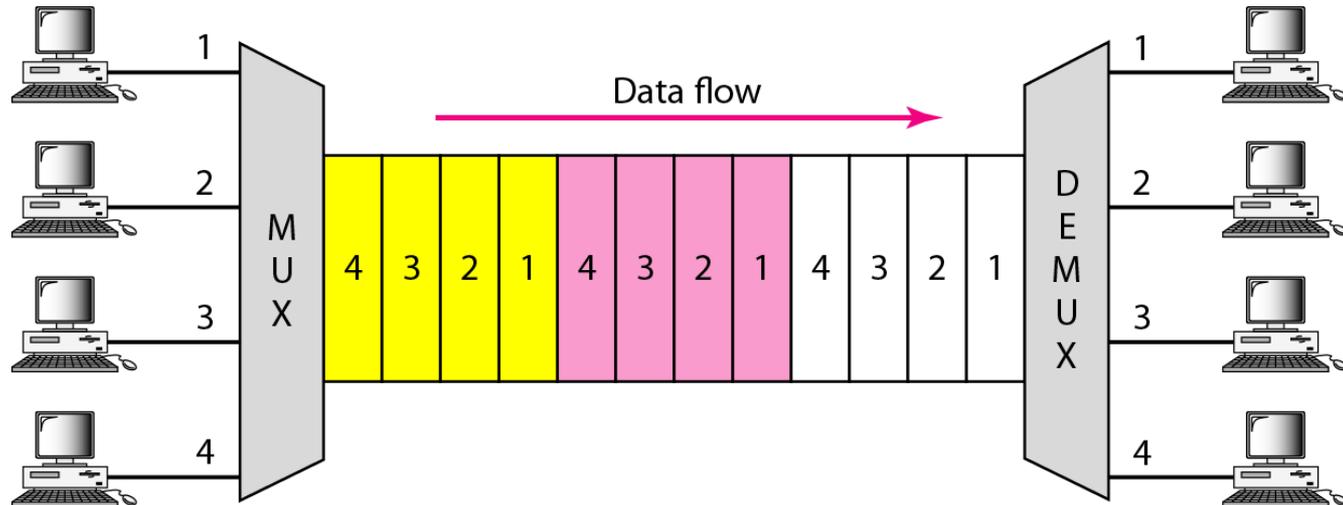
# Multiplexación FDM: ADSL (4)

- Evolución del ADSL

<b>Tecnología</b>	<b>Velocidad subida</b>	<b>Velocidad bajada</b>
ADSL	1 Mbps	8 Mbps
ADSL2	2 Mbps	12 Mbps
ADSL2+	2 Mbps	24 Mbps

# Multiplexación TDM

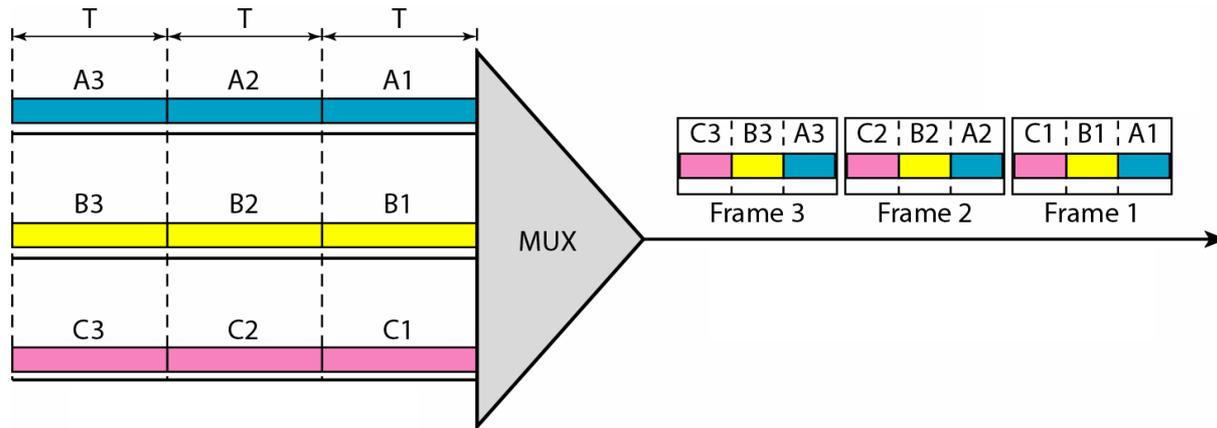
- La Multiplexación por división del tiempo (TDM = Time Division Multiplexing) es un procesamiento digital que permite compartir el ancho de banda entre diferentes conexiones.
- Consiste en repartir el tiempo de transmisión entre las distintas fuentes de datos
  - El tiempo de transmisión se divide en intervalos idénticos o ranuras temporales
  - Cada dispositivo de transmisión tiene asignado un intervalo o ranura para transmitir



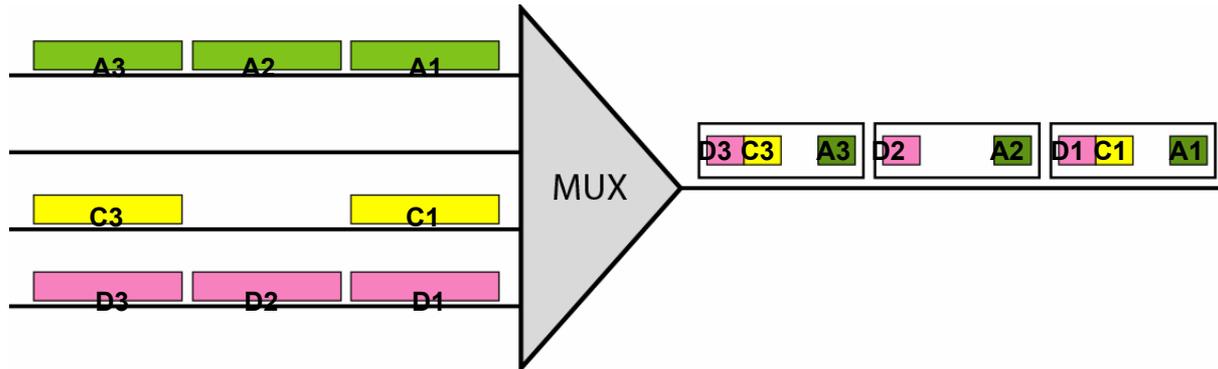
# Multiplexación TDM (1)

- TDM Síncrono

- La asignación de ranuras temporales a cada dispositivo de transmisión es fija



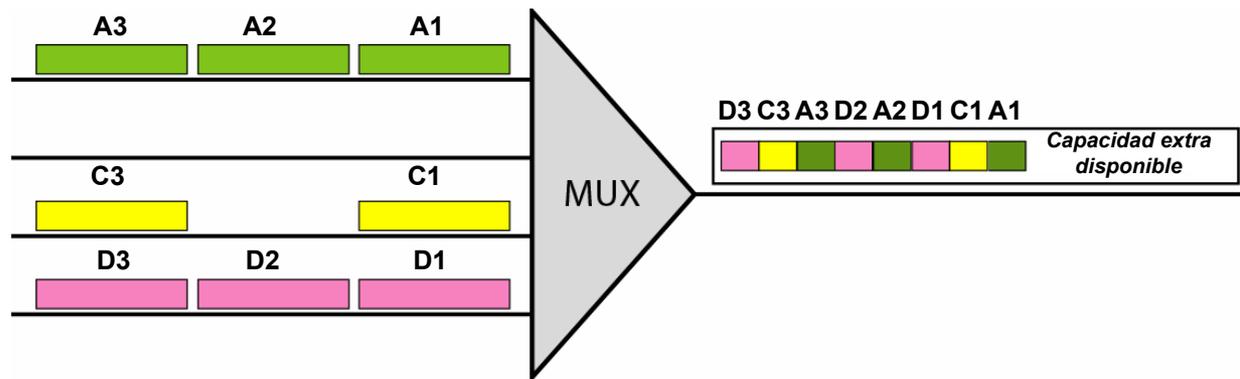
- Si un dispositivo no utiliza su ranura, ésta se desperdicia



# Multiplexación TDM (2)

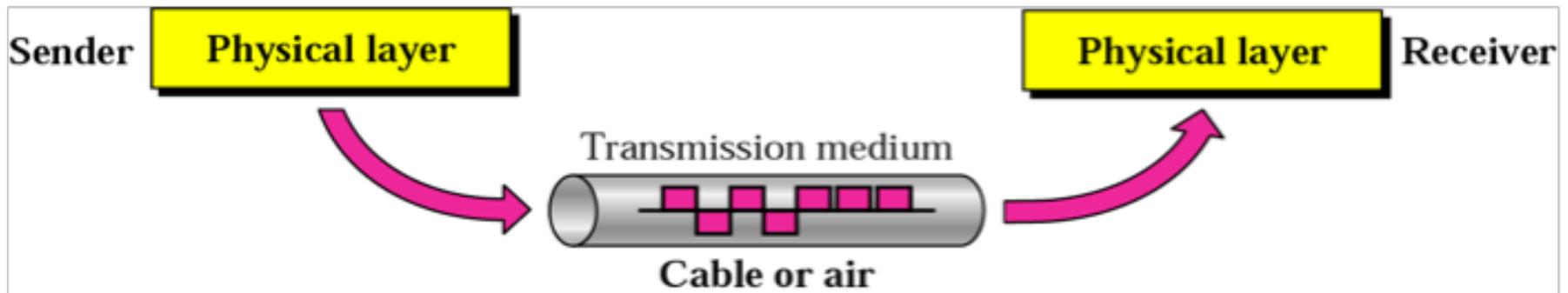
- **TDM Estadístico**

- Permite adaptarse a las necesidades de transmisión de los distintos dispositivos, mediante mecanismos de reserva dinámica bajo demanda de las ranuras temporales



# Medios de Transmisión

- En una arquitectura de red, el tipo de medio de transmisión utilizado es una característica de la capa física.
- Cualquier medio capaz de llevar información de la fuente al destino (aire, cable de cobre, fibra de vidrio...)
- Los medios de transmisión se dividen:
  - **Medios de transmisión guiados o por cable (*wired*)**
    - Par trenzado (señales eléctricas por cable de cobre)
    - Cable coaxial (señales eléctricas por cable de cobre)
    - Fibra óptica (señales luminosas)
  - **Medios de transmisión no guiados o inalámbricos (*wireless*)**
    - Infrarrojos (IR)
    - Radio-frecuencia (RF)
    - Microondas

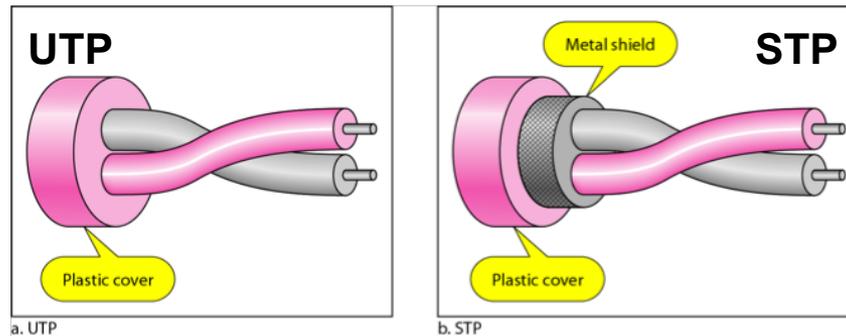


# Medios Guiados: Par trenzado

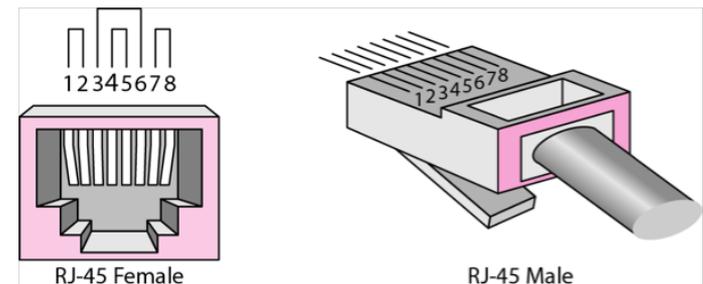
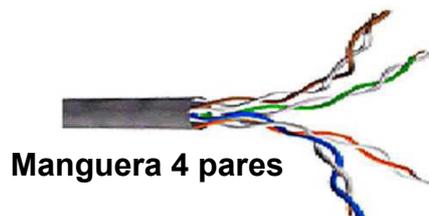
- Dos hilos de cobre aislados y entrelazados (trenzados) en forma helicoidal



- Tipos de par trenzado
  - UTP (*unshielded twisted pair*): Par trenzado no apantallado
  - STP (*shielded twisted pair*): Par trenzado apantallado



- Los cables típicos están formados por mangueras de 4 pares trenzados (8 hilos)
- Los conectores más comunes son de tipo RJ-45



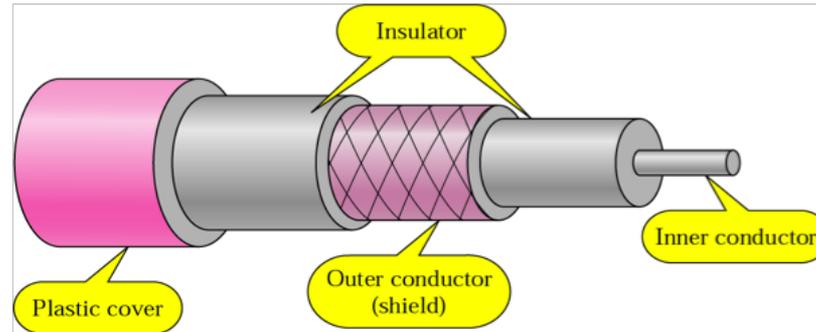
# Medios Guiados: Par trenzado (1)

- Existen distintas categorías de cables UTP que dependen del calibre y la calidad del cable y de la longitud del trenzado.
- **UTP Cat 3 (UTP-3)**
  - Denominado cable de calidad de telefónica (*voice-grade*)
  - Frecuencias de hasta 16 MHz
  - **Aplicaciones**
    - Telefonía (bucle de abonado)
    - Redes de área local (Ethernet): hasta 10 Mbps (distancia  $\leq$  100 m)
- **UTP Cat 5 (UTP-5)**
  - Denominado cable de calidad de datos (*data-grade*)
  - Frecuencias de hasta 100 MHz
  - **Aplicaciones**
    - Redes de área local (Fast Ethernet): 100 Mbps (distancia  $\leq$  100 m)
- Atenuaciones típicas

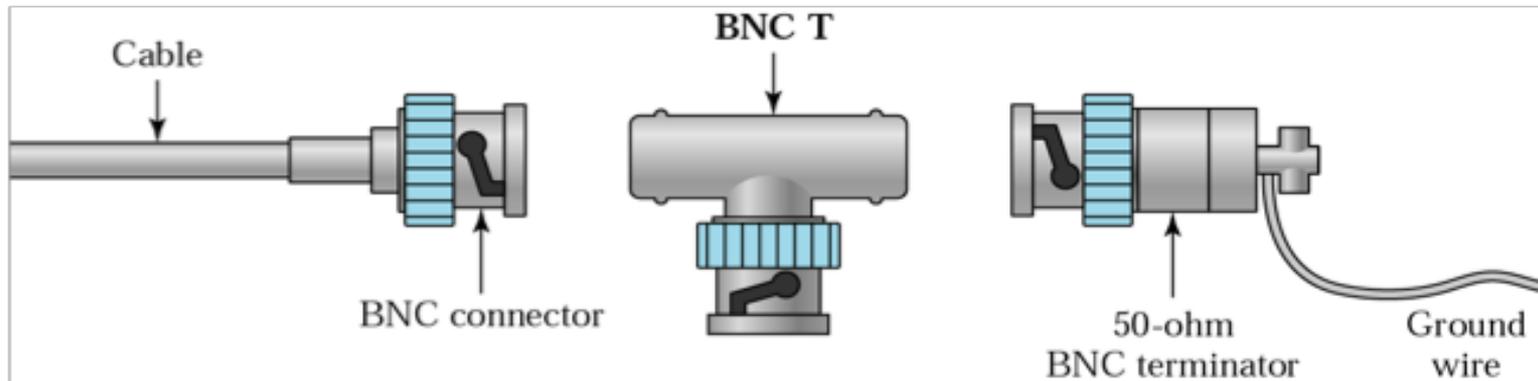
Frecuencia señal	1 MHz	4 MHz	16 MHz	25 MHz	100 MHz
Atenuación en UTP-3	26 db/Km	56 db/Km	131 db/Km	-	-
Atenuación en UTP-5	20 db/Km	41 db/Km	82 db/Km	104 db/Km	220 db/Km

# Medios Guiados: Cable coaxial

- Tiene un núcleo central, normalmente de cobre, rodeado de otro conductor.



- Conectores típicos del cable coaxial (BNC usado en redes Ethernet)



# Medios Guiados: Cable coaxial (1)

- **Aplicaciones del cable coaxial**

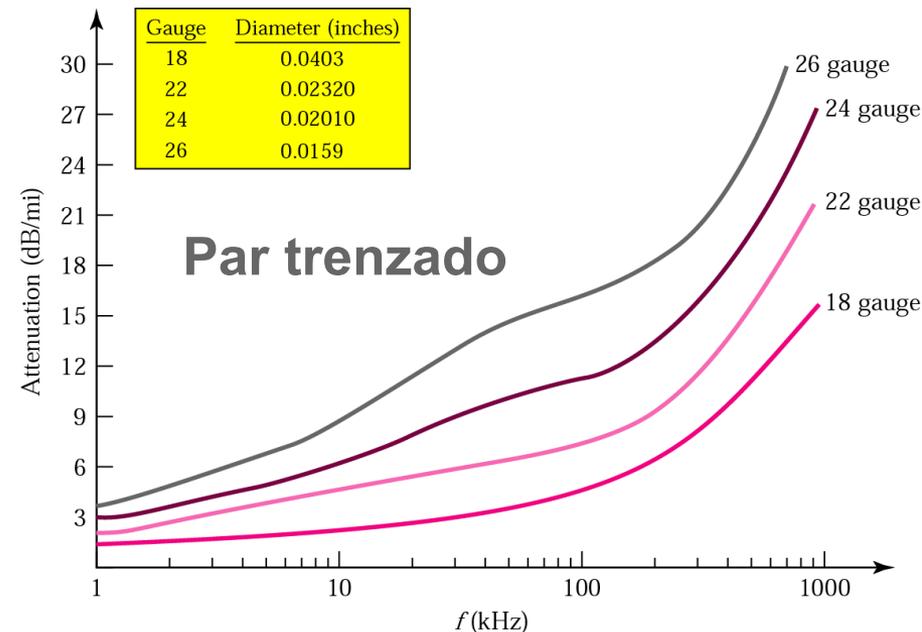
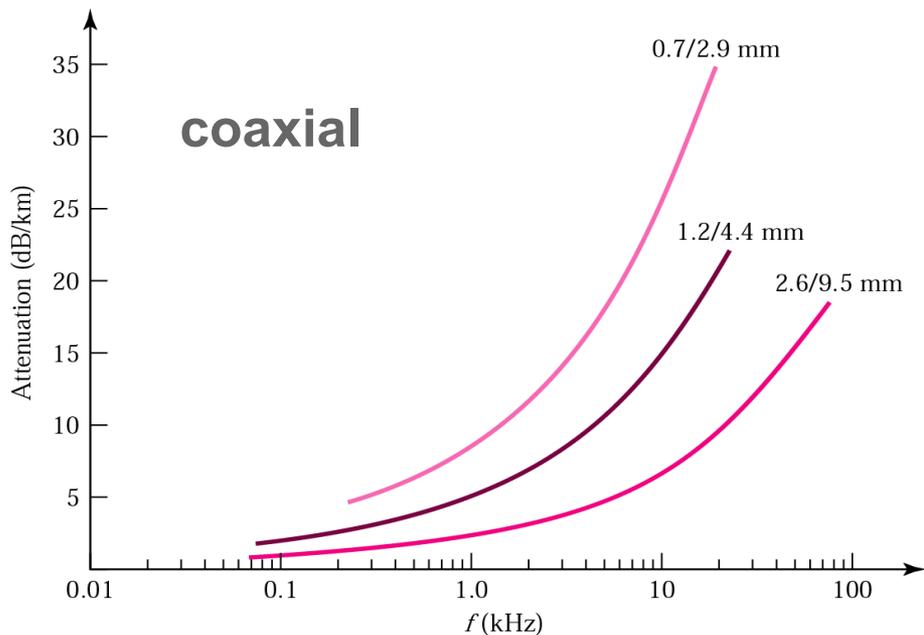
- Distribución de señales de televisión (Antenas y televisión por cable)
- Telefonía a larga distancia, reemplazado por fibra óptica.
- Redes de área local Ethernet en bus: 10Base2 y 10Base5

- **Cable coaxial y Par trenzado**

↑ Mayor inmunidad a ruidos e interferencias externas

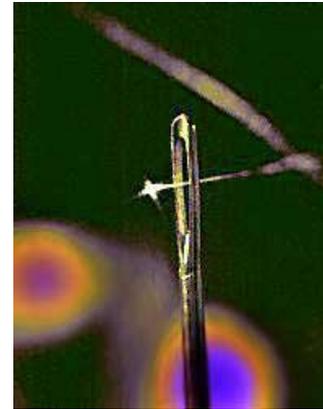
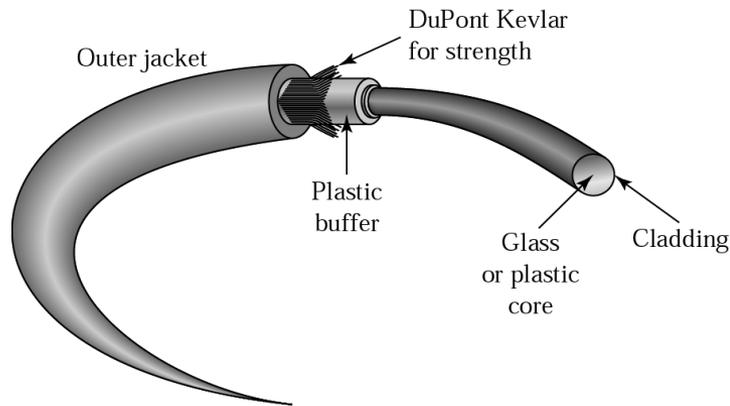
↑ Mayores distancias y mayor ancho de banda que el par trenzado

↓ Mayor coste



# Medios Guiados: Fibra óptica

- Núcleo de plástico o vidrio para transmitir señales en forma de luz.
- Las fibras ópticas de datos son extremadamente delgadas ( $\Phi \sim 125 \mu\text{m}$ )

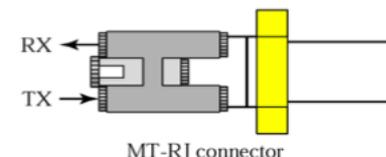
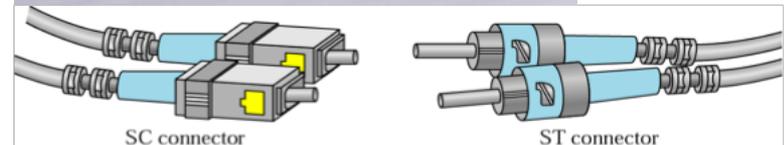
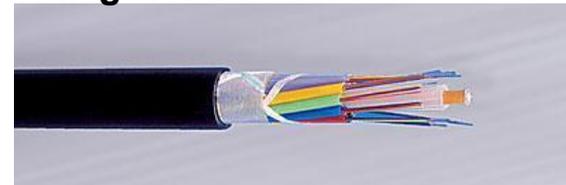


Cable de fibra pasando a través del ojo de una aguja

- Normalmente se agrupan en mangueras de varias decenas o incluso cientos de fibras.

- Manguera de 60 fibras
  - 12 tubos de fibra x 5 fibras por tubo
  - Diámetro del tubo: 2,1 mm
  - Diámetro de la manguera: 10 mm
  - Peso por Km: 80Kg

## Manguera 60 fibras

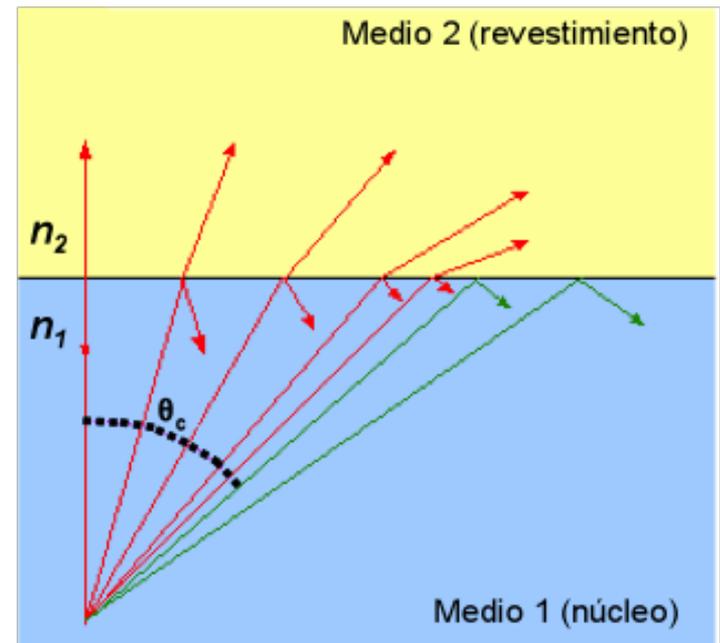
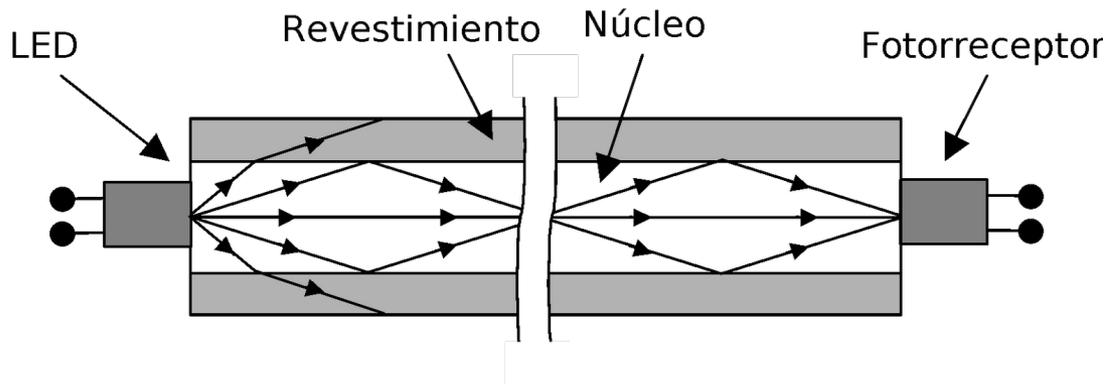


- Conectores típicos de fibra óptica

# Medios Guiados: Fibra óptica (1)

## Funcionamiento de la fibra óptica: basado en la ley de snell

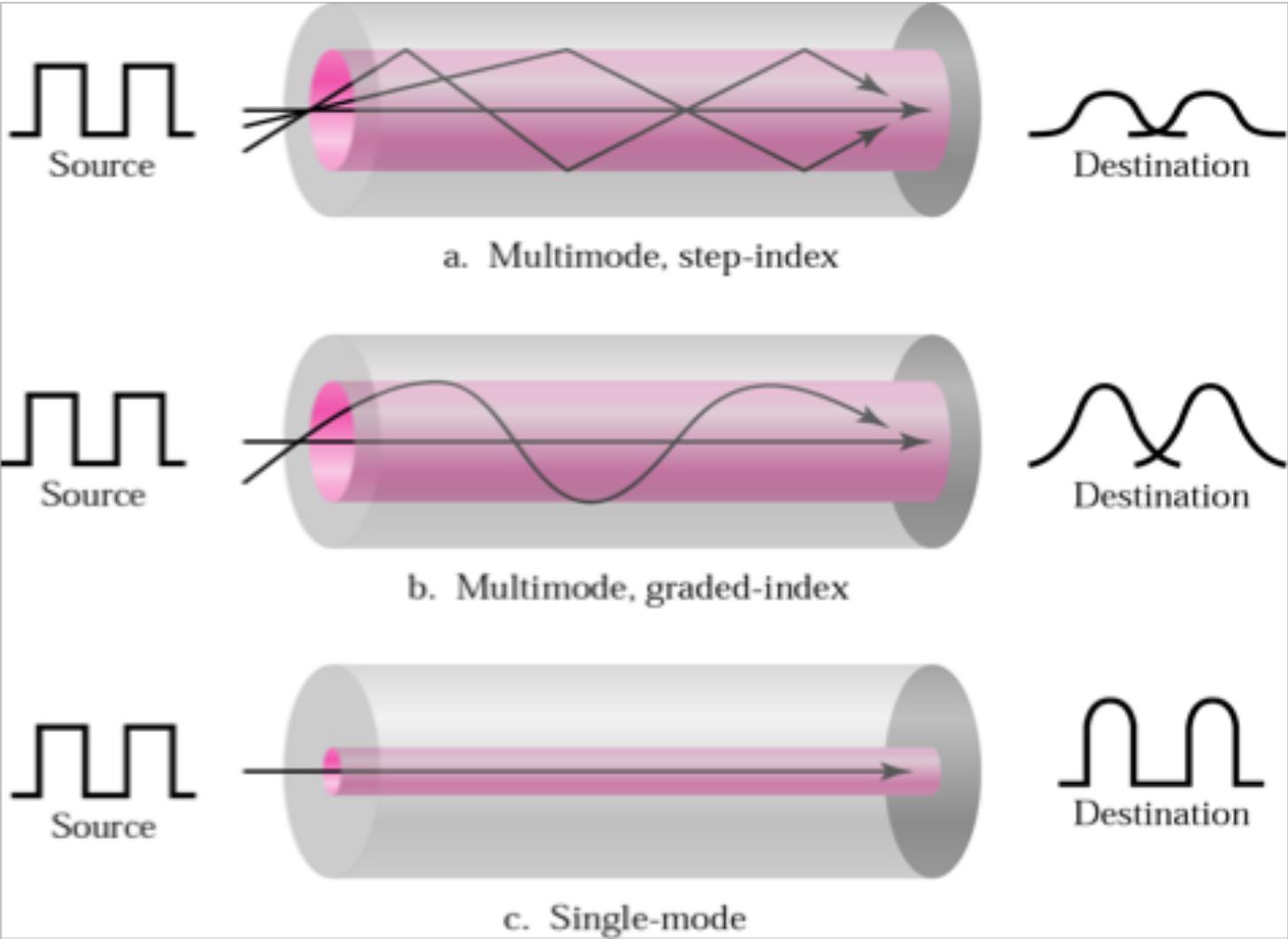
- Cuando un haz de luz incide en la interfaz entre dos medios con distinto índice de refracción ( $n_1$  y  $n_2$ ), parte de la luz se refleja y parte de la luz se refracta al otro medio con un ángulo distinto
- Si el ángulo de incidencia supera un cierto **ángulo crítico** ( $\theta_c$ ), entonces toda la luz se refleja y no se produce refracción



# Medios Guiados: Fibra óptica (2)

- **Fibra Óptica Multimodo (multi-mode)**
  - La luz se difunde en múltiples direcciones
  - Mayores pérdidas y menores prestaciones en velocidad y distancia
  - Más económica y fácil de manipular
    - **Índice escalonado (step-index):** El núcleo tiene un índice de refracción constante en toda la sección
    - **Índice gradual (graded-index):** El índice de refracción en el núcleo no es constante, sino en gradiente, lo que obliga a los rayos de luz a curvarse
- **Fibra Óptica Monomodo (single-mode)**
  - La luz se difunde prácticamente en línea recta a través del núcleo
  - Diámetro del núcleo muy reducido (del orden de la longitud de onda de la luz)
  - Menos pérdidas y mayores prestaciones en velocidad y distancia
  - Más cara y difícil de manipular

# Medios Guiados: Fibra óptica (3)



# Medios Guiados: Fibra óptica (4)

- **Ventajas de la fibra óptica**

- Ancho de banda muy superior a los medios de cobre y menor atenuación
  - En pruebas de laboratorio (distancias cortas) se han alcanzado unos 100 Tbps
  - En larga distancia, se han conseguido alcanzar unos 13,5 Tbps para distancias de hasta 7.000 Km.
- Totalmente inmune a las interferencias electromagnéticas externas
  - Menos errores de transmisión
- Los cables de fibra son muy delgados y ligeros
  - La instalación de una red de fibra óptica requiere conductos mucho más reducidos.
  - Se pueden agrupar decenas de fibras en mangueras de reducido diámetro

- **Desventajas de la fibra óptica**

- Más cara que el par trenzado o el cable coaxial
- La manipulación de la fibra óptica es muy compleja
  - Necesidad de mayor especialización y equipos adecuados

# Medios Guiados: Fibra óptica (5)

- **Aplicaciones de la fibra óptica**

- Telefonía

- Enlaces telefónicos de larga distancia

- Hasta 1.500 km
- Entre 20.000 y 60.000 canales de voz simultáneos

- Enlaces telefónicos metropolitanos

- Longitud media de 12 Km
- Hasta 100.000 canales de voz simultáneos

- Bucles de abonado

- Están empezando a reemplazar a los cables trenzados y coaxiales
- Permite la transmisión simultánea de voz, datos, imágenes y vídeo

- Redes de área local y metropolitana

- Usado tradicionalmente en redes MAN (FDDI, DQDB, etc.)

- Actualmente se utiliza también en redes LAN Ethernet de alta velocidad

- Fast Ethernet - 100 Mbps (100Base-FX)
- Gigabit Ethernet (1GbE) - 1Gbps (1000BASE-SX y 1000BASE-LX)
- 10Gigabit Ethernet (10GbE) - 10 Gbps
- 40Gigabit Ethernet (40GbE) - 40 Gbps
- 100Gigabit Ethernet (100GbE) - 100 Gbps
- Implementaciones futuras: Terabit Ethernet (1TbE)

# Medios no guiados: Wireless

- **Ondas de radiofrecuencia (RF)**

- Desde 30MHz hasta 1GHz:
- Aplicaciones
  - Transmisión de radio AM y FM
  - Radio marítima
  - Televisión
  - Teléfonos inalámbricos

- **Microondas**

- Desde 2GHz hasta 40GHz
- Aplicaciones
  - Telefonía móvil
  - Comunicaciones por satélite
  - Redes LAN Inalámbricas

- **Infrarrojos**

- Rango de frecuencias comprendido entre  $3 \times 10^{11}$  y  $2 \times 10^{14}$ :
- Aplicaciones
  - Conexiones de datos locales (transmisión a cortas distancias entre dispositivos dispuestos en "línea de visión")