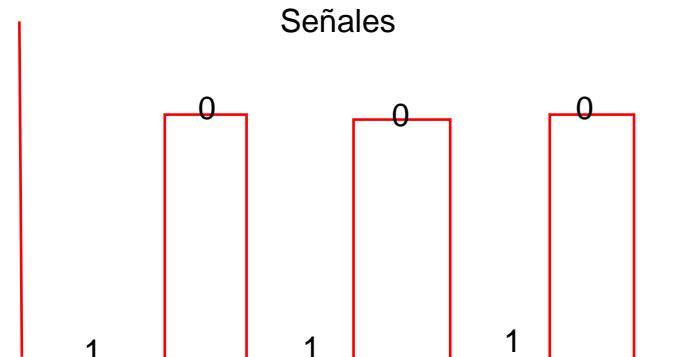


Nivel Físico

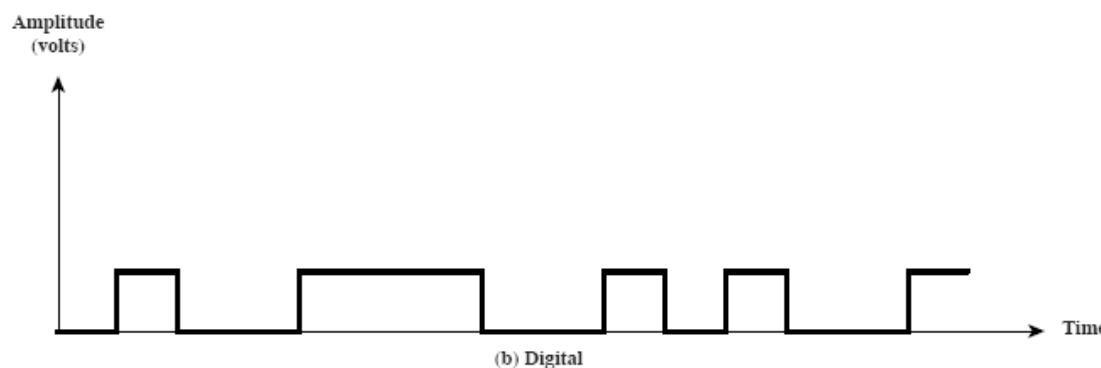
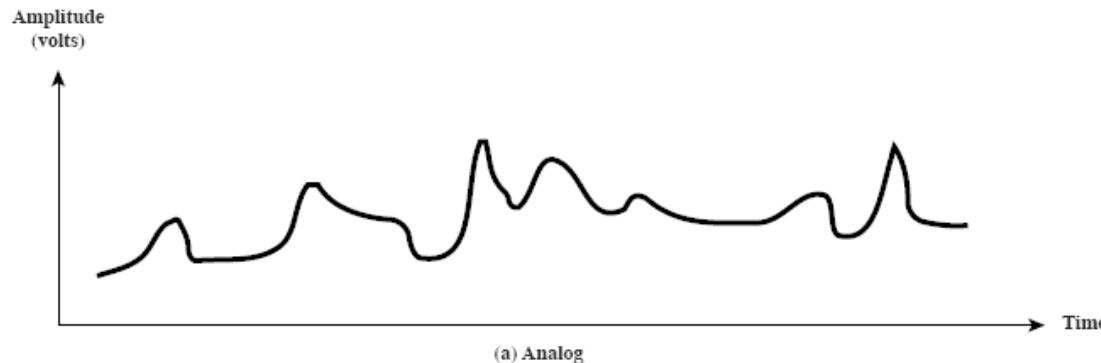
- ❖ Transmisión de datos
- ❖ Medios de transmisión
 - Medios guiados
 - Medios no guiados
- ❖ Codificación y modulación
- ❖ Técnicas de comunicación de datos digitales
 - Transmisión asíncrona y síncrona
 - Interfaces
 - Módems
- ❖ Multiplexación
 - Multiplexación por división en frecuencias
 - Multiplexación por división en el tiempo síncrona
 - Multiplexación por división en el tiempo estadística
 - Línea de abonado digital asimétrica



Transmisión de datos

Conceptos en el dominio del tiempo (1)

- ❖ Señal analógica: $s(t)$ es continua si $\lim_{t \rightarrow a} s(t) = s(a), \forall a$
- ❖ Señal digital: es discreta



Transmisión de datos

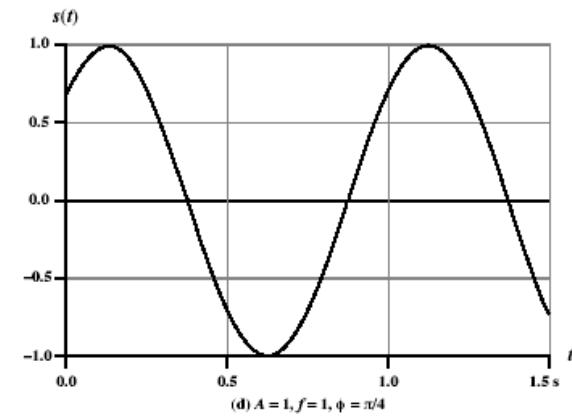
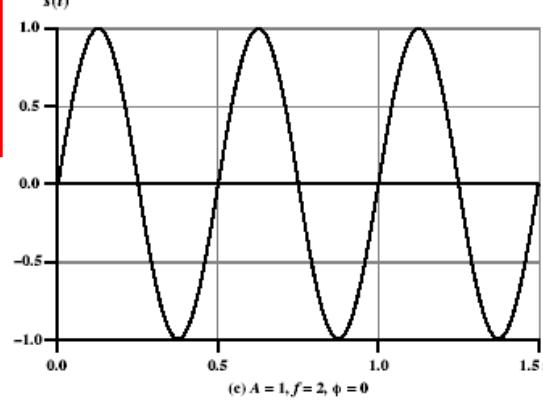
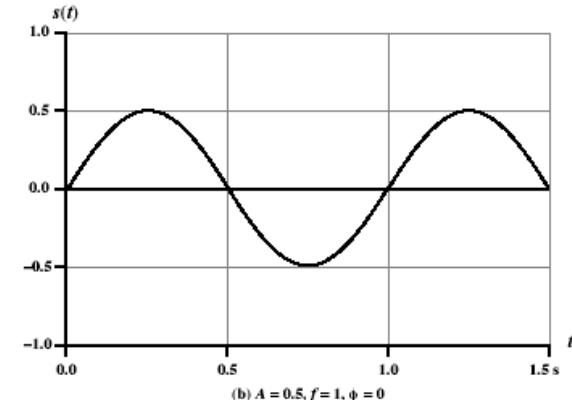
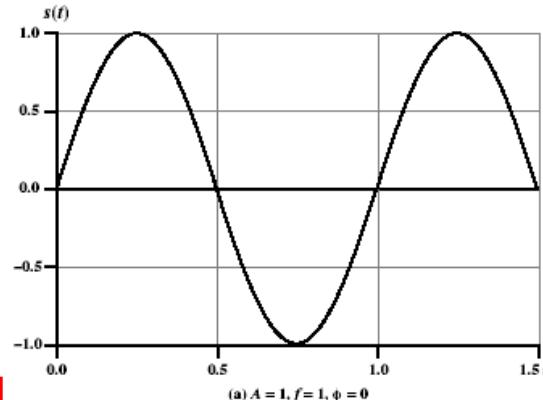
Conceptos en el dominio del tiempo (2)

- ❖ $s(t)$ es periódica si y sólo si $s(t + T) = s(t)$, $-\infty < t < +\infty$
- ❖ Onda sinusoidal: $s(t) = A \sin(2\pi f t + \varphi)$
 - Amplitud (A)
 - Frecuencia (f)
 - Fase (φ)
 - Longitud de onda (λ)

%lambda = velocidad over frecuencia

$$\lambda = v/f = c = f$$

c = velocidad de propagación en el vacío.



Transmisión de datos

Conceptos en el dominio de la frecuencia

❖ Serie de Fourier:

$$s(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi n f t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi n f t)$$

- Frecuencia fundamental

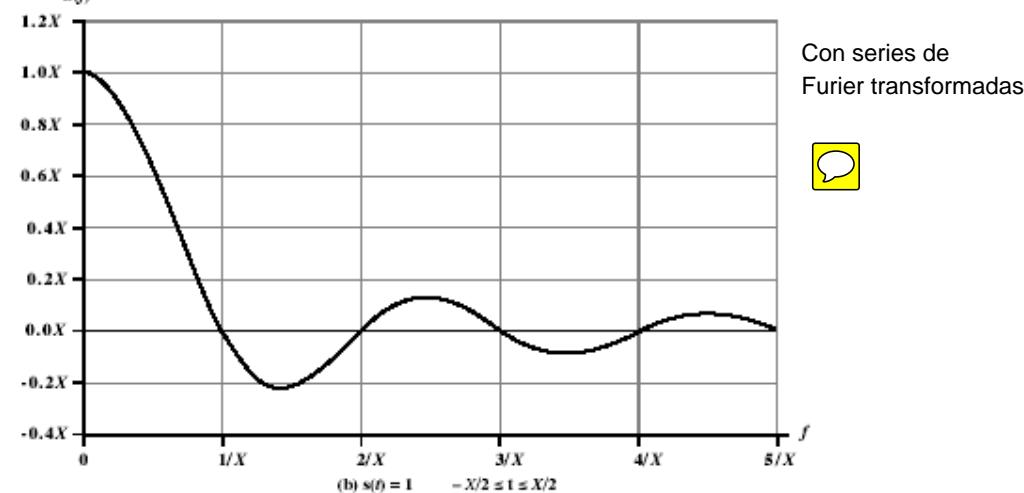
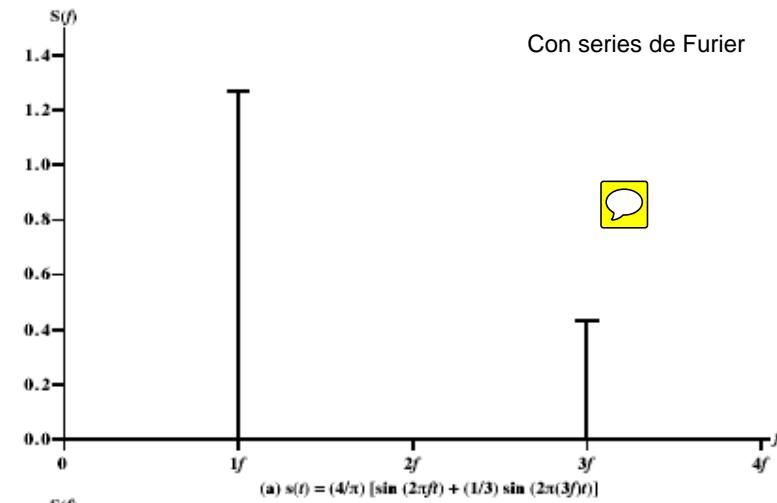
❖ Transformada de Fourier: no periódicas

❖ Espectro: conjunto de frecuencias que constituyen una señal

❖ Ancho de banda:

- Absoluto
- Efectivo

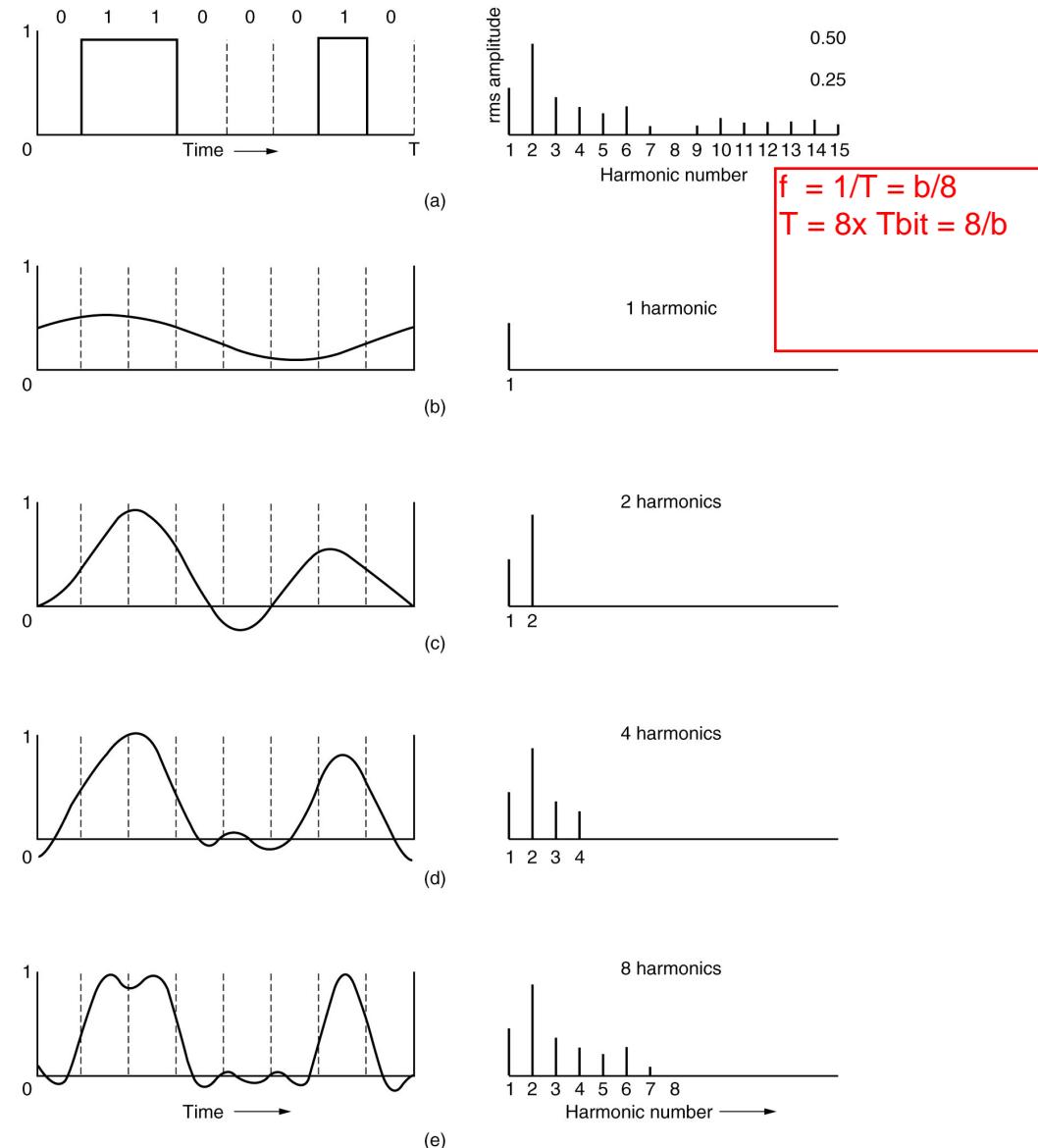
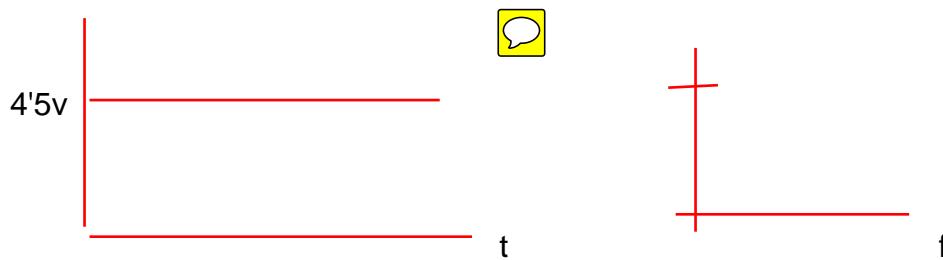
❖ Componente continua



Transmisión de datos

Ancho de banda y velocidad de transmisión

- ❖ El ancho de banda establece una limitación física a la velocidad de transmisión
- ❖ Un patrón de bits (01100010) que se repite cada T
 - b bits/segundo
 - Primer armónico: $b/8$ Hz



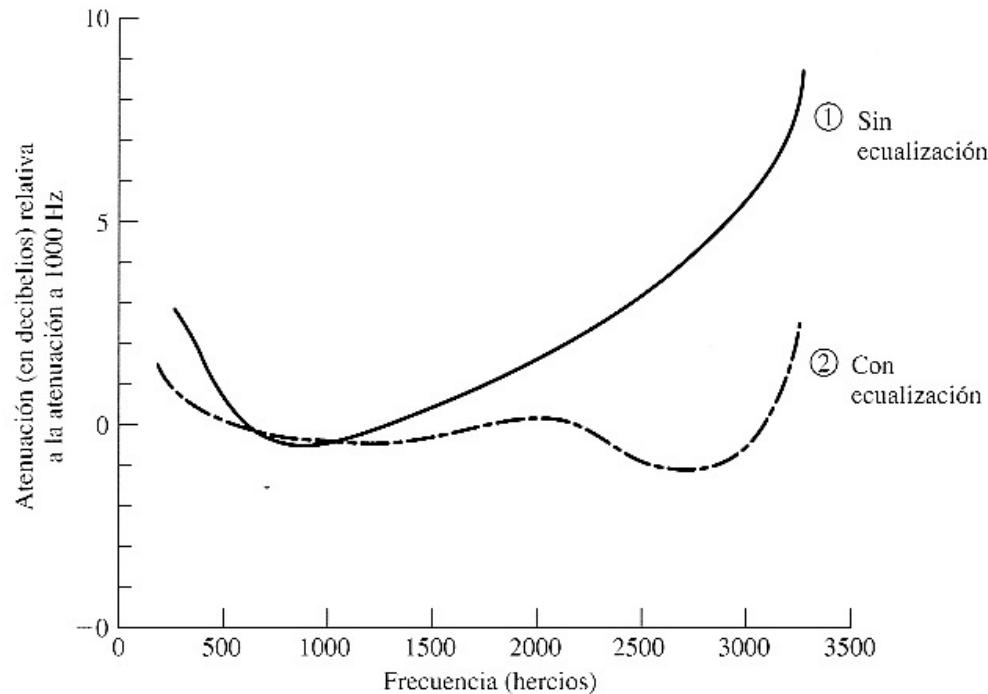
Transmisión de datos

Transmisión, señales y datos

- ❖ Dato: Cualquier entidad capaz de transportar información
 - Datos analógicos
 - Datos digitales
- ❖ Señal: Representación eléctrica o electromagnética de los datos
- ❖ Transmisión: Comunicación de datos mediante la propagación y el procesamiento de señales
 - Transmisión analógica
 - Transmisión digital:
 - Continua mejora de la tecnología digital
 - Integridad de los datos: regeneración de la señal
 - Aprovechamiento de la capacidad: división en el tiempo
 - Seguridad y privacidad: cifrado
 - Integración de voz, vídeo y datos

Transmisión de datos ► Perturbaciones en la transmisión Atenuación

- ❖ Pérdida de energía de la señal debido a la distancia
 - Medios guiados: reducción exponencial
 - Medios no guiados: también depende de las condiciones atmosféricas
- ❖ Es posible el empleo de amplificadores o repetidores



$$L = P_{in} (w) / P_{out} (w)$$

$$L (\text{dB}) = 10 \log(10) P_{in}/P_{out} = 10[\log P_{in} - \log P_{out}]$$

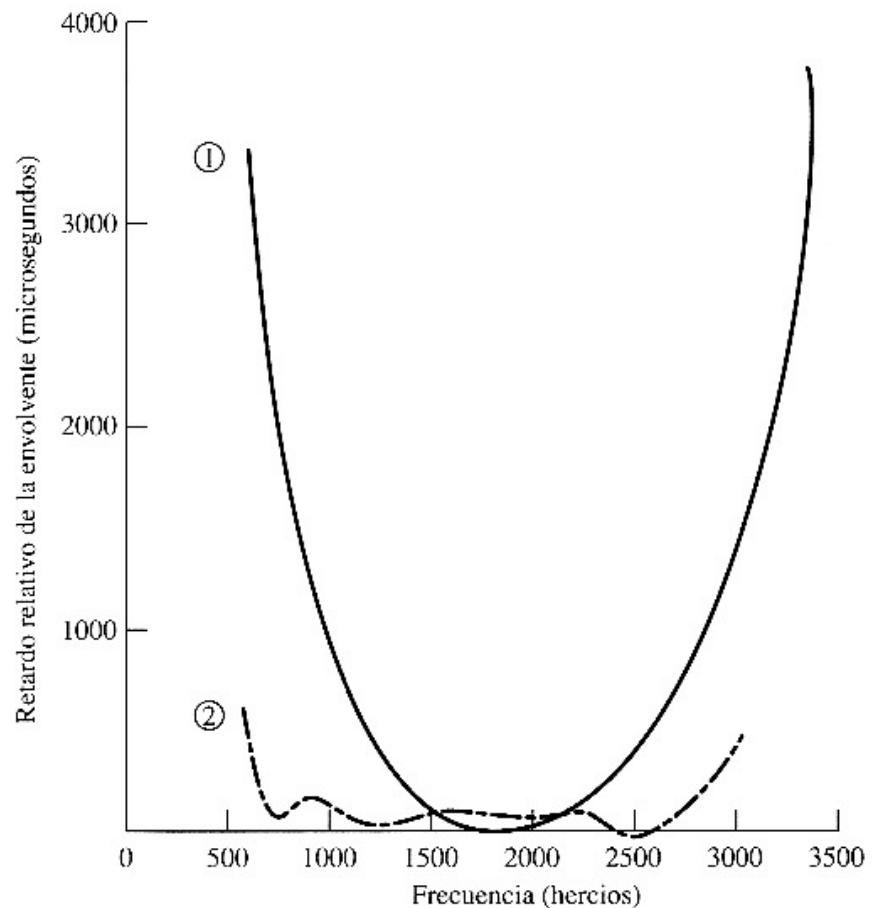
$$P_{\text{dB W}} = 10 \log(10) P(w)/1W$$

$$P_{\text{dB mW}} = 10 \log(10) P(mW) / 1 \text{ mW}$$

$$L = \text{atenuación}$$

Transmisión de datos ► Perturbaciones en la transmisión Distorsión de retardo

- ❖ Se debe a que la velocidad de propagación de una señal a través de un medio guiado varía con la frecuencia
- ❖ En transmisión de datos digitales puede provocar interferencia entre símbolos



Transmisión de datos ► Perturbaciones en la transmisión

Ruido (1)

- ❖ Señales no deseadas que se insertan entre emisor y receptor
 - Ruido térmico: debido a la agitación térmica de los electrones.
Uniformemente distribuido en el espectro: ruido blanco
 - Para un ancho de banda de 1 Hz: $N_0 = kT$
 - Constante de Boltzmann: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$
 - Ruido de intermodulación: no linealidades que provocan la aparición de frecuencias espúreas Interferencias por el propio funcionamiento del circuito.
 - Diafonía: acoplamiento entre líneas de transmisión Lo que va por un canal se mete en otro.
 - Ruido impulsivo: pulsos de corta duración y amplitud grande



Transmisión de datos ▶ Perturbaciones en la transmisión Ruido (2)

- ❖ Efecto del ruido
-  sobre una señal digital

Este ruido se puede eliminar amplificando la señal original, mayor potencia a la señal.

Esta amplitud ampliada, permite que la suma con el ruido no sea tan significativo el cambio y no se produzcan bits erróneos.

$$\text{SNR} = \text{S}/\text{N}$$

$$\text{SNR (dB)} = 10 \log(10) \text{ S/N}$$

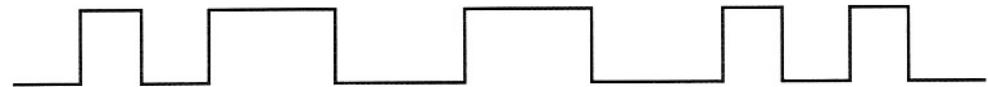
$$N_o = kT \text{ (Hz)}$$

$$N = N_o \cdot B = kT \cdot B$$

Datos transmitidos:

1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Señal:



Ruido:



Señal más ruido:



Instantes de muestreo:



Datos recibidos:

1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Datos originales:

1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Bits erróneos

Transmisión de datos

Capacidad del canal

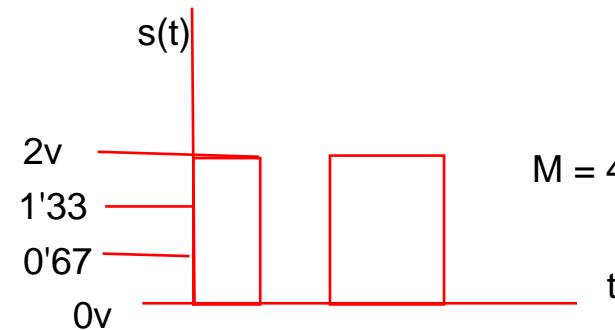
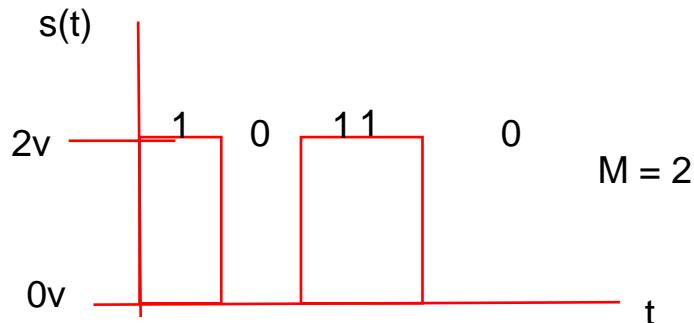
- ❖ Nyquist: en un canal exento de ruido, para un ancho B , la mayor velocidad es $2B$. Para M niveles: $C = 2B \log_2 M$
- ❖ Shannon: $C = B \log_2(1 + SNR)$
- ❖ E_b/N_o: cociente entre la energía de la señal por bit y la densidad de potencia de ruido por hercio:

$$\begin{aligned} E_b/N_0 &= S \cdot T_b / kT = S / kT \cdot R = \\ &= S \cdot B / kT \cdot R \cdot B = S \cdot B / N \cdot R = \\ &= SNR \cdot B/R \\ T_b &= 1/R \text{ (s)} \end{aligned}$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S / R}{N_0} = \frac{S}{kTR}$$

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{dB} = S_{dBW} - 10 \log R + 228,6 dBW - 10 \log T$$

B = ancho de banda (Hz)

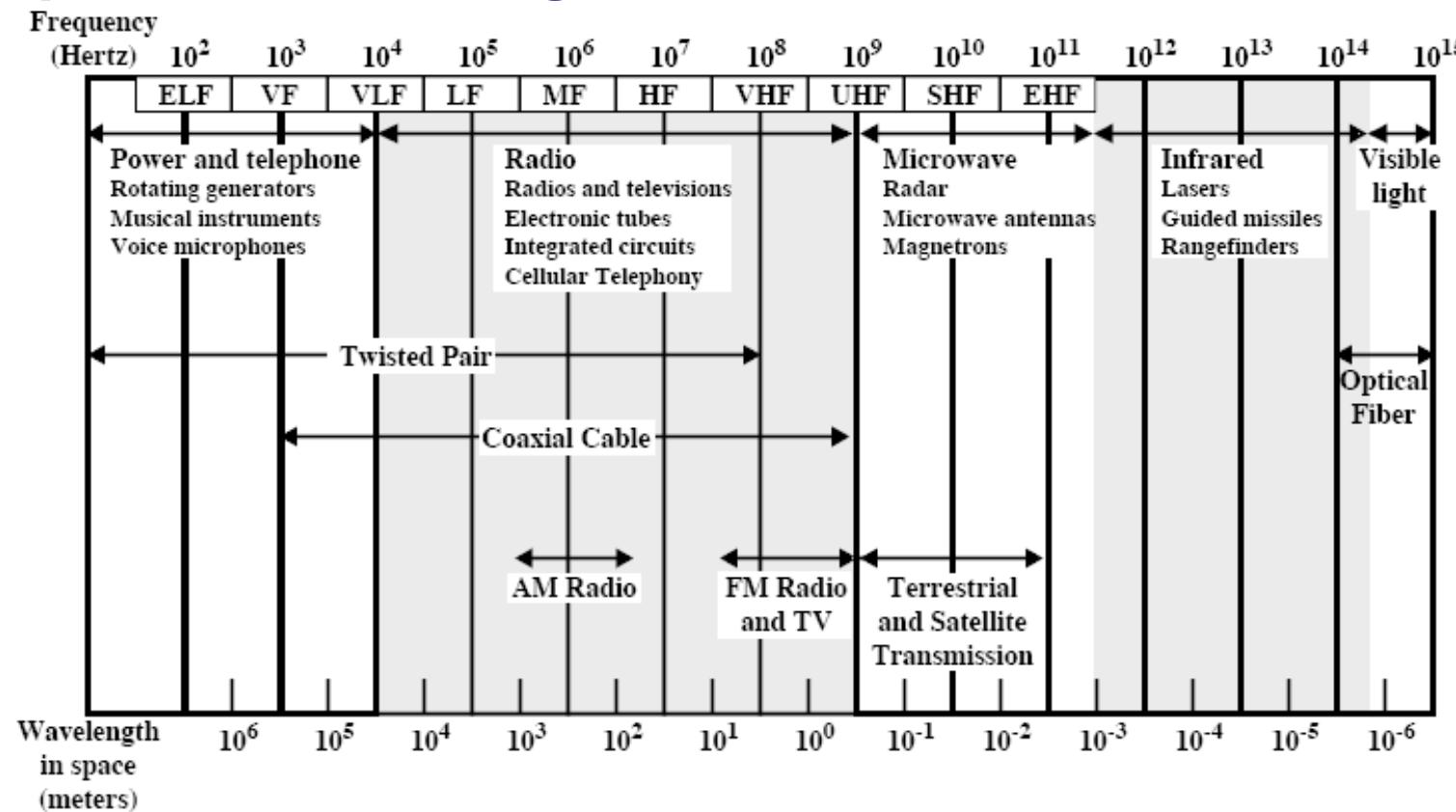


Al aumentar los niveles pueden aparecer mayores errores con ruido, ya que la distancia entre ellos es menor.

Medios de transmisión

- ❖ El medio de transmisión es el camino físico entre el transmisor y el receptor
 - Medios guiados
 - Medios no guiados
- ❖ Se busca que tanto la distancia como la velocidad de transmisión sean lo más grandes posible. Factores que influyen:
 - Ancho de banda
 - Perturbaciones en la transmisión
 - Interferencias
 - Varios receptores en un medio guiado: conectores

Medios de transmisión Espectro electromagnético



ELF = Extremely low frequency
 VF = Voice frequency
 VLF = Very low frequency
 LF = Low frequency

MF = Medium frequency
 HF = High frequency
 VHF = Very high frequency

UHF = Ultrahigh frequency
 SHF = Superhigh frequency
 EHF = Extremely high frequency

Medios de transmisión ► Medios guiados

Par trenzado (1)

- ❖ Dos cables de cobre (0,4-0,9 mm), trenzados para reducir la diafonía
 - Un cable para la corriente en un sentido y el otro para el otro sentido.
- ❖ Aplicaciones:
 - Telefonía: bucle de abonado
 - Redes de área local
 - La razón por la que se trenzan es para eliminar el campo electromagnético que produce la corriente que pasa por un cable hacia un sentido, con otro cable cuya corriente va en sentido contrario y el campo emitido elimina el anterior.
- ❖ Muy susceptible a atenuación, interferencias y ruido
- ❖ Tipos:
 - No apantallado (UTP): EIA-568-A
 - Tipo 3: hasta 16 MHz. Calidad telefónica. Trenzado 7,5-10 cm
 - Tipo 5 (5E): hasta 100 MHz. Calidad de datos. Trenzado 0,6-0,85 cm



- Apantallado (STP): el par va forrado por una malla metálica



Medios de transmisión ► Medios guiados Par trenzado (2)

- ❖ Existen tipos superiores con anchos de hasta 600 MHz: Tipo 6/
Clase E, Tipo 7/Clase F
- ❖ NEXT: Diafonía cercana al extremo 



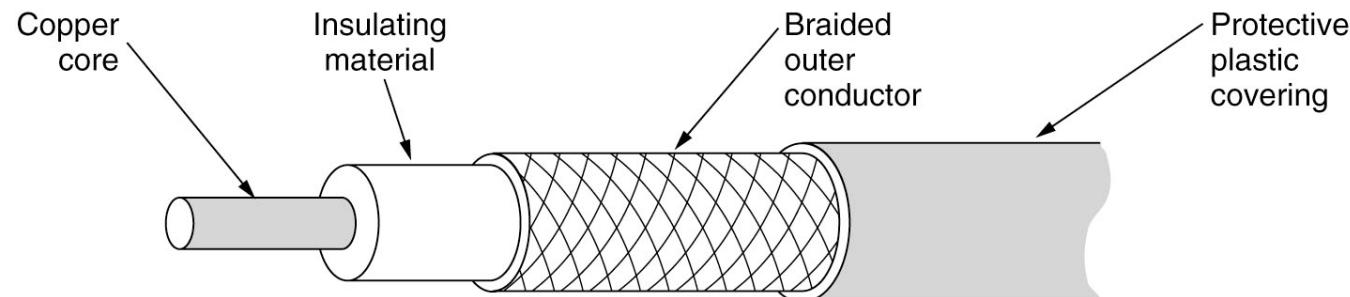
Frequency (MHz)	Attenuation (dB per 100 m)			Near-end Crosstalk (dB)		
	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150-ohm STP	Category 3 UTP	Category 5 UTP	150-ohm STP
1	2.6	2.0	1.1	41	62	58
4	5.6	4.1	2.2	32	53	58
16	13.1	8.2	4.4	23	44	50.4
25	—	10.4	6.2	—	41	47.5
100	—	22.0	12.3	—	32	38.5
300	—	—	21.4	—	—	31.3

Requisitos y normas que han de cumplir, para mayor categorías es mayor la norma.

Medios de transmisión ► Medios guiados

Cable coaxial

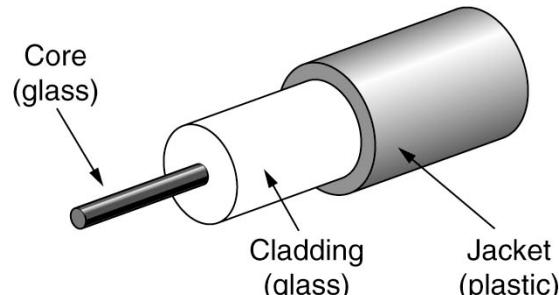
- ❖ Conductor externo, dieléctrico, conductor interno
- ❖ Aplicaciones:
 - Distribución de televisión
 - Telefonía a larga distancia: hasta 10000 canales de voz mediante FDM
 - Redes de área local
- ❖ Mayores frecuencias y velocidades que el par trenzado. Menos susceptible a diafonía e interferencias



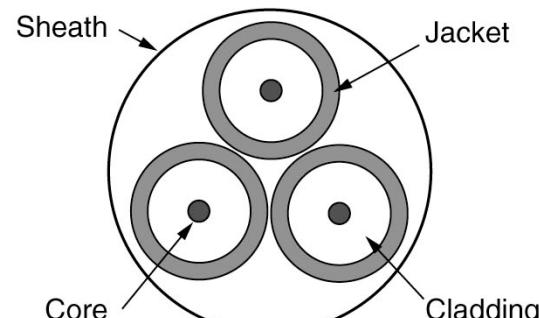
Medios de transmisión ► Medios guiados

Fibra óptica (1)

- ❖ Medio flexible y delgado (de 2 a 125 µm) capaz de confinar un haz de naturaleza óptica
- ❖ Fabricada con: silicio ultrapuro, cristales multicomponente o plástico 
- ❖ Consta de núcleo, revestimiento y cubierta



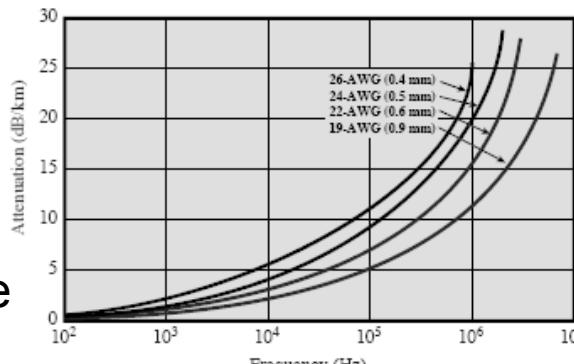
(a)



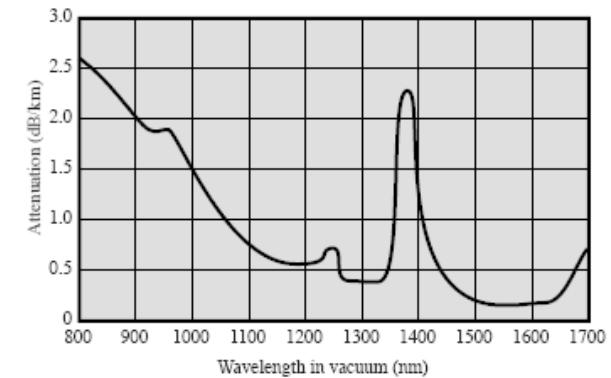
(b)

Medios de transmisión ► Medios guiados Fibra óptica (2)

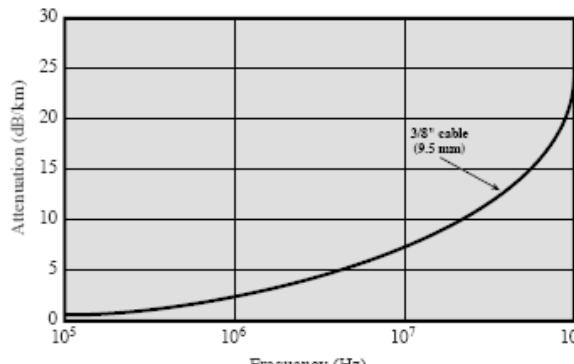
- ❖ Supera al par trenzado y al cable coaxial:
 - Velocidades de Gbps a decenas de kilómetros
 - Atenuación
 - Aislamiento electromagnético



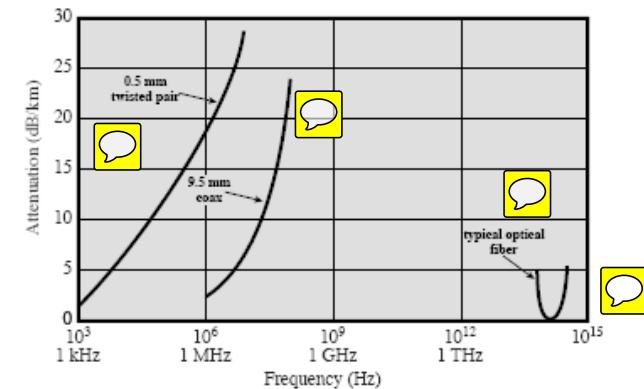
(a) Twisted pair (based on [REEV95])



(c) Optical fiber (based on [FREE02])



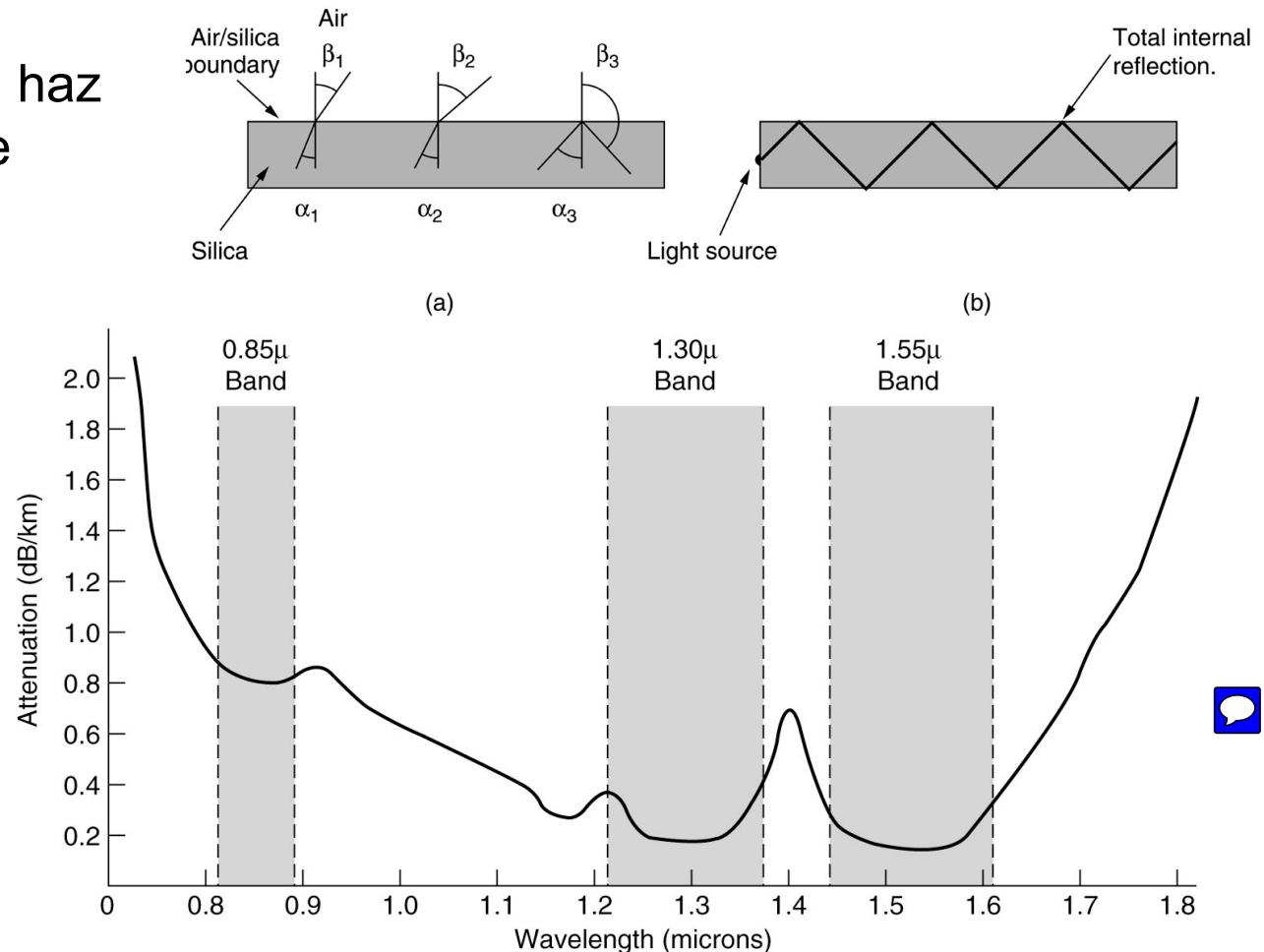
(b) Coaxial cable (based on [BELL90])



(d) Composite graph

Medios de transmisión ► Medios guiados Fibra óptica (3)

- ❖ La propagación del haz de luz en la fibra se fundamenta en la reflexión total
- ❖ Atenuación y bandas de frecuencia



Medios de transmisión ► Medios guiados
Fibra óptica (4)

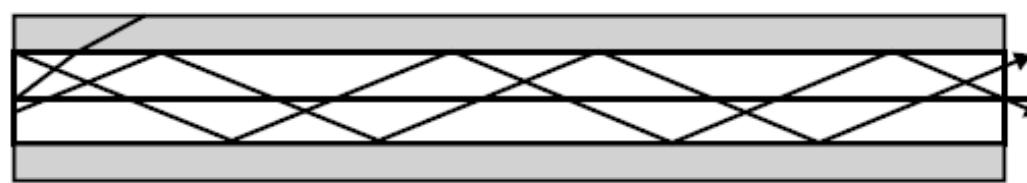
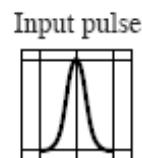
❖ Aplicaciones

- Transmisiones a larga distancia: 20000 a 60000 canales de voz
- Circuitos troncales en áreas metropolitanas
- Acceso a áreas rurales
- Bucles de abonado
- Redes de área local

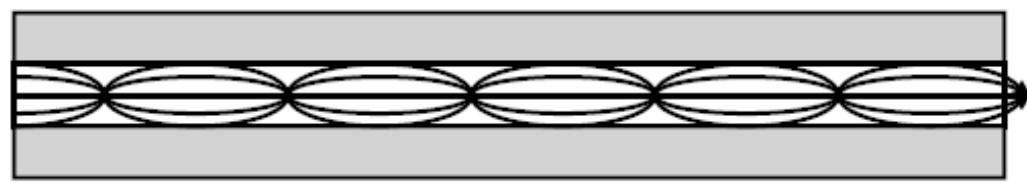
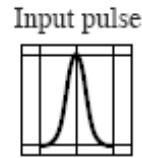
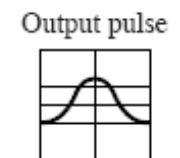
Medios de transmisión ► Medios guiados Fibra óptica (5)

❖ Tipos

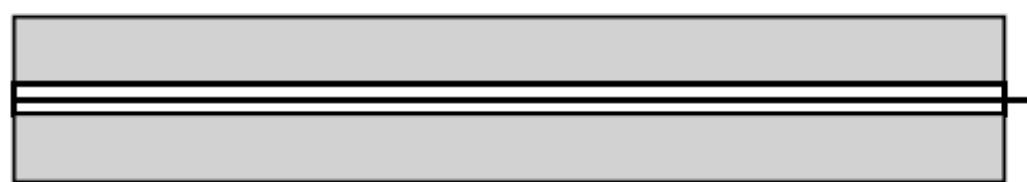
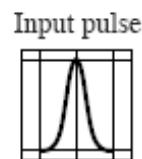
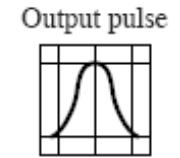
- Multimodo de índice discreto
- Multimodo de índice gradual
- Monomodo



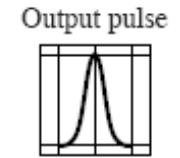
(a) Step-index multimode



(b) Graded-index multimode



(c) Single mode



Medios de transmisión ► Medios guiados **Fibra óptica (6)**

- ❖ Cuatro bandas en la zona infrarroja del espectro



Rango de longitudes de onda (en el vacío) (nm)	Rango de frecuencia (THz)	Etiqueta	Tipo de fibra	Aplicación
820 a 900	366 a 33		Multimodo	LAN
1.280 a 1.350	234 a 222	S	Monomodo	Varias
1.528 a 1.561	196 a 192	C	Monomodo	WDM 
1.561 a 1.620	192 a 185	L	Monomodo	WDM

WDM = Multiplexación por división en frecuencias (*Wavelength Division Multiplexing*, véase Capítulo 8).

- ❖ Fuentes de luz
 - LED
 - ILD

Medios de transmisión

Medios no guiados

- ❖ Tanto la transmisión como la recepción se realizan mediante una antena. Una antena es un conductor o conjunto de conductores eléctricos que radia o capta energía electromagnética
- ❖ Antena isotrópica u omnidireccional es aquella que radia igual potencia en todas direcciones
- ❖ La medida de la direccionalidad de una antena se denomina ganancia



Medios de transmisión ► Medios no guiados

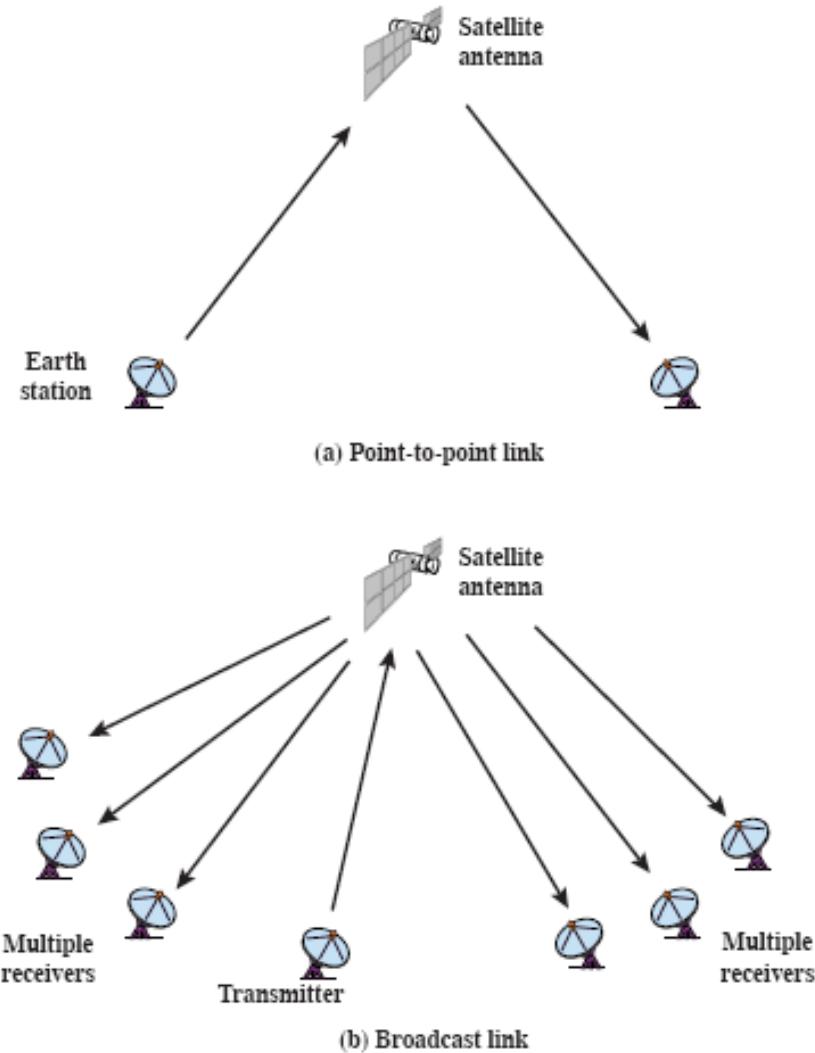
Microondas terrestres

- ❖ Banda de frecuencias entre 1 y 40 GHz
- ❖ Atenuación:
$$L = 10 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 \text{ dB}$$
- ❖ Interferencias, si no se respeta la asignación de bandas
- ❖ Aplicaciones
 - Transmisión de larga distancia: bandas 4-6 GHz y 11 GHz
 - Distribución TV por cable: 12 GHz
 - Enlaces cortos: 22 GHz

Medios de transmisión ► Medios no guiados

Microondas por satélite (1)

- ❖ Las bandas de frecuencia se denominan canales transpondedores
- ❖ Satélites geoestacionarios para enlaces punto a punto o de difusión
- ❖ Rango óptimo de transmisión entre 1 y 10 GHz
- ❖ Retardo de propagación ≈ 250 ms



Medios de transmisión ► Medios no guiados
Microondas por satélite (2)

Banda	Enlace ascendente	Enlace descendente	Características
C 4/6 GHz	5,925-6,425 GHz	3,7-4,2 GHz	Ha quedado saturada
Ku 12/14 GHz	14-14,5 GHz	11,7-12,2 GHz	Problemas de atenuación (lluvia) Receptores más pequeños y baratos
Ka 20/30 GHz	27,5-30 GHz	17,7-20,2 GHz	Atenuación mayor (lluvia) Mayor ancho de banda (2500 MHz)

❖ Aplicaciones

- Distribución de TV: difusión directa vía satélite
- Telefonía: enlaces punto a punto entre centrales
- Sistemas de terminales VSAT

Medios de transmisión ► Medios no guiados

Ondas de radio

- ❖ Se emplean antenas omnidireccionales
- ❖ Rango de frecuencias entre 30 MHz y 1 GHz
- ❖ Atenuación:
$$L = 10 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 dB$$
- ❖ Interferencia multirayectoria
- ❖ Aplicaciones:
 - Radio FM
 - Televisión VHF y UHF

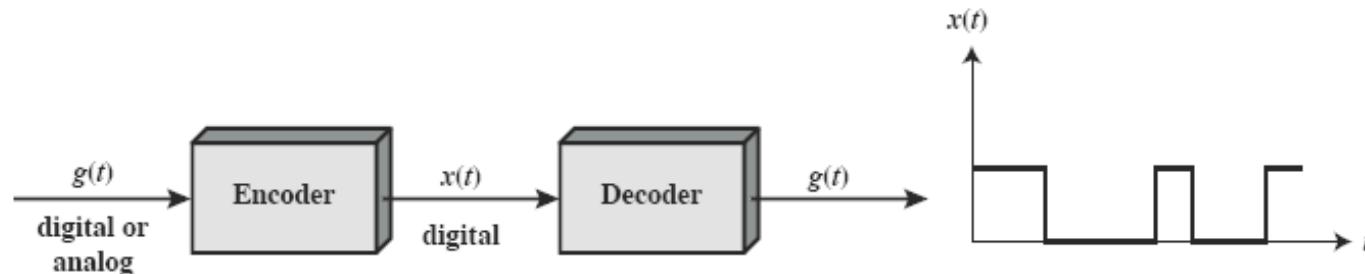


Medios de transmisión ► Medios no guiados
Infrarrojos

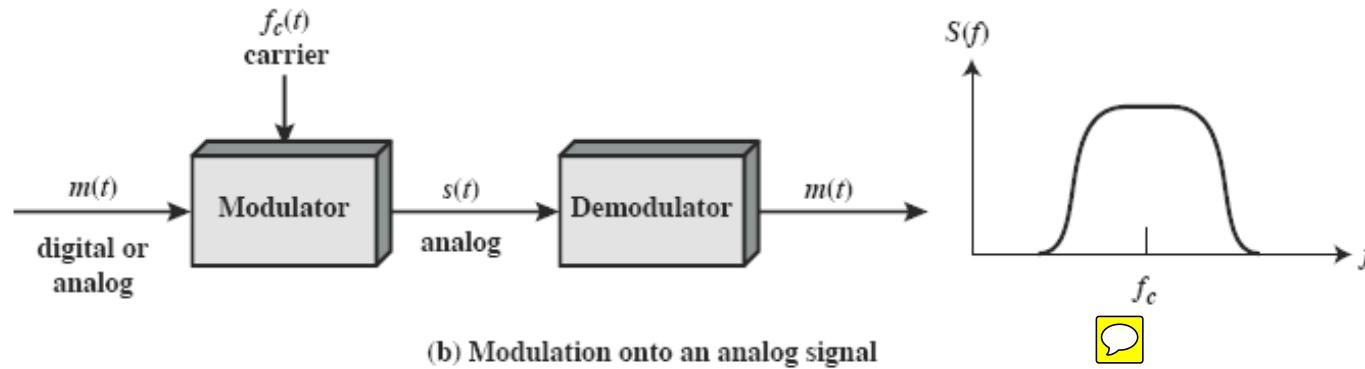
- ❖ Transceptores: transmisores/receptores que modulan luz infrarroja
- ❖ Deben estar alineados
- ❖ No pueden atravesar obstáculos: no hay problemas de seguridad, interferencias o asignación de frecuencias

Codificación y modulación

- ❖ Los datos digitales y analógicos pueden ser codificados o modulados



(a) Encoding onto a digital signal 



(b) Modulation onto an analog signal 

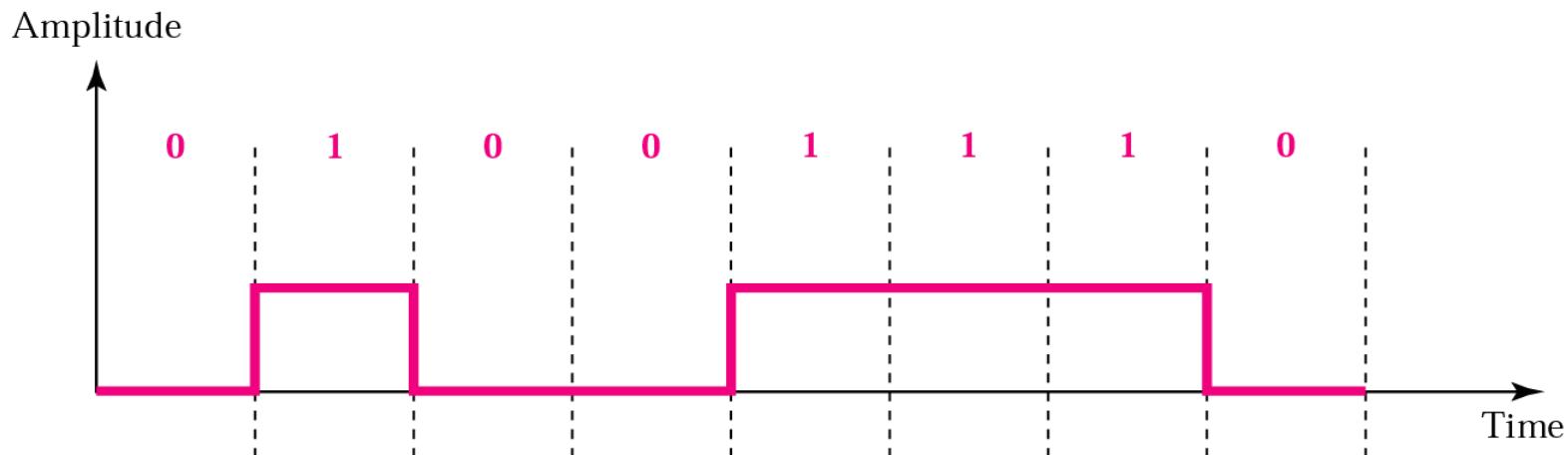
Codificación y modulación

Datos digitales, señales digitales

- ❖ Velocidad de transmisión (bps) y velocidad de modulación (baudios)
- ❖ Evaluar técnicas de codificación:
 - Espectro de la señal
 - Sincronización
 - Detección de errores
 - Inmunidad al ruido e interferencias
 - Coste y complejidad
- ❖ Primera clasificación:
 - Unipolar
 - Polar
 - Bipolar

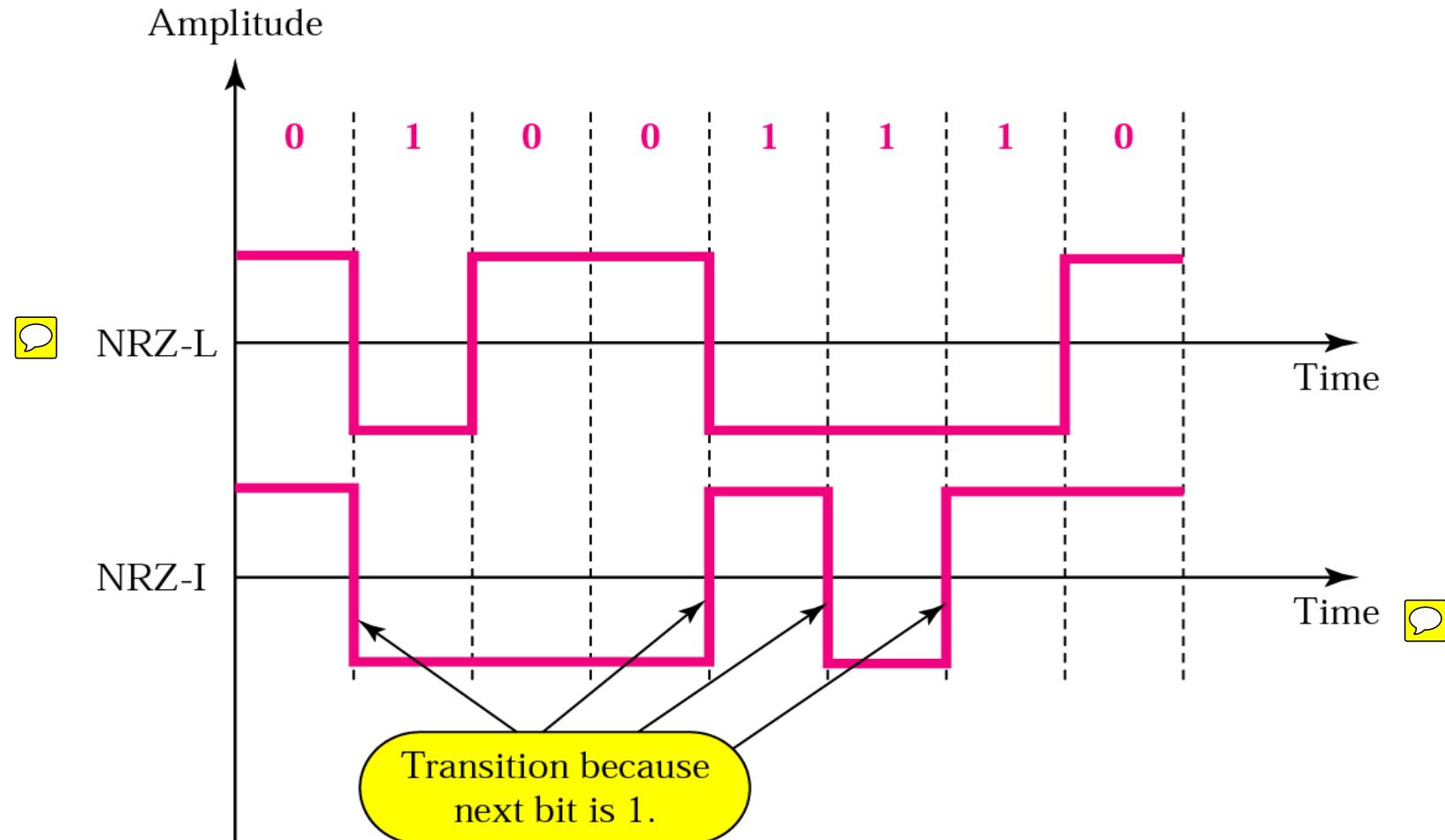
Codificación y modulación ► Datos digitales, señales digitales Unipolar

- ❖ Casi obsoleta
- ❖ Inconvenientes:
 - Presencia de componente dc
 - Pérdida de sincronización



Codificación y modulación ► Datos digitales, señales digitales

No retorno a cero (NRZ) (1)



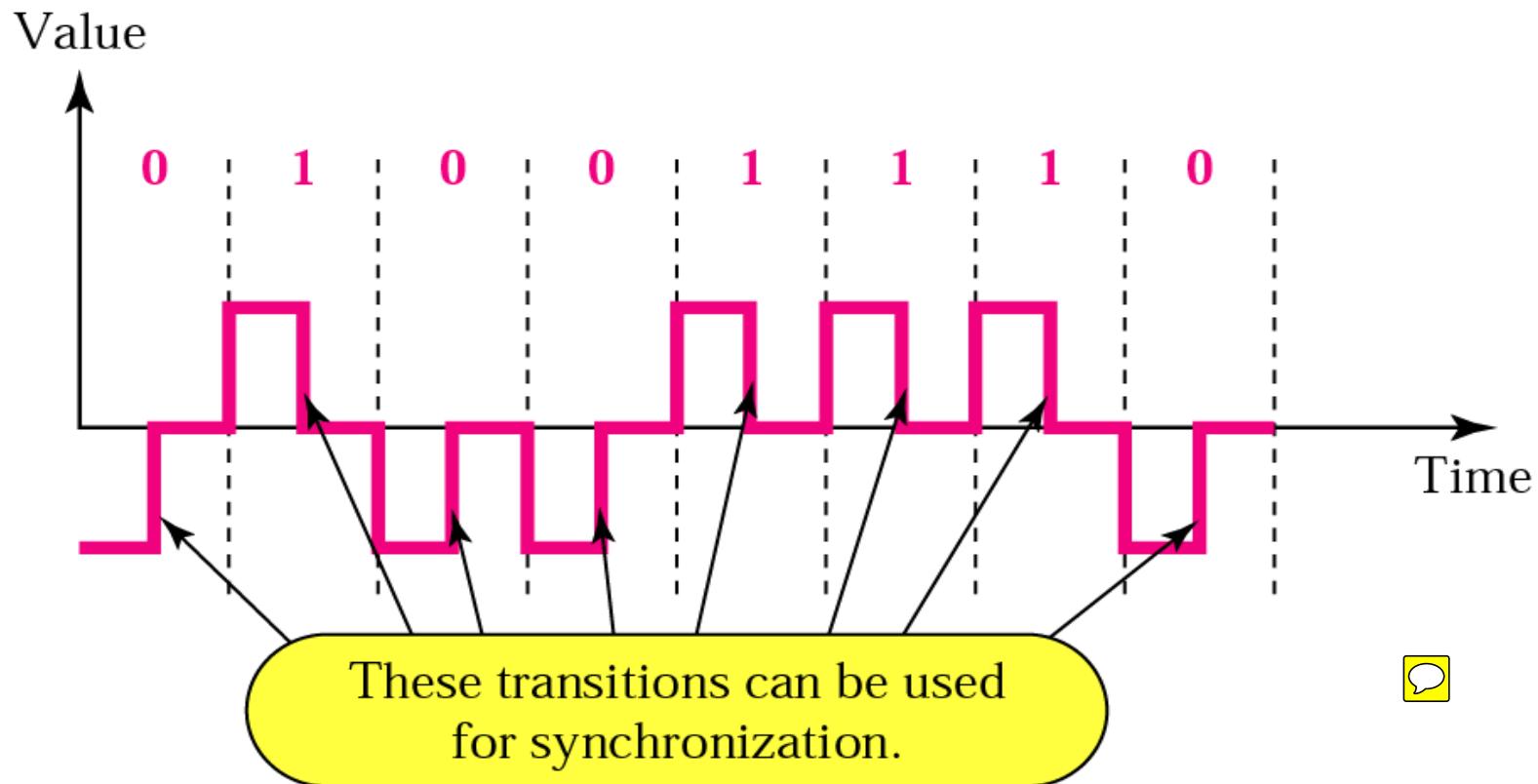
Codificación y modulación ► Datos digitales, señales digitales

No retorno a cero (NRZ) (2)

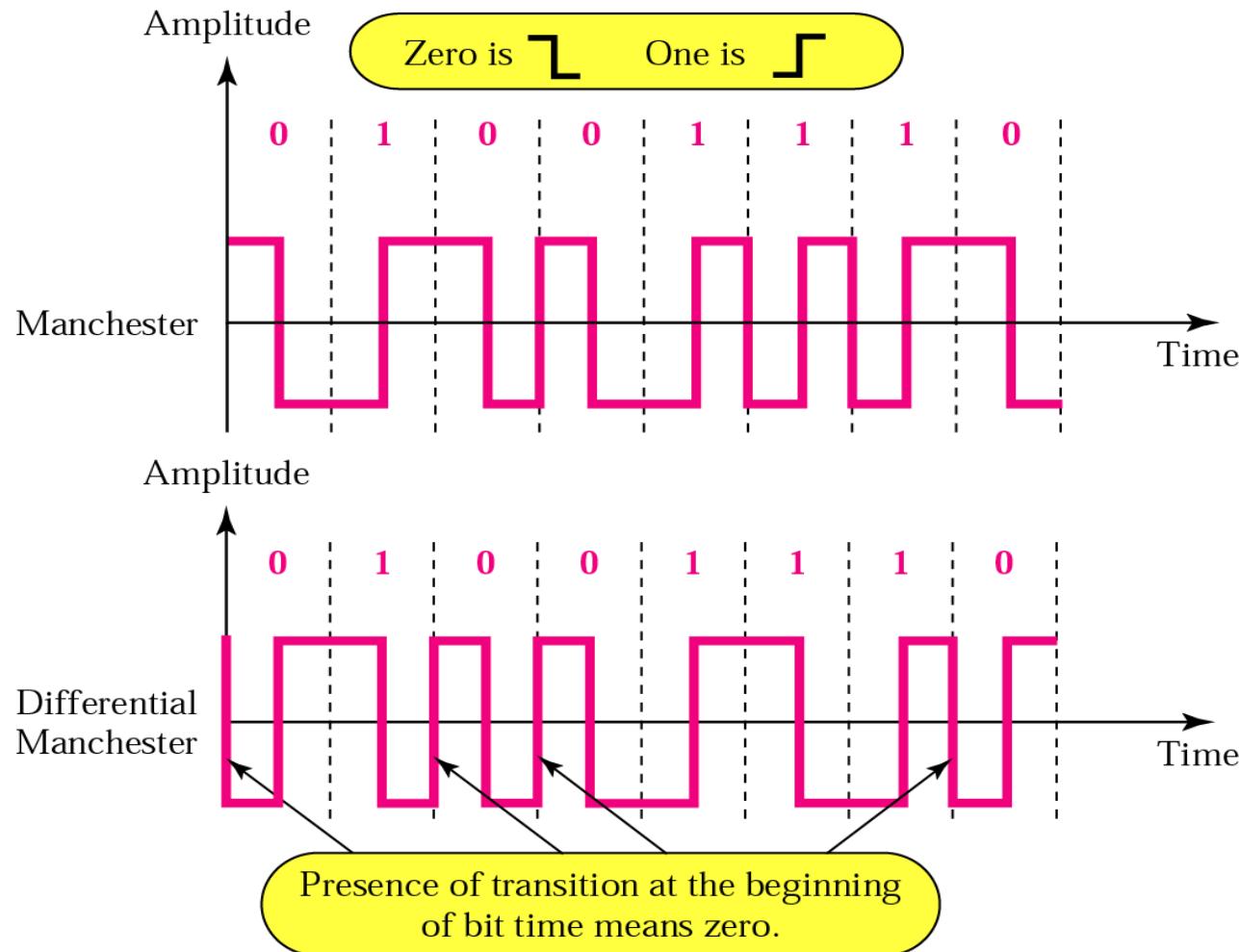
- ❖ Ventajas:
 - Fácil implementación
 - Uso eficaz del ancho de banda
- ❖ Inconvenientes:
 - Presencia de componente dc
 - Ausencia de capacidad de sincronización
- ❖ Aplicaciones:
 - En terminales y otros dispositivos
 - Grabaciones magnéticas

Codificación y modulación ► Datos digitales, señales digitales
Retorno a cero (RZ)

- ❖ Resuelve el problema de la sincronización



Codificación y modulación ► Datos digitales, señales digitales **Bifase (1)**



Codificación y modulación ► Datos digitales, señales digitales **Bifase (2)**

❖ Ventajas:

- Códigos autosincronizados
- Ausencia de dc
- Detección de errores

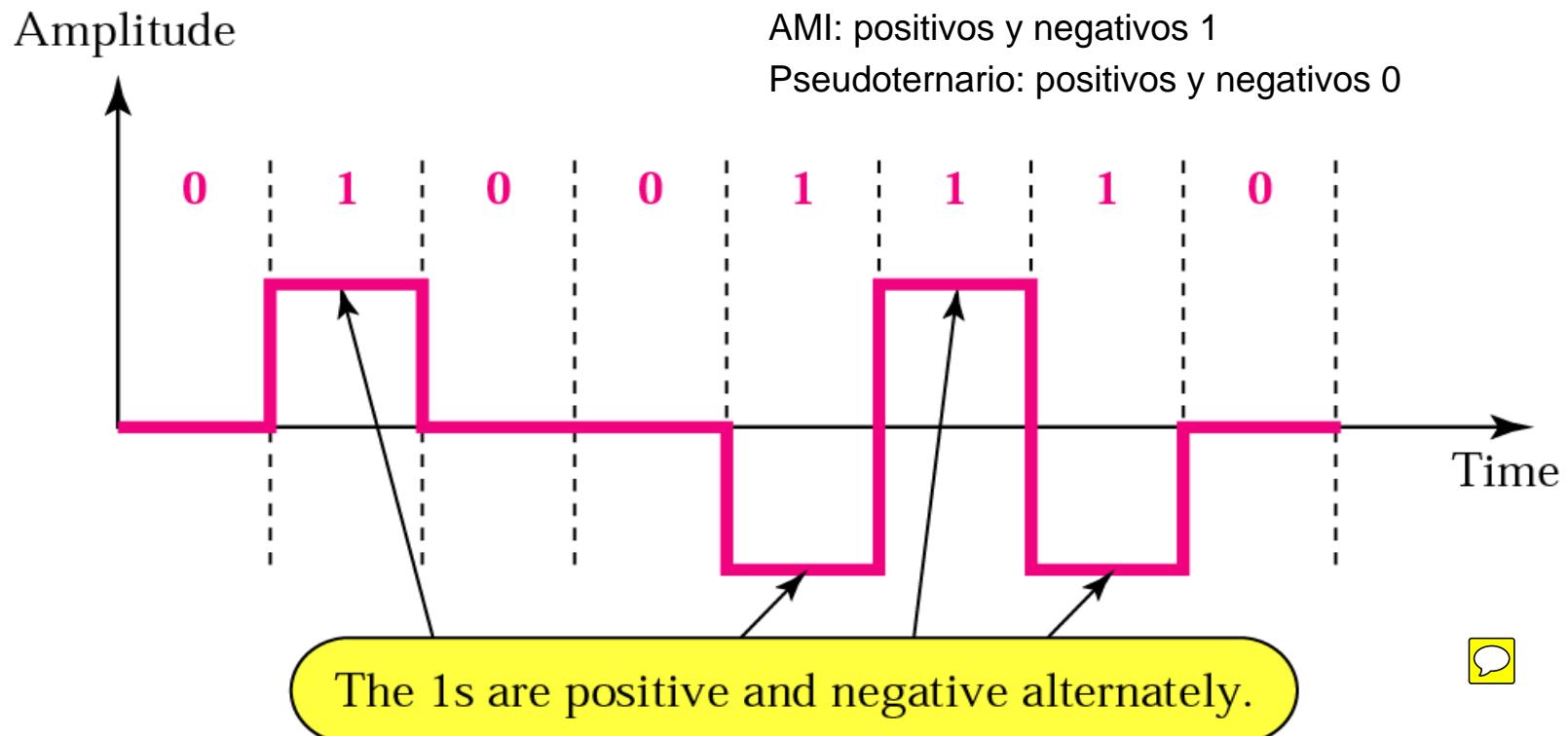
❖ Inconvenientes:

- La velocidad de modulación es el doble que en NRZ

❖ Aplicaciones:

- Manchester: IEEE 802.3
- Manchester diferencial: IEEE 802.5

Codificación y modulación ► Datos digitales, señales digitales
Binario multinivel (1)



Codificación y modulación ► Datos digitales, señales digitales

Binario multinivel (2)

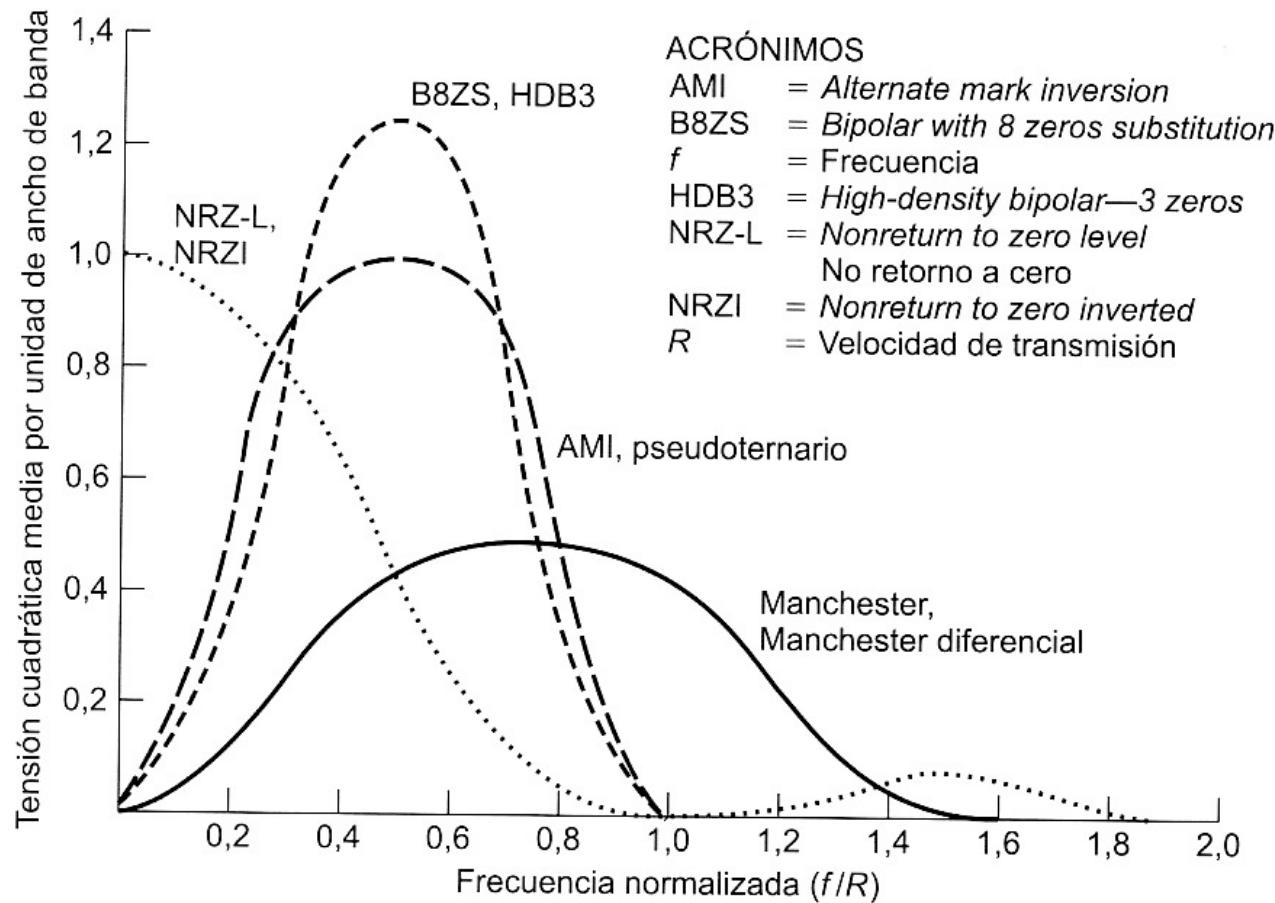
❖ Ventajas:

- Sincronización en largas cadenas de unos (o ceros)
- Ausencia de dc
- Ancho de banda menor que NRZ
- Detección de errores

❖ Inconvenientes:

- El receptor debe distinguir tres niveles
- Problemas de sincronización en cadenas de ceros (o unos)

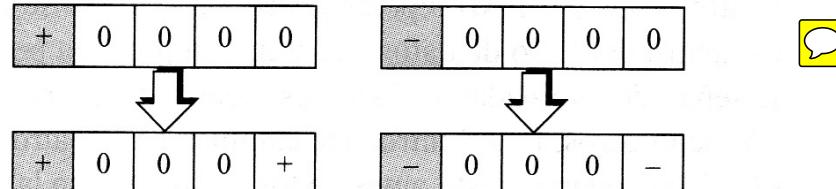
Codificación y modulación ► Datos digitales, señales digitales Densidad espectral



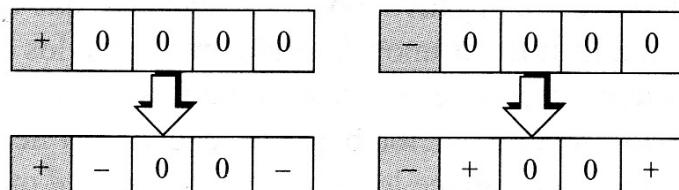
Codificación y modulación ▶ Datos digitales, señales digitales

Técnicas de aleatorización (1)

- ❖ Los esquemas bifase no son adecuados para larga distancia
- ❖ B8ZS: octeto todo a cero
 - Último valor positivo: 000+ - 0 - +
 - Último valor negativo: 000 - +0+ -
- ❖ HDB3

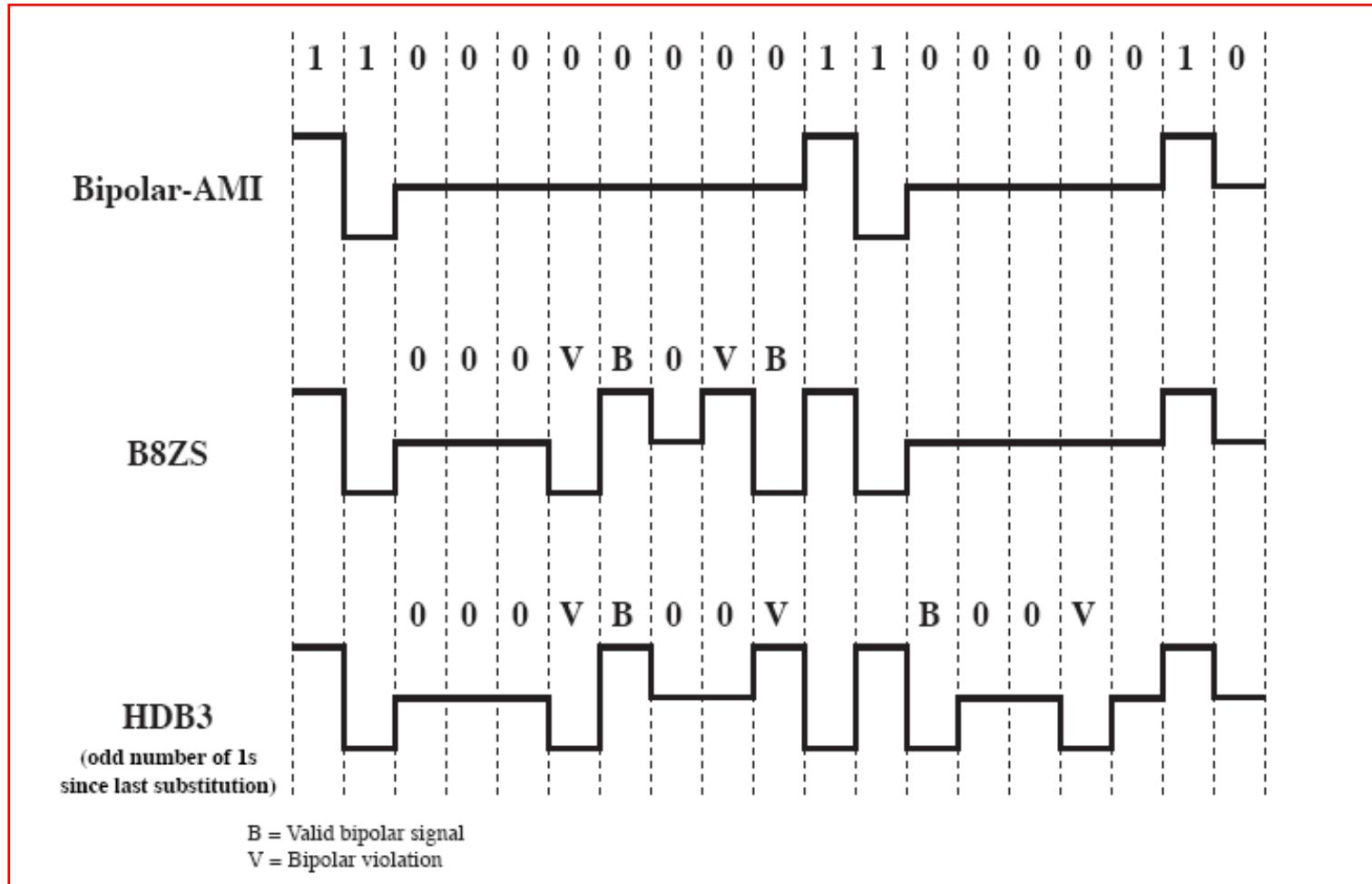


(a) Si el número de unos desde la última sustitución es impar

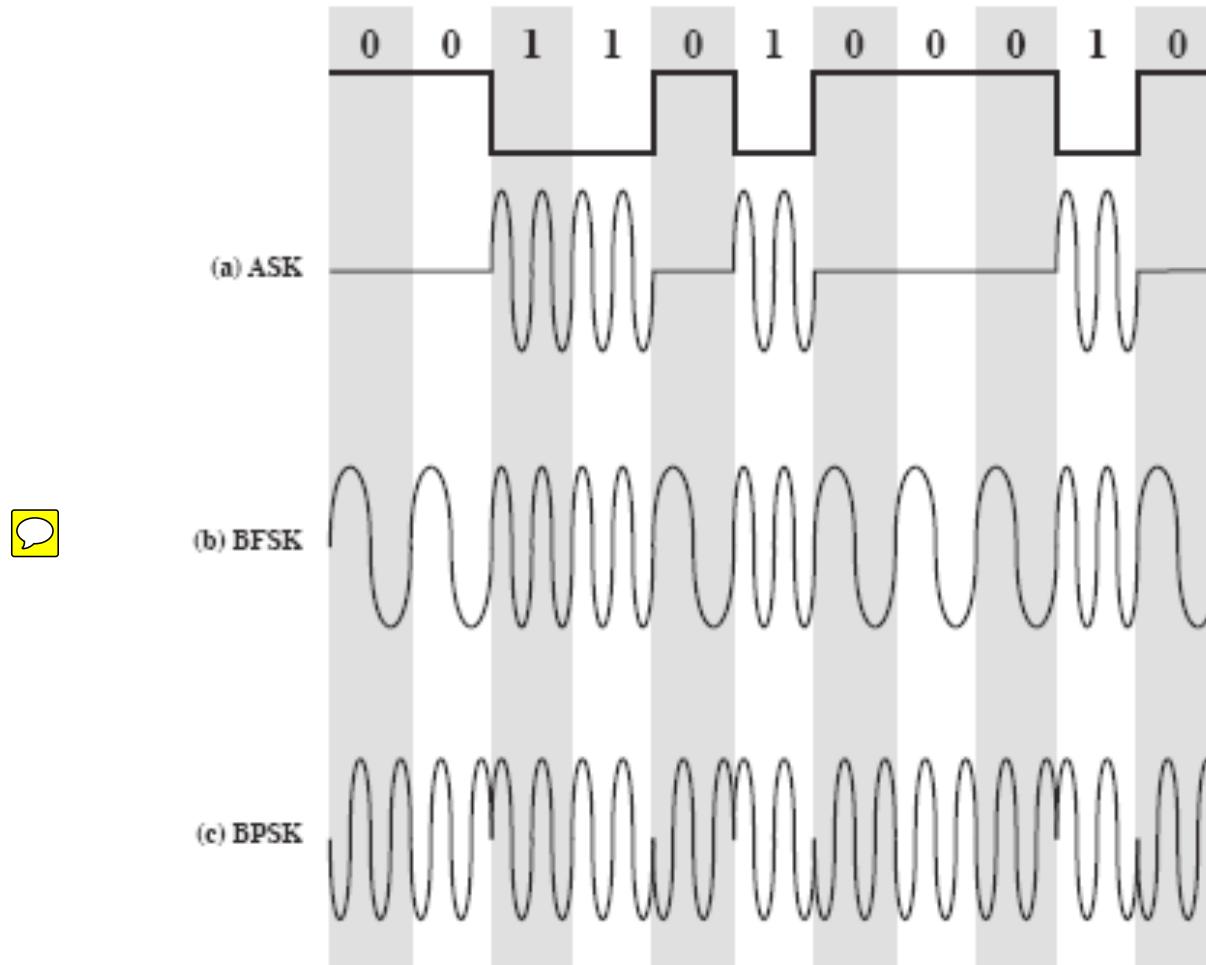


(b) Si el número de unos desde la última sustitución es par

Codificación y modulación ► Datos digitales, señales digitales
Técnicas de aleatorización (2)



Codificación y modulación
Datos digitales, señales analógicas



Codificación y modulación ► Datos digitales, señales analógicas

Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK)

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & 1 \text{ binario} \\ 0 & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

❖ Ancho de banda

$$B_T = (1 + r)R$$

❖ Aplicaciones:

- Líneas de calidad telefónica: hasta 1200 bps
- Transmisión en fibra óptica

Codificación y modulación ▶ Datos digitales, señales analógicas

Modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK)

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_1 t) & 1 \text{ binario} \\ A \cos(2\pi f_2 t) & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

- ❖ Ancho de banda

$$B_T = 2\Delta F + (1+r)R$$

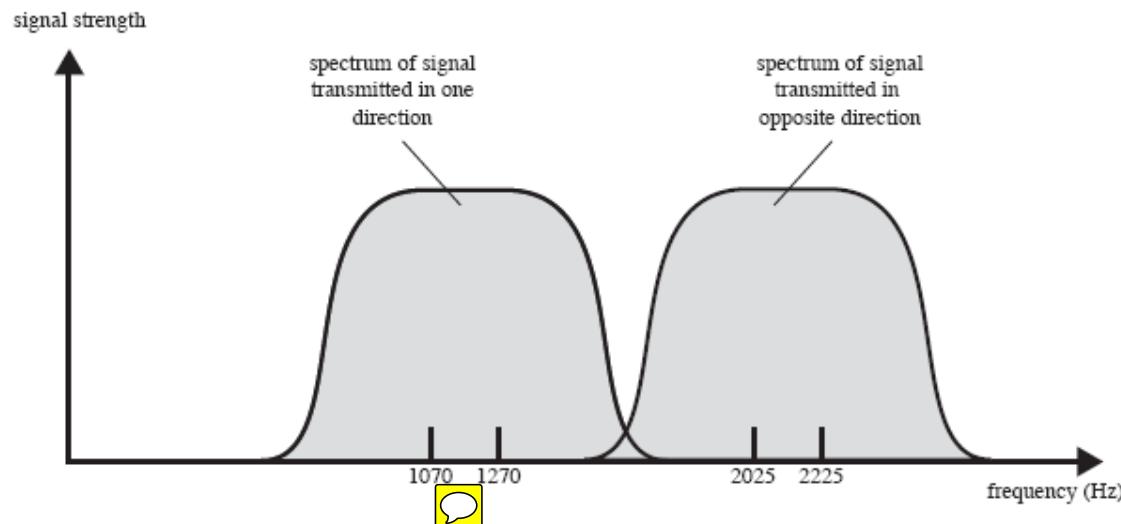


$$B_T = \left(\frac{(1+r)M}{\log_2 M} \right) R$$



- ❖ Aplicaciones:

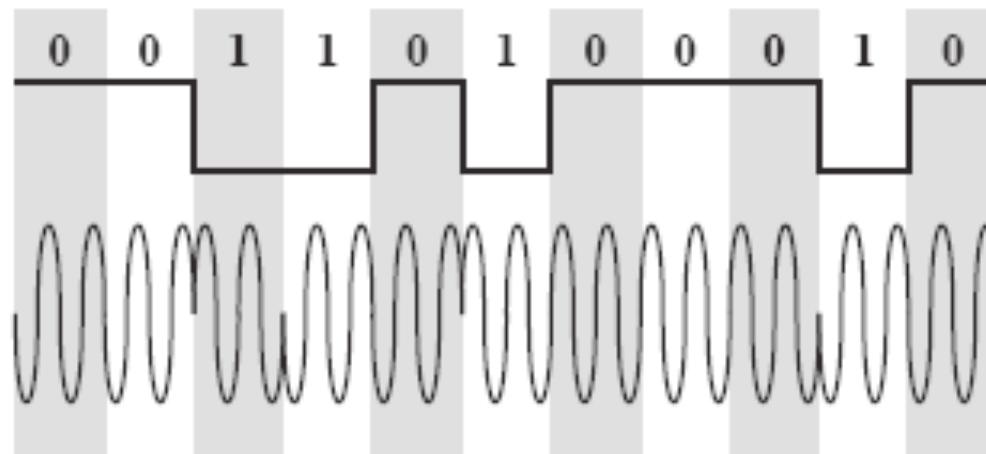
- Líneas de calidad telefónica: transmisión dúplex



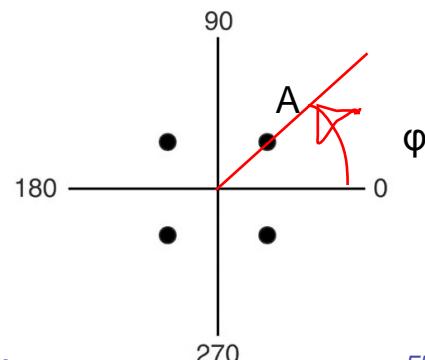
Codificación y modulación ▶ Datos digitales, señales analógicas
Modulación por desplazamiento de fase (PSK)

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t) & 1 \text{ binario} \\ A \cos(2\pi f_c t + \pi) = -A \cos(2\pi f_c t) & 0 \text{ binario} \end{cases}$$

❖ DPSK



❖ QPSK



❖ Ancho de banda $B_T = (1 + r)R$

$$B_T = \left(\frac{1+r}{L} \right) R = \left(\frac{1+r}{\log_2 M} \right) R$$

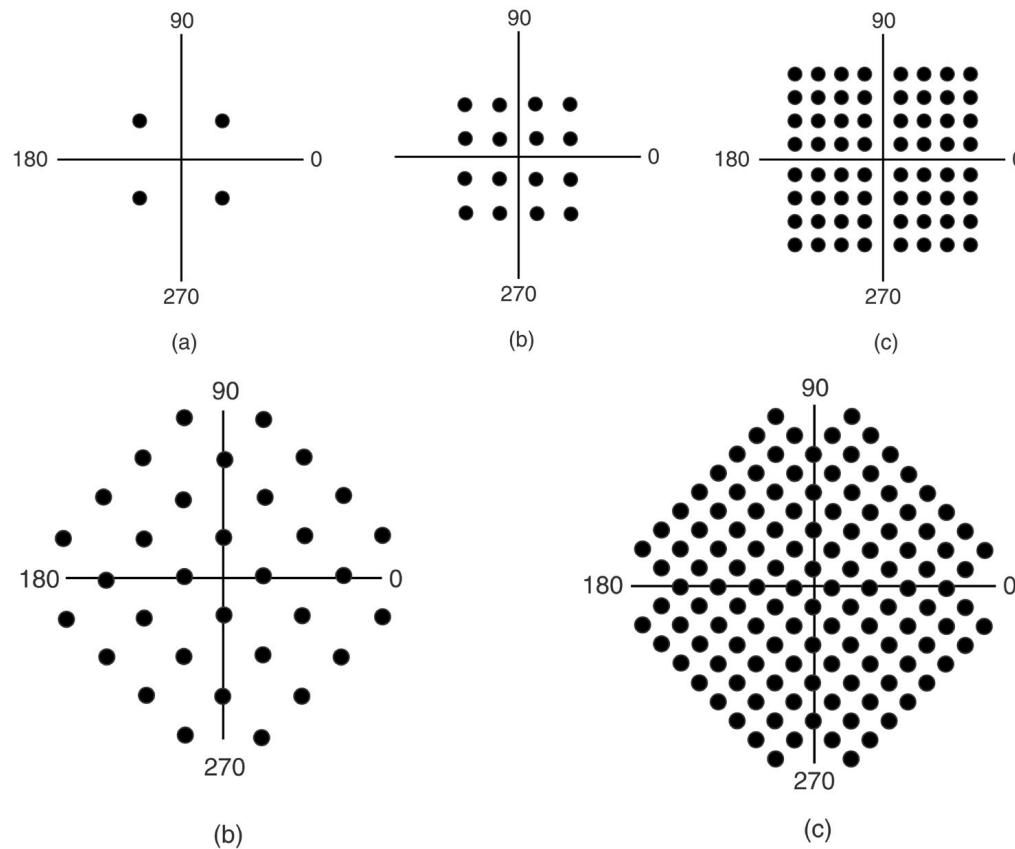
Codificación y modulación ► Datos digitales, señales analógicas
Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)

- ❖ Combinación de ASK y PSK

- ❖ Aplicaciones:

- ADSL

Redes Wifi 802.11



Codificación y modulación ► Datos digitales, señales analógicas

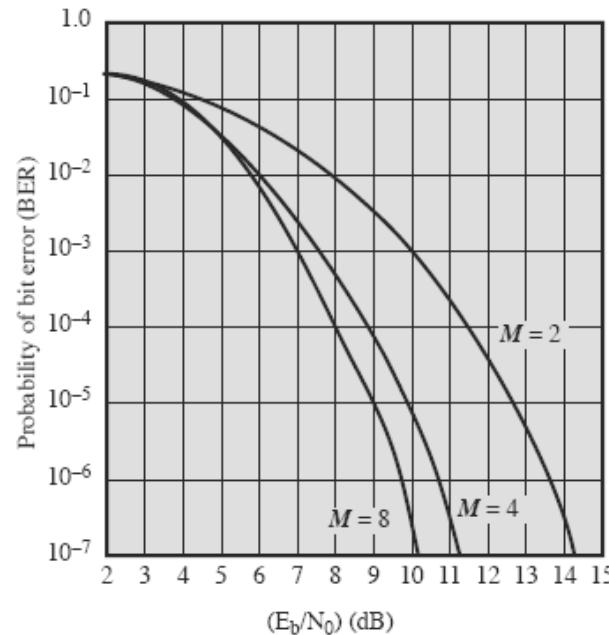
Prestaciones (1)

- ❖ Eficiencia espectral: R/B_T 

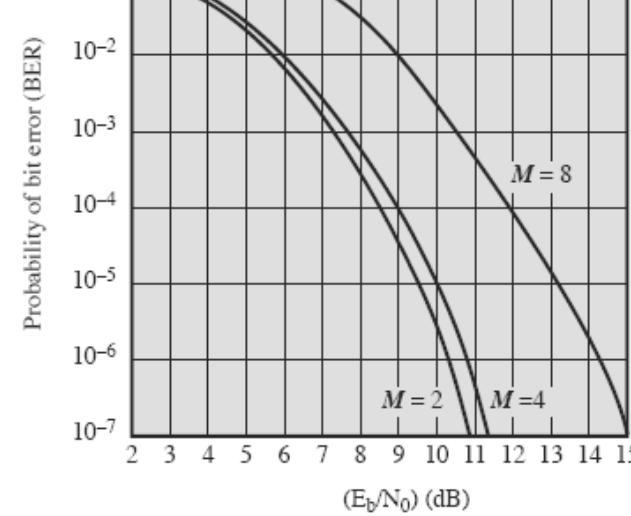
	$r = 0$	$r = 0.5$	$r = 1$
ASK	1.0	0.67	0.5
FSK			
Wideband ($\Delta F \gg R$)	~0	~0	~0
Narrowband ($\Delta F = f_c$)	1.0	0.67	0.5
PSK	1.0	0.67	0.5
Multilevel signaling			
$L = 4, b = 2$	2.00	1.33	1.00
$L = 8, b = 3$	3.00	2.00	1.50
$L = 16, b = 4$	4.00	2.67	2.00
$L = 32, b = 5$	5.00	3.33	2.50

Codificación y modulación ► Datos digitales, señales analógicas Prestaciones (2)

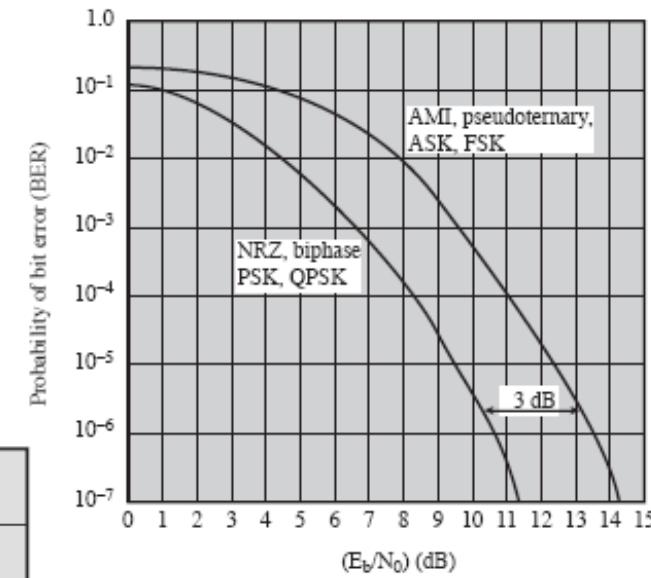
- ❖ Tasa de error por bit (BER)



(a) Multilevel FSK (MFSK)



(b) Multilevel PSK (MPSK)

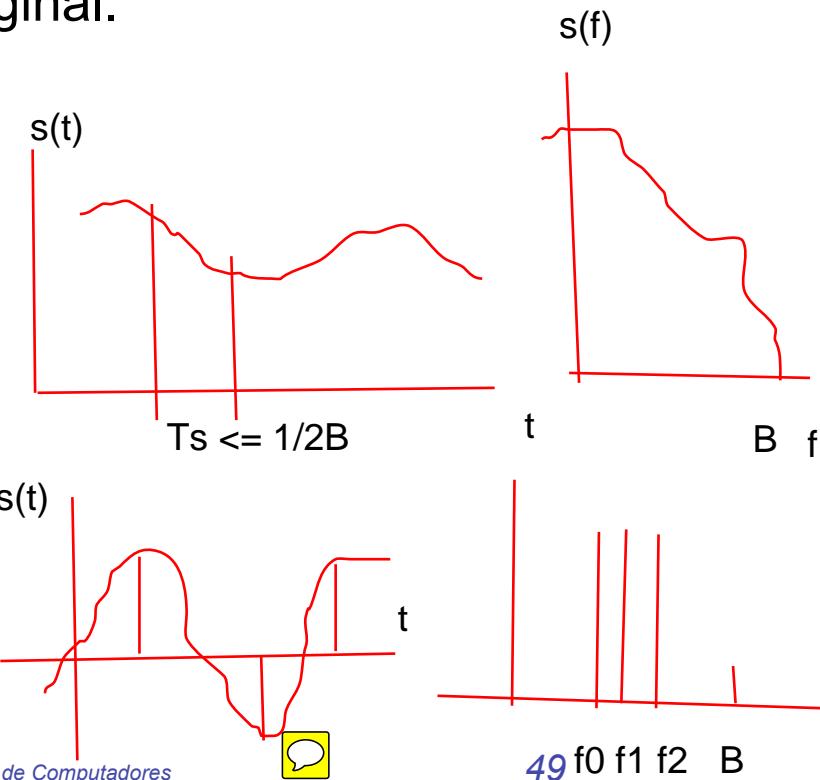


Computadores

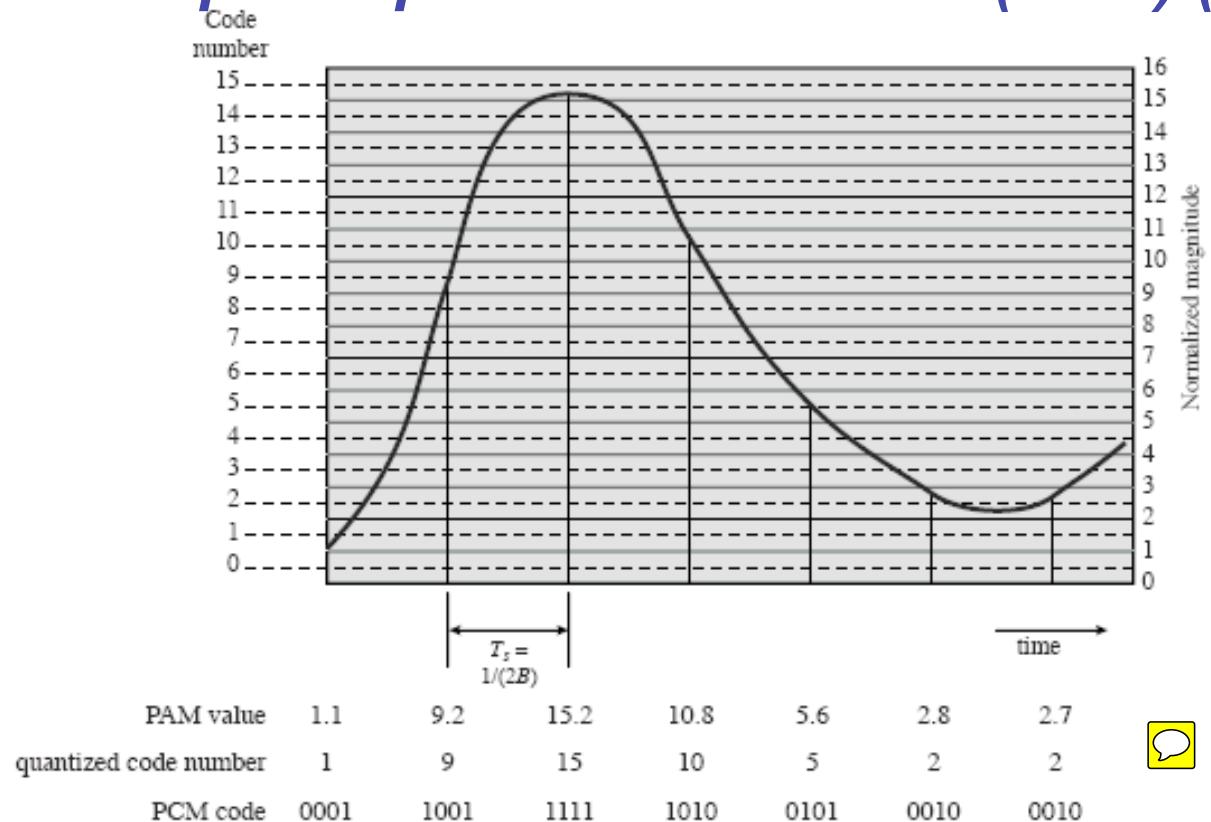
Codificación y modulación ► Datos analógicos, señales digitales

Modulación por impulsos codificados (PCM) (1)

- ❖ **Teorema del muestreo:** Si una señal $f(t)$ se muestrea a intervalos regulares de tiempo con una frecuencia mayor que el doble de la frecuencia más alta de la señal, las muestras así obtenidas contienen toda la información de la señal original.
- ❖ Tres pasos:
 - Modulación por amplitud de pulsos (PAM)
 - Cuantificación
 - Codificación



Codificación y modulación ▶ Datos analógicos, señales digitales
Modulación por impulsos codificados (PCM) (2)

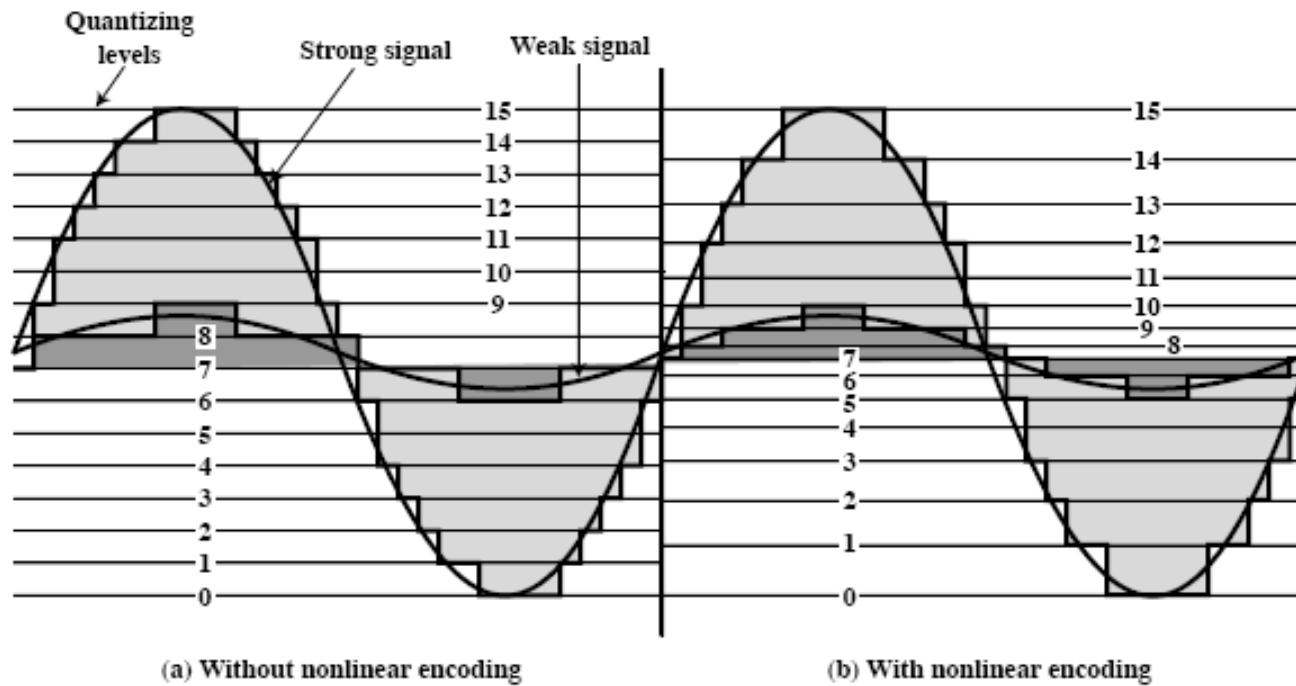


- ❖ Ruido de cuantificación $SNR_{dB} = 20 \log 2^n + 1,76 dB = 6,02n + 1,76dB$

Codificación y modulación ► Datos analógicos, señales digitales

Modulación por impulsos codificados (PCM) (3)

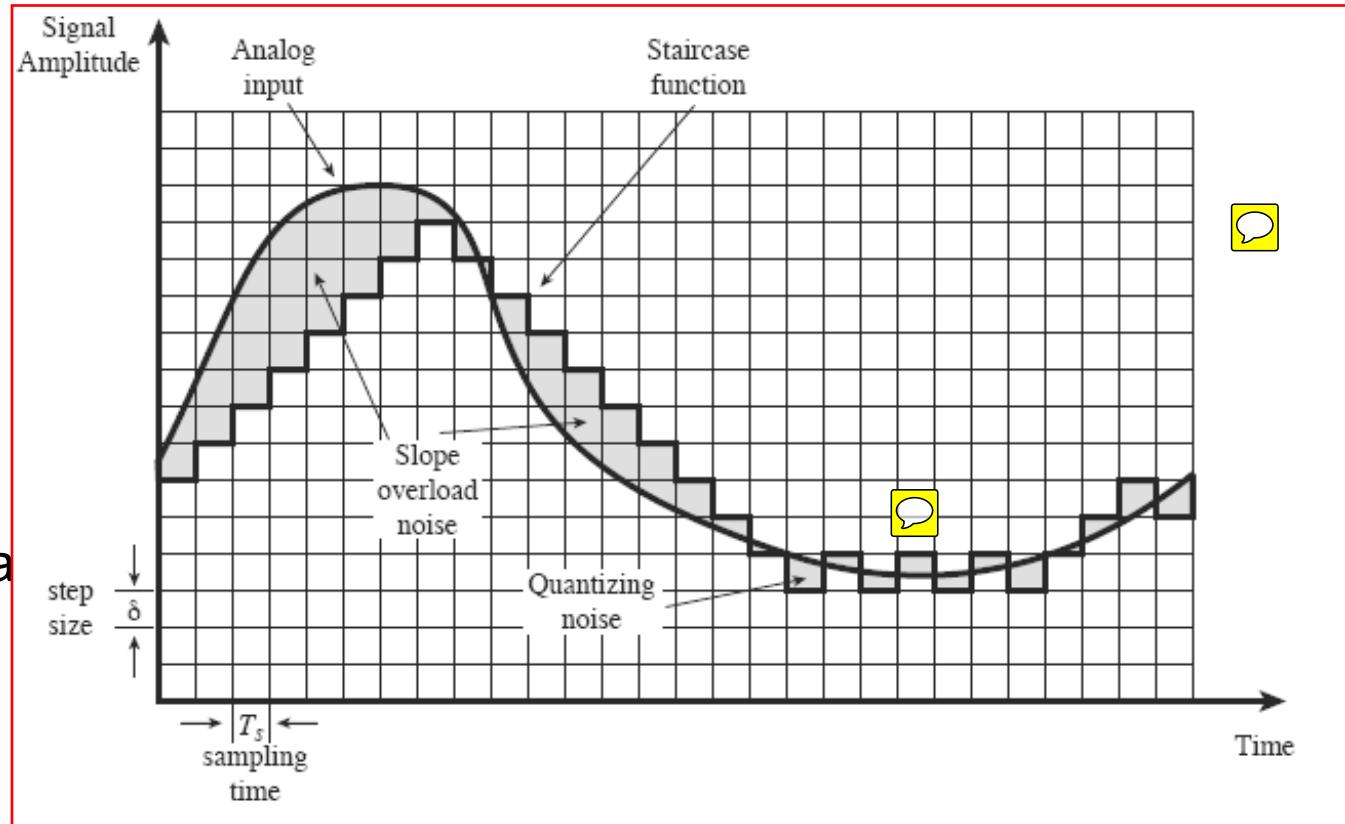
- ❖ Técnicas de codificación no lineal



Codificación y modulación ▶ Datos analógicos, señales digitales

Modulación delta (DM)

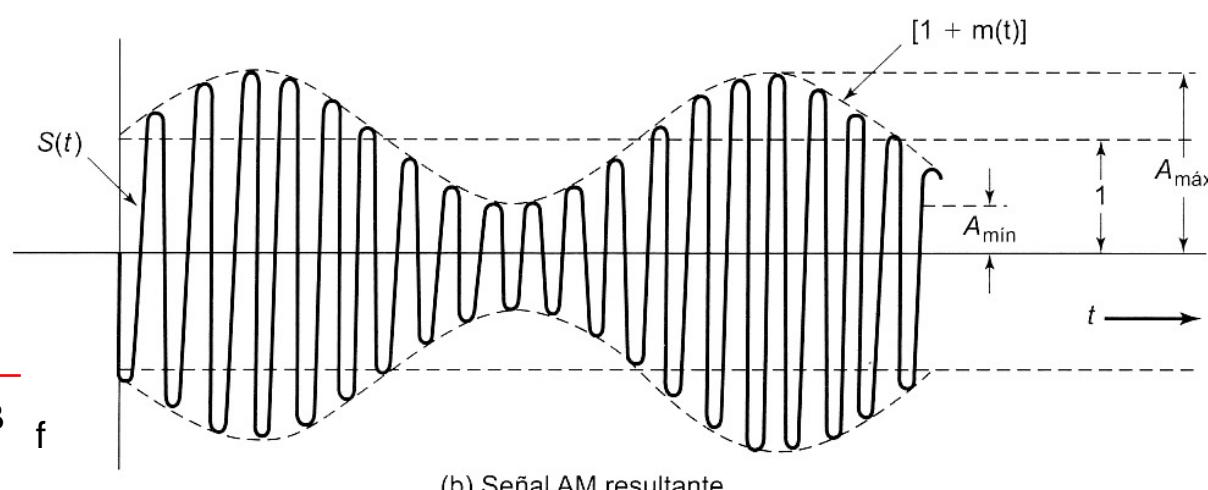
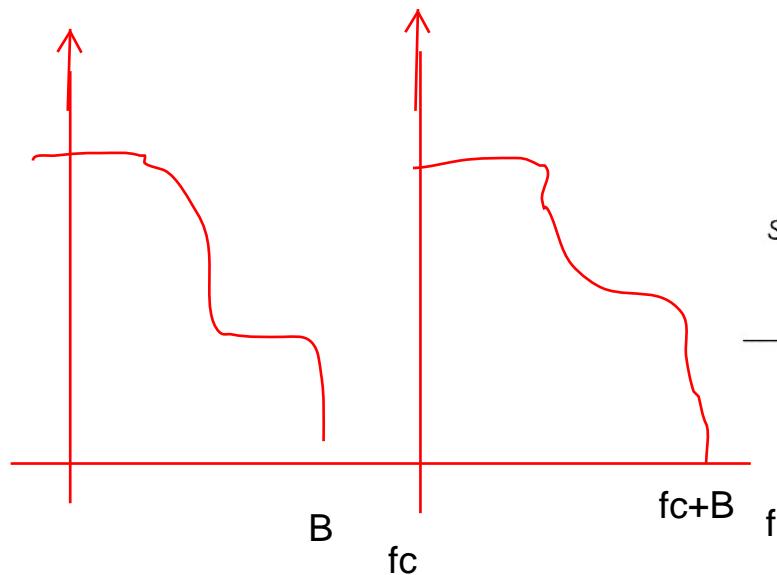
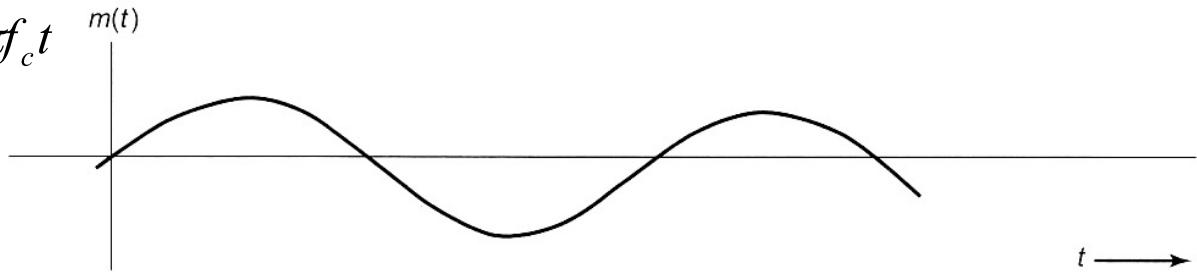
- ❖ Intervalo de muestreo (T_s)
- ❖ Nivel de cuantización (δ)
- ❖ Ruido de cuantización
- ❖ Ruido de sobrecarga en la pendiente



Codificación y modulación ► Datos analógicos, señales analógicas Modulación de amplitud (1)

- ❖ Multiplicación de la señal de entrada por la portadora

$$s(t) = [1 + m(t)] \cos 2\pi f_c t$$



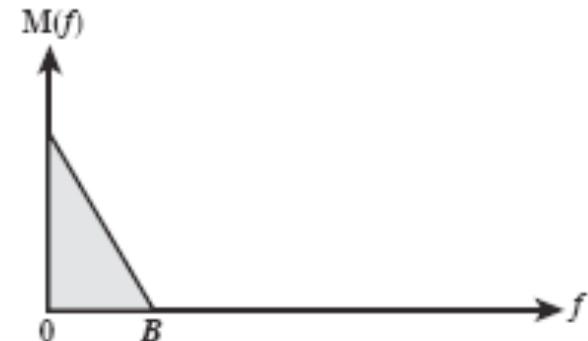
Codificación y modulación ► Datos analógicos, señales analógicas

Modulación de amplitud (2)

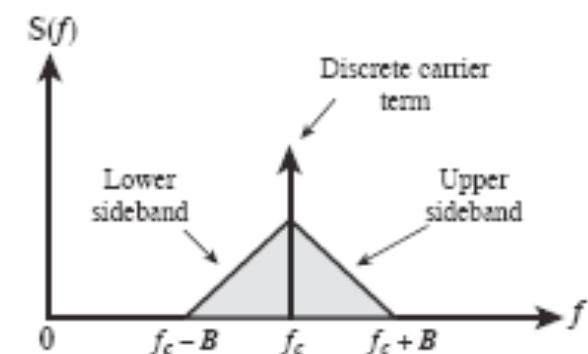
- ❖ Tipos de modulación de amplitud
 - Doble banda lateral con portadora (DSBSC)

$$P_t = P_c \left(1 + \frac{n_a^2}{2} \right)$$

- Banda lateral única (SSB)
- Doble banda lateral con portadora suprimida (DSBSC)
- Banda lateral residual (VSB)



(a) Spectrum of modulating signal



(b) Spectrum of AM signal with carrier at f_c

Codificación y modulación ► Datos analógicos, señales analógicas

Modulación angular (1)

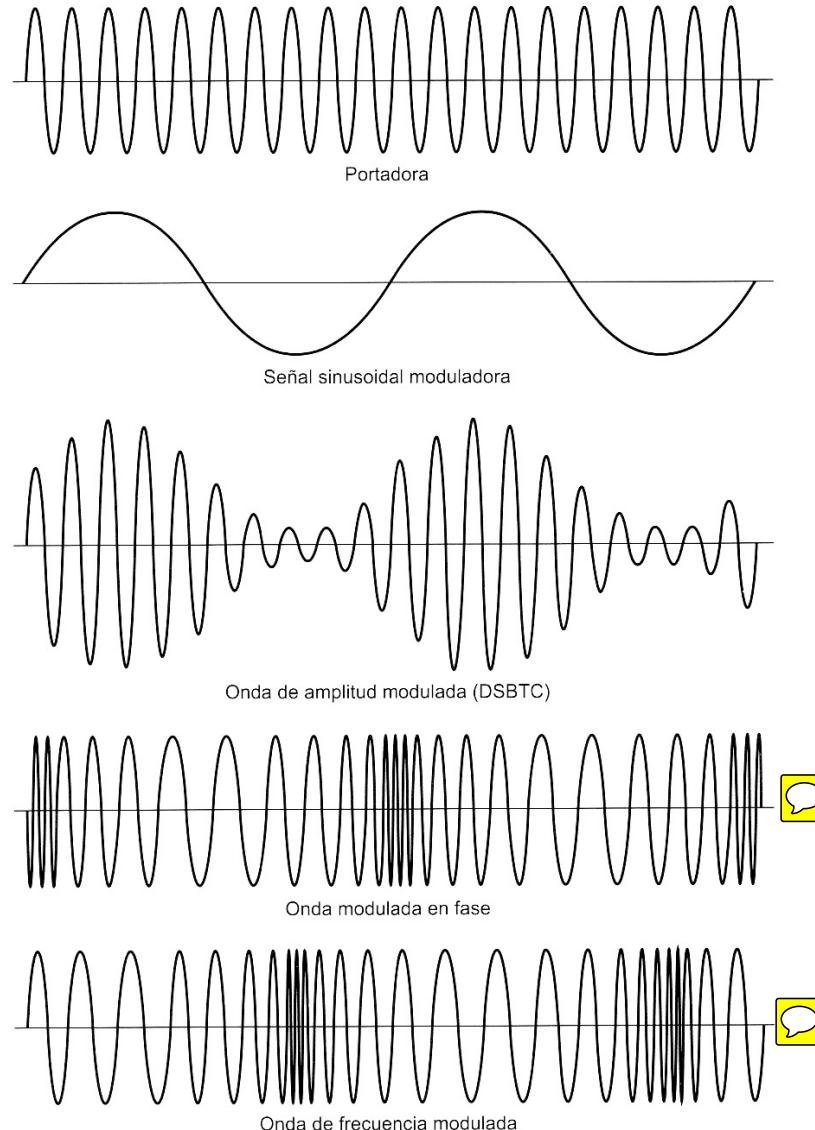
$$s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + \varphi(t)]$$

- ❖ Modulación de fase (PM): $\varphi(t) = n_p m(t)$ 
- ❖ Modulación de frecuencia (FM): $\varphi'(t) = n_f m(t)$
- ❖ Ancho de banda: $B_T = 2(\beta + 1)B$

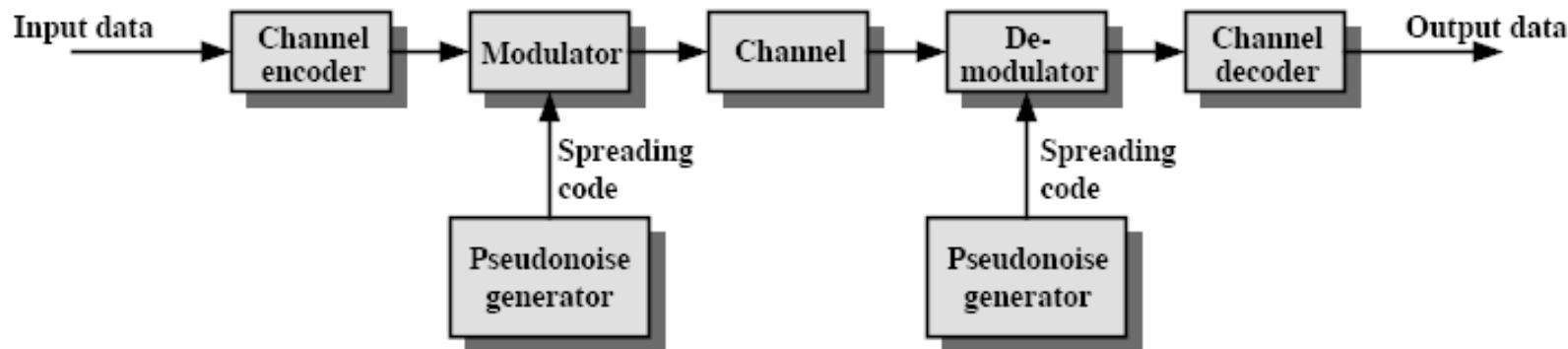
$$\beta = \begin{cases} n_p A_m & PM \\ \frac{\Delta F}{B} = \frac{n_f A_m}{2\pi B} & FM \end{cases}$$

Codificación y modulación ► Datos analógicos, señales analógicas

Modulación angular (2)



Codificación y modulación Espectro expandido

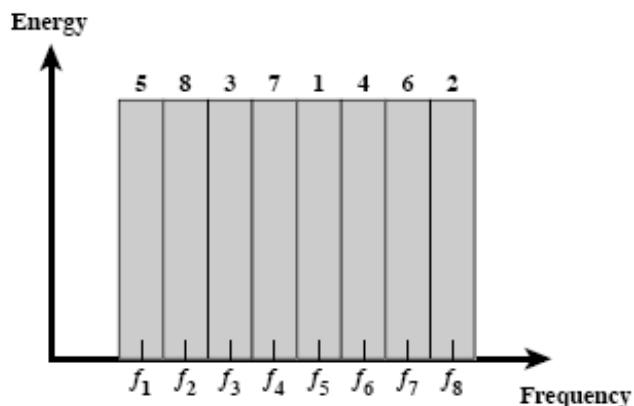


- ❖ Más inmunidad ante ruido y distorsión multirayectoria
- ❖ Ocultar y cifrar señales
- ❖ Usuarios independientes pueden utilizar el mismo ancho de banda

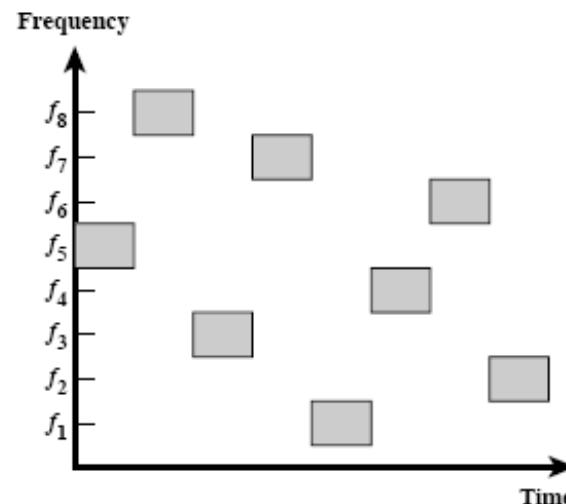
Codificación y modulación ► Espectro expandido

Salto de frecuencias (FHSS)

- ❖ Los datos binarios se modulan FSK o BPSK
- ❖ La señal modulada se emite sobre una serie de frecuencias aparentemente aleatoria



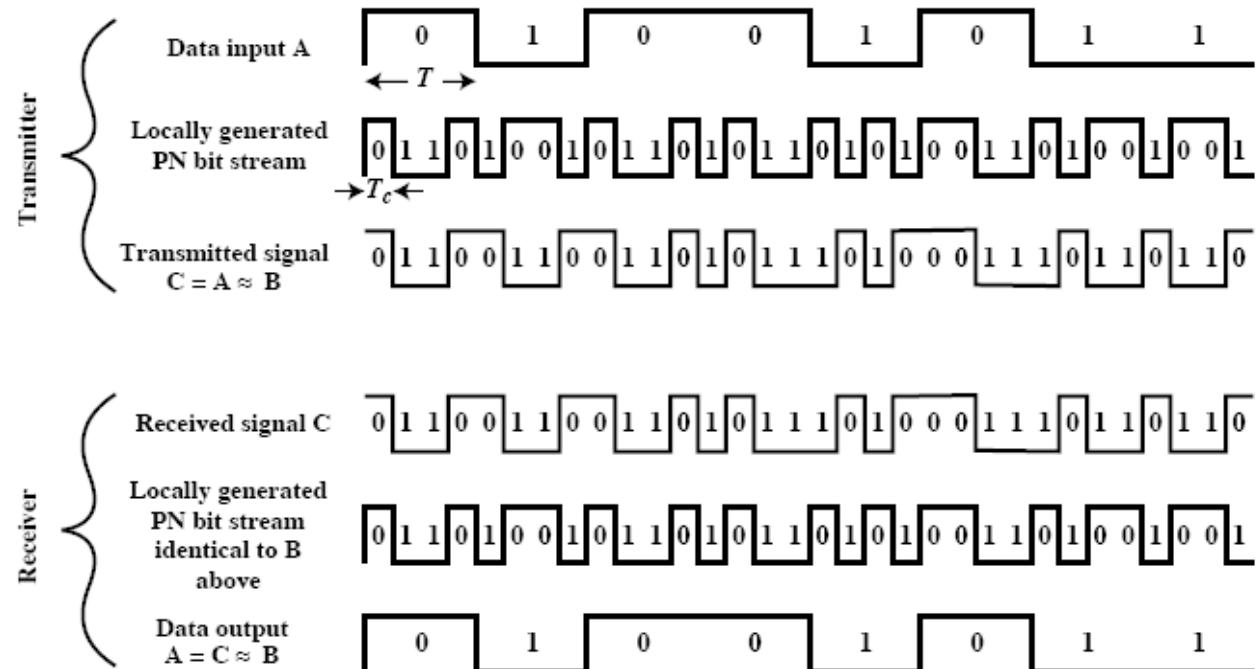
(a) Channel assignment



(b) Channel use

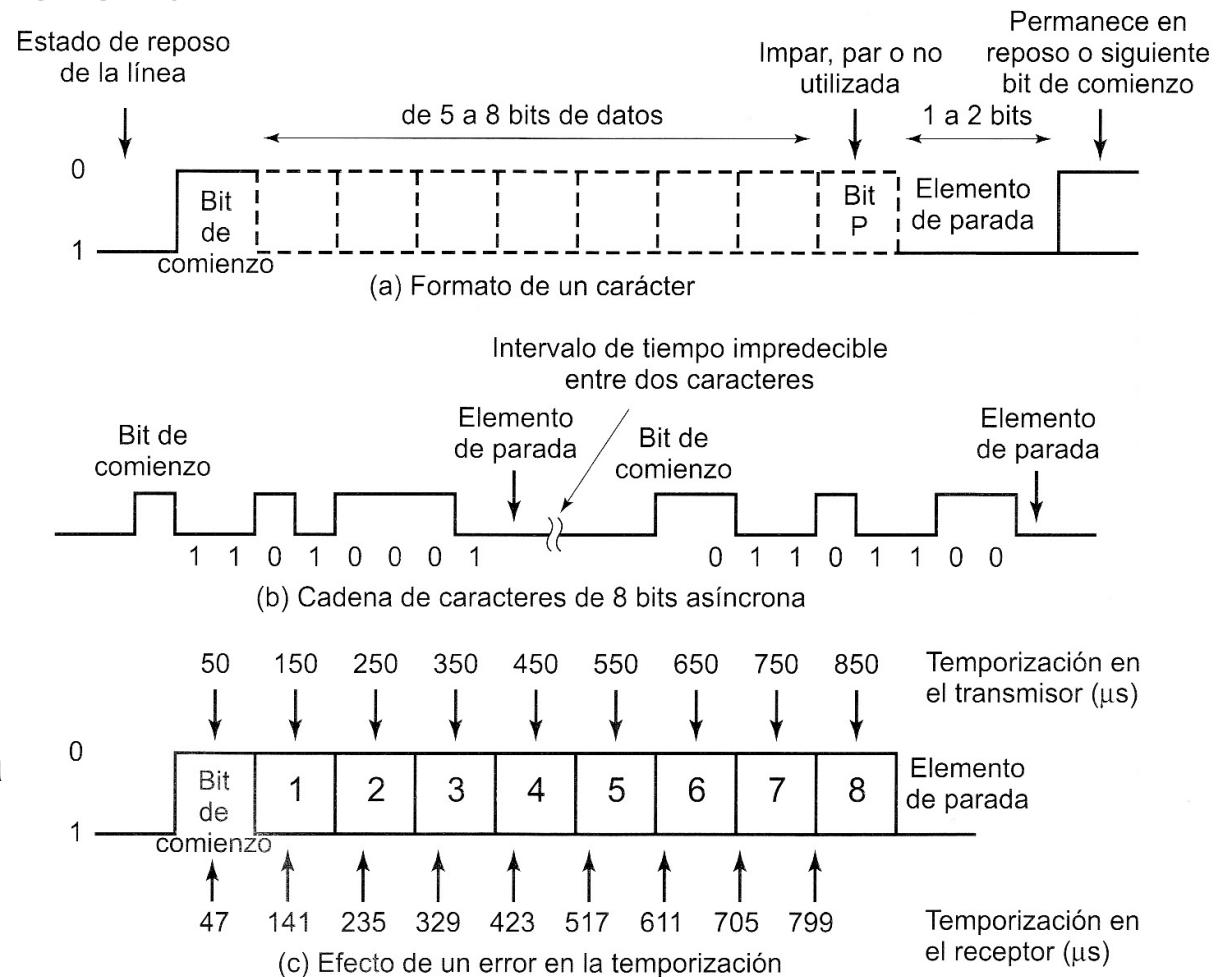
Codificación y modulación ► Espectro expandido Secuencia directa (DSSS)

a	b	$a(\text{XOR})b$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



- ❖ Posibles implementaciones:
 - Multiplicar la información por la secuencia pseudoaleatoria y después modular BPSK
 - Generar la señal BPSK y después multiplicar por la secuencia pseudoaleatoria

Técnicas de comunicación de datos digitales Transmisión asíncrona

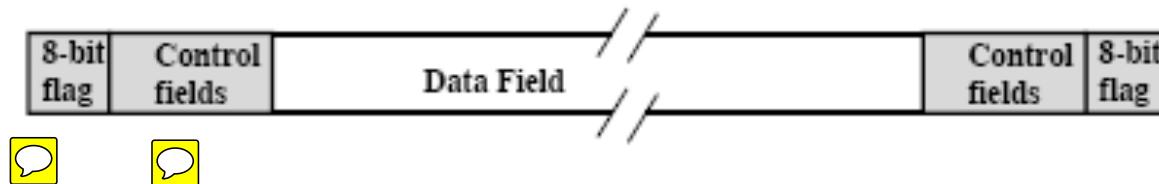


- ❖ Pérdida de sincronización
 - Muestra incorrecta
 - Error de delimitación de trama

Técnicas de comunicación de datos digitales

Transmisión síncrona

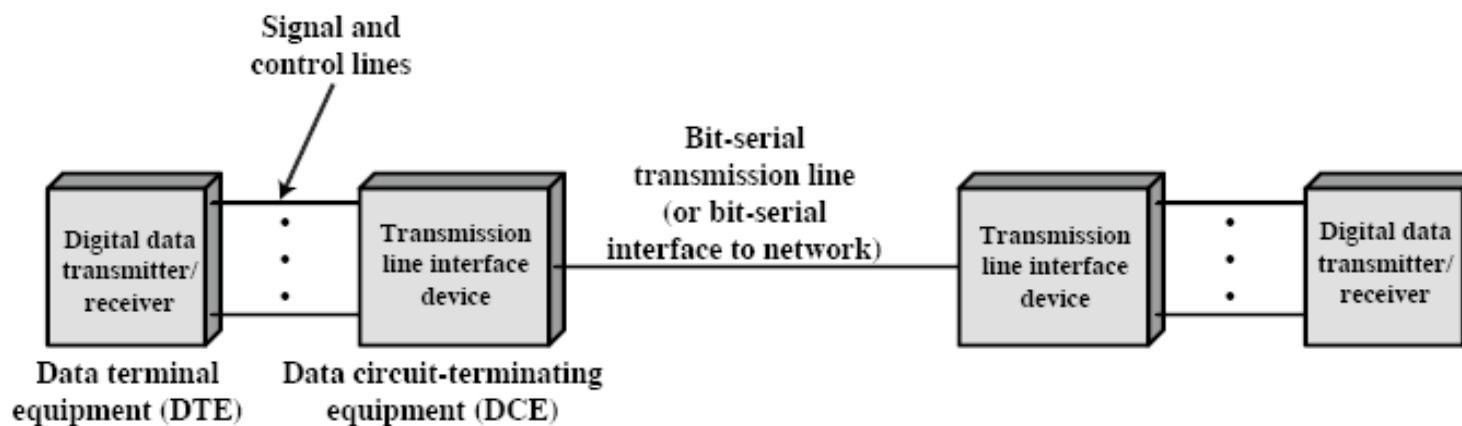
- ❖ Emisor y receptor se sincronizan de alguna manera:
 - Reloj a través de una línea independiente
 - Códigos Manchester o Manchester diferencial
 - Fase de la portadora en señales analógicas
- ❖ Trama HDLC



Técnicas de comunicación de datos digitales Interfaces

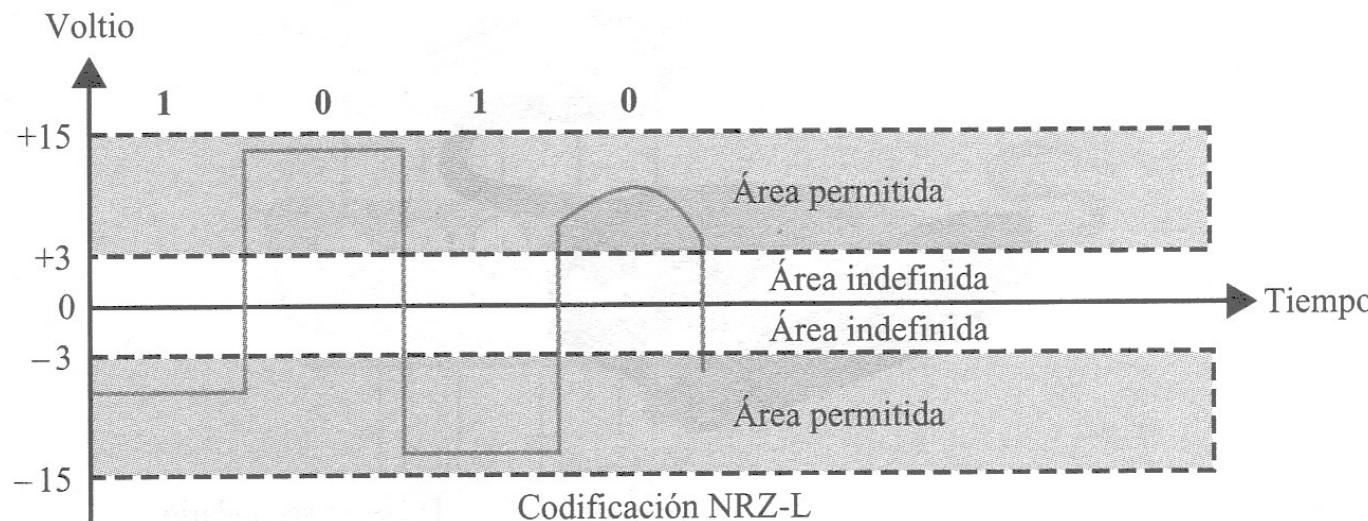


- ❖ La interfaz entre DTE y DCE está especificada mediante normalizaciones:
 - Mecánicas
 - Eléctricas
 - Funcionales
 - De procedimiento



**Técnicas de comunicación de datos digitales ► Interfaces
V.24/EIA-232-F (1)**

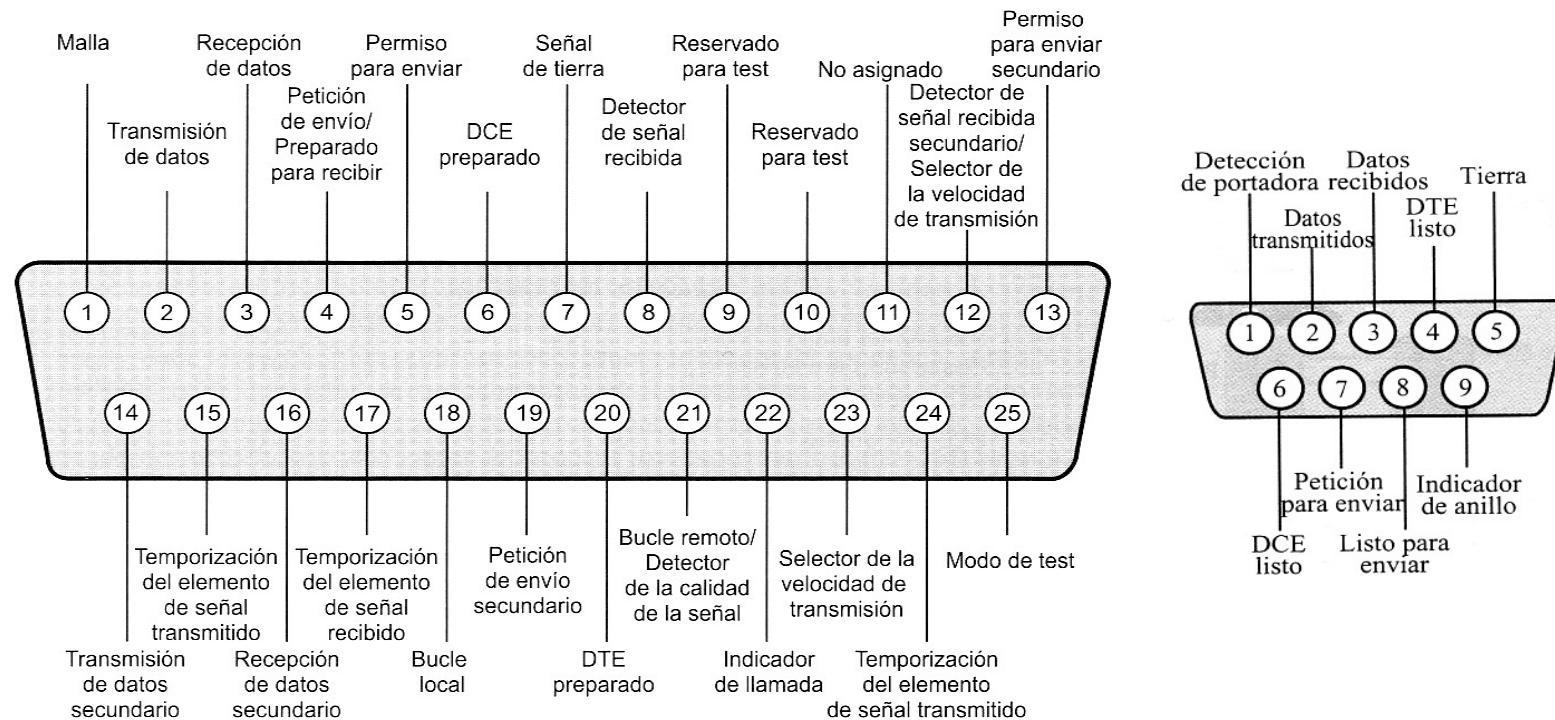
- ❖ Especificaciones mecánicas (ISO 2110): DB-25, DB-9
- ❖ Especificaciones eléctricas (V.28): Señalización digital tanto en datos como en señales de control. 20 kbps, 15 metros.



Técnicas de comunicación de datos digitales ► Interfaces V.24/EIA-232-F (2)

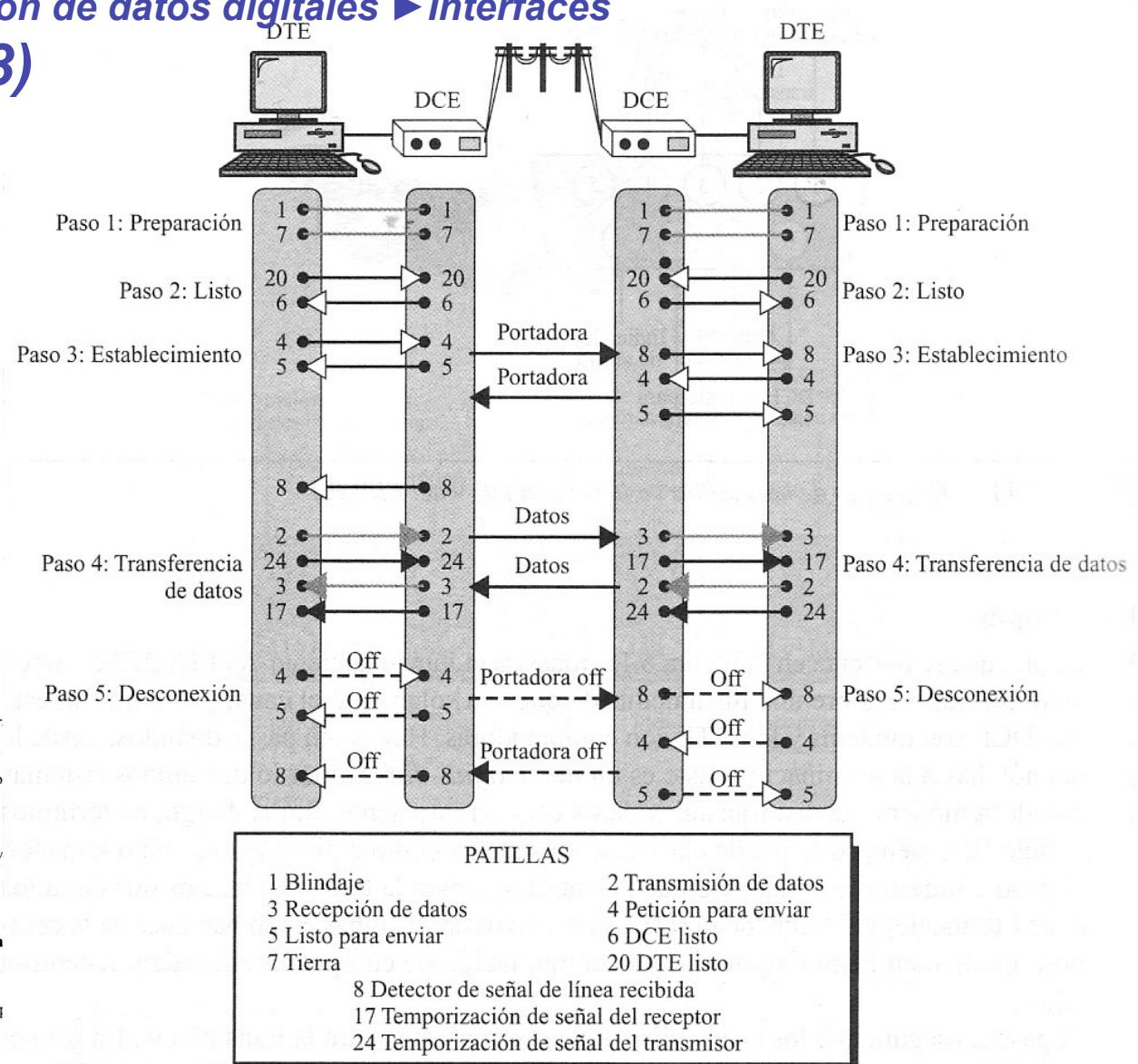
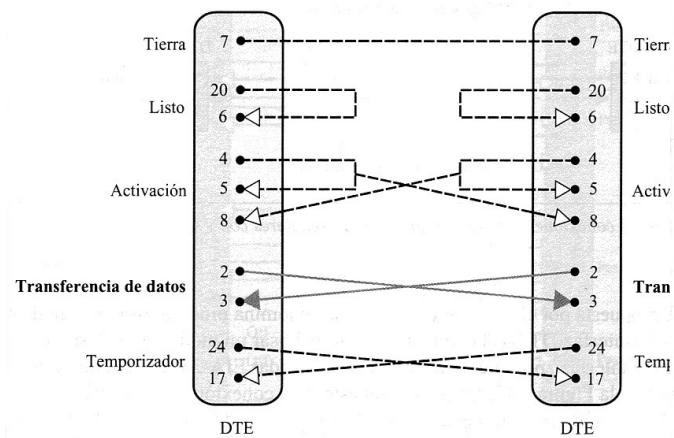
❖ Especificaciones funcionales (V.24)

- Circuitos de datos: *full-duplex* y *half-duplex*
- 16 circuitos de control, temporización y retorno de tierra



Técnicas de comunicación de datos digitales ► Interfaces V.24/EIA-232-F (3)

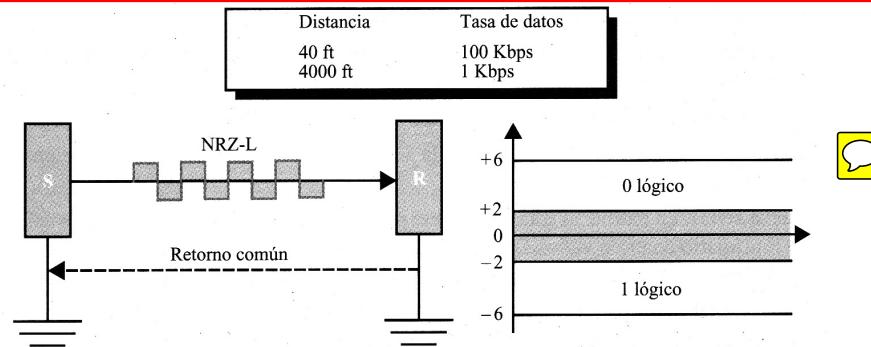
- ❖ Especificaciones de procedimiento (V.24):
 - Modo síncrono *full-duplex*
 - Módem nulo



Técnicas de comunicación de datos digitales ► Interfaces **EIA-449**

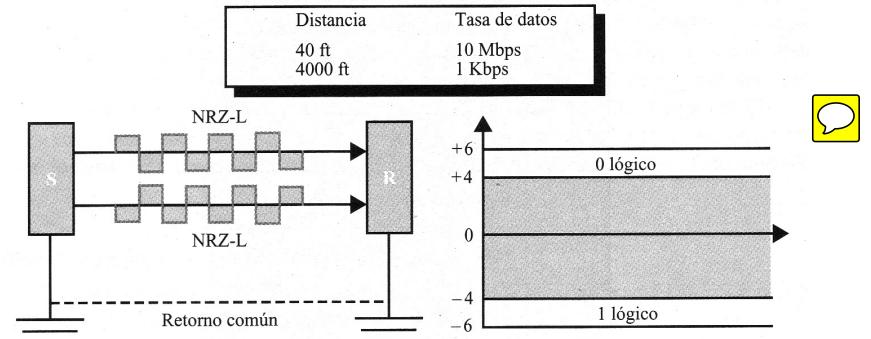
- ❖ Especificaciones mecánicas: DB-37 y DB-9
- ❖ Especificaciones eléctricas:

- RS-423



Pregunta de examen

- RS-422



$$v(t) + n(t)$$

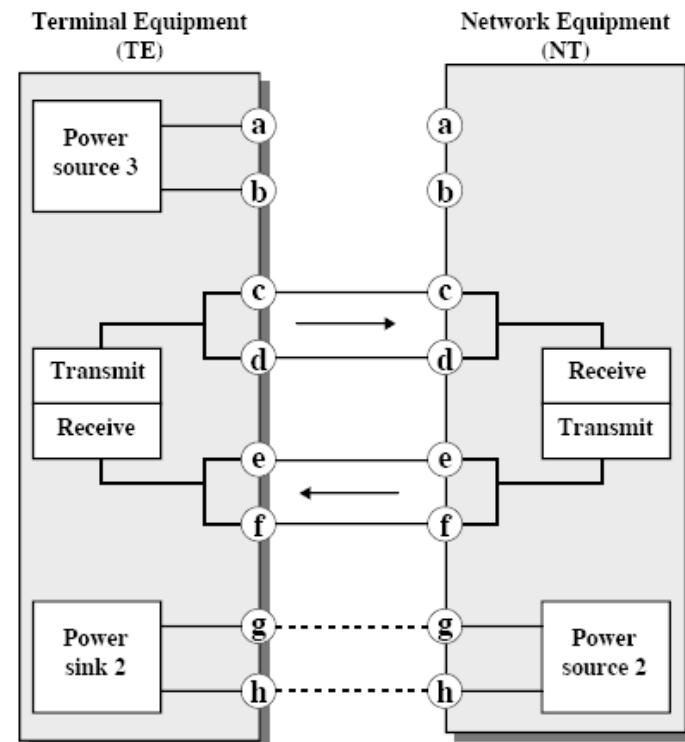
$$-v(t) + n(t)$$

$$v(t) + n(t) - (-v(t) + n(t)) = 2 v(t)$$

- ❖ Especificaciones funcionales: dos categorías de patillas

Técnicas de comunicación de datos digitales ► Interfaces Otras interfaces

- ❖ EIA-530: Versión de EIA-449 con DB-25
- ❖ X.21: Codifica las señales de control usando caracteres y las transmite por las líneas de datos
 - Circuitos balanceados a 64 kbps
 - DB-15
- ❖ RDSI:
 - Modo balanceado
 - Acceso básico: pseudoternaria
 - **Acceso primario: B8ZS, HDB3**

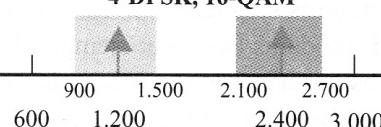
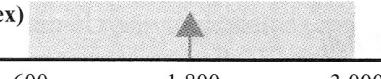
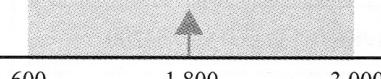
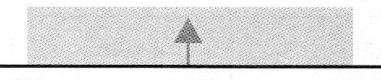
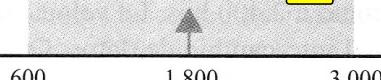


Técnicas de comunicación de datos digitales **Módems (1)**

- ❖ La ITU-T publicó estándares para **módems**, que coinciden con las series Bell:

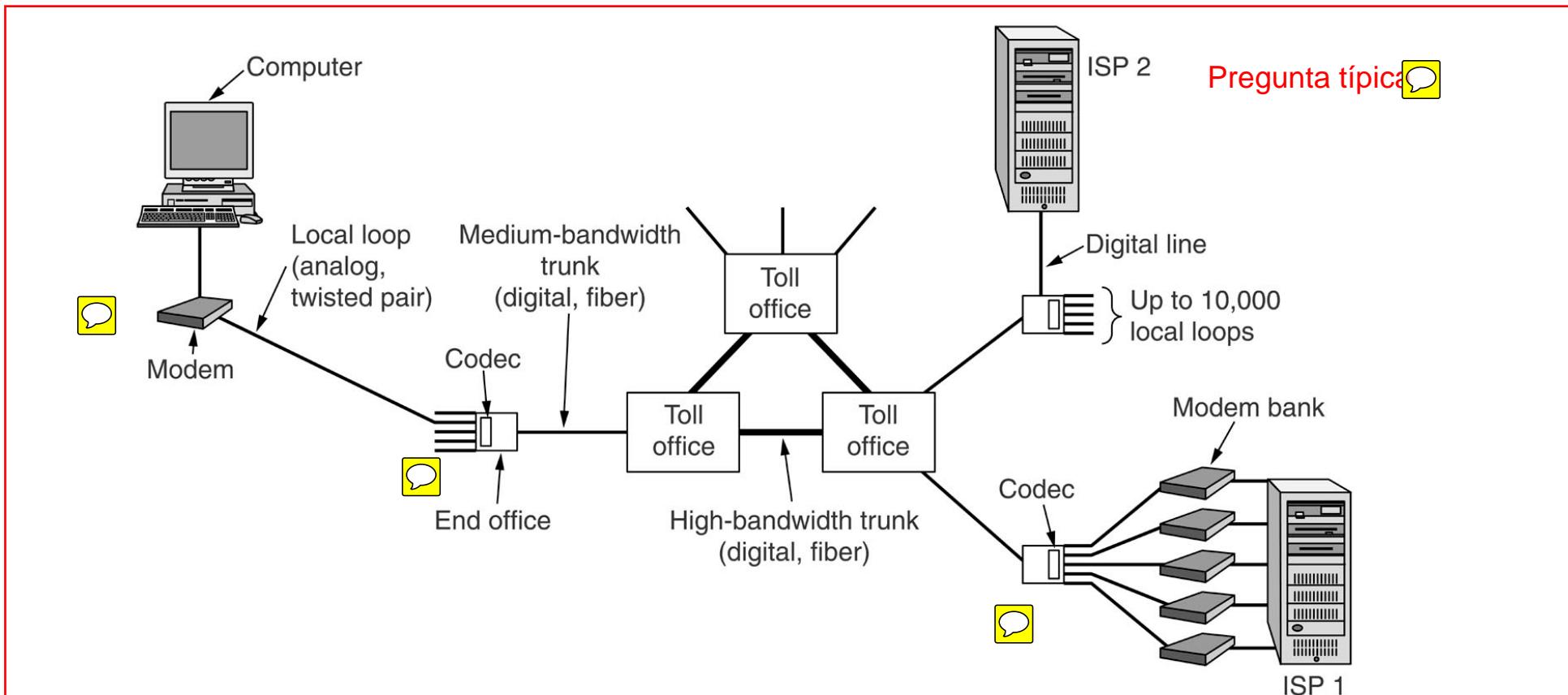
ITU-T	Bell 	Tasa de Baudios	Tasa de Bits	Modulación
V.21	103	300	300	FSK
V.22	212	600	1200	4-PSK
V.23	202	1200	1200	FSK
V.26	201	1200	2400	4-PSK
V.27	208	1600	4800	8-PSK
V.29	209	2400	9600	16-QAM

Técnicas de comunicación de datos digitales Módems (2)

V.22bis	4-DPSK, 16-QAM	2 velocidades: 1.200 bps usando 4-DPSK o 2.400 bps usando 16-QAM
FDX 600 baudios 1.200/2.400 bps 2-hilos		
V.32	32-QAM (trellis)	32-QAM permite 5 bits por baudio 4 bits de datos más un bit redundante
FDX (pseudodúplex) 2.400 baudios 9.600 bps 2-hilos		
V.32bis	64-QAM	El primer módem estándar con una tasa de datos de 14.400 bps
FDX 2.400 baudios 14.400 bps 4-hilos		
V.32terbo	256-QAM	
FDX 2.400 baudios 19.200 bps 4-hilos		
V.33	128-QAM (trellis)	128-QAM permite 7 bits por baudio: 6 bits de datos más uno de redundancia
FDX 2.400 baudios 14.400 bps 4-hilos		
V.34	4096-QAM	Velocidad estándar: 28.800 bps pero con compresión de datos puede conseguir velocidades tres veces mayores
FDX 2.400 baudios 28.800 bps 4-hilos		

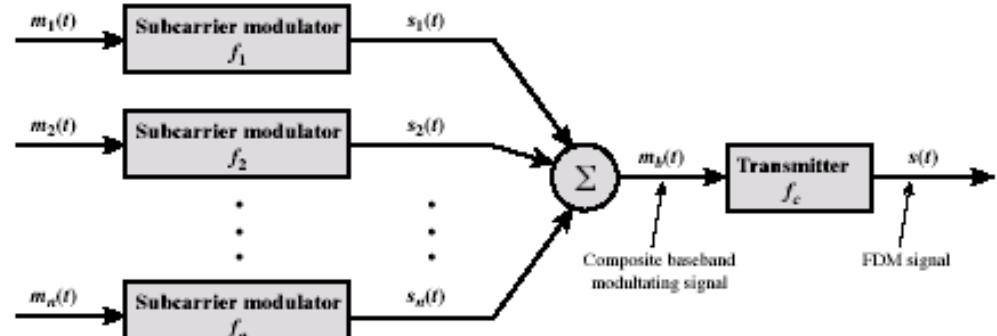
Técnicas de comunicación de datos digitales Módems (3)

- ❖ Módems de 56k: V.90 y V.92

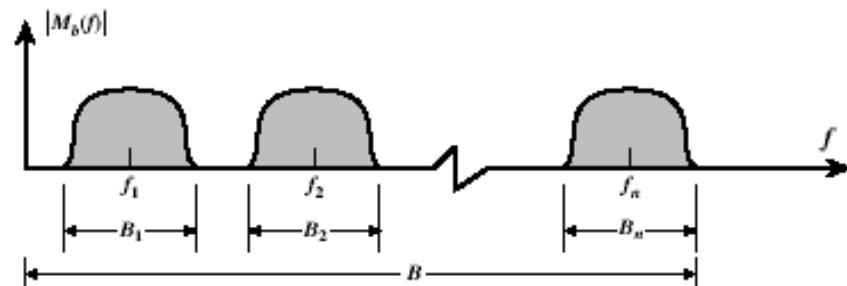


Multiplexación Multiplexación por división en frecuencias (FDM) (1)

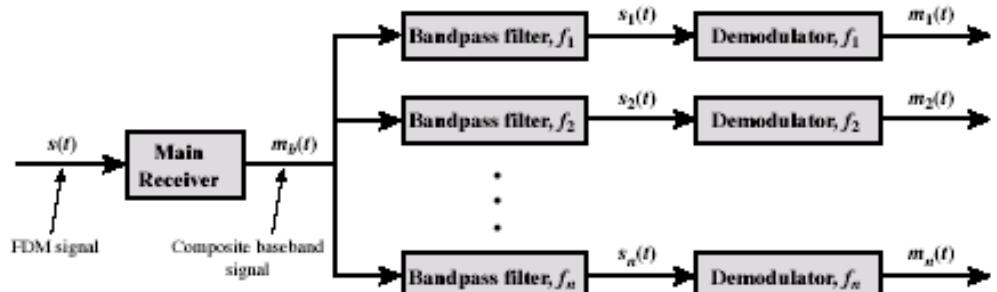
- ❖ El ancho de banda se divide en canales separados por bandas de guarda



(a) Transmitter



(b) Spectrum of composite baseband modulating signal

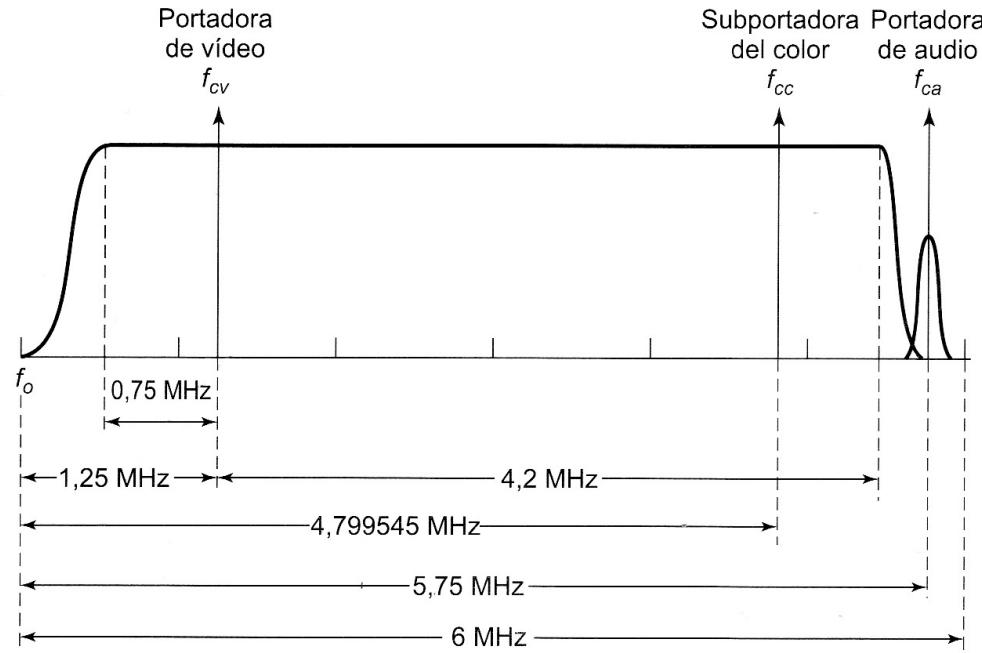


(c) Receiver

Multiplexación

Multiplexación por división en frecuencias (FDM) (2)

- ❖ La televisión convencional, ejemplo de FDM



- ❖ Problemas:
 - Diafonía
 - Ruido de intermodulación

Multiplexación

Multiplexación por división en frecuencias (FDM) (3)

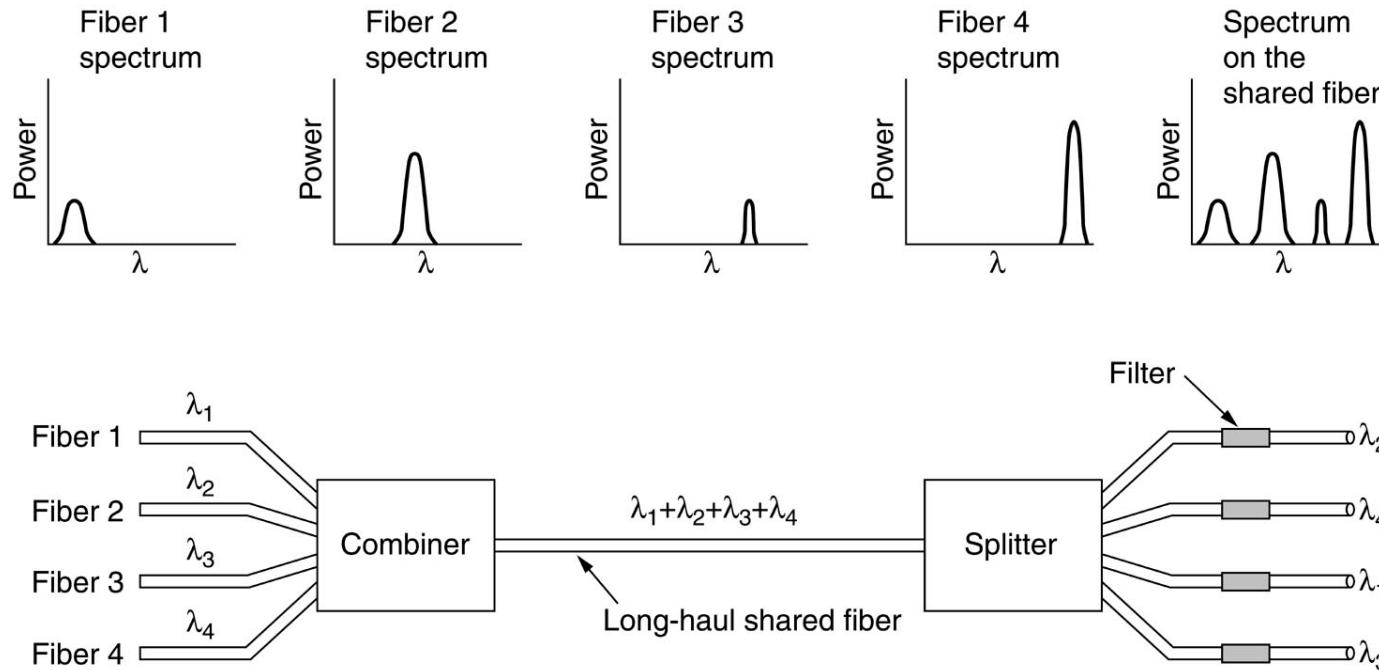
- ❖ Sistemas de portadora analógica

Número de canales de voz	Ancho de banda	Espectro	AT & T	ITU-T
12	48 kHz	60-108 kHz	Grupo	Grupo
60	240 kHz	312-552 kHz	Supergrupo	Supergrupo
300	1,232 MHz	812-2.044 kHz		Grupo maestro
600	2,52 MHz	564-3.084 kHz	Grupo maestro	
900	3,872 MHz	8,516-12,388 MHz		Grupo supermaestro
$N \times 600$			Grupo maestro multiplexado	
3.600	16,984 MHz	0,564-17,548 MHz	Grupo jumbo	
10.800	57,442 MHz	3,124-60,566 MHz	Grupo jumbo multiplexado	

Multiplexación

Multiplexación por división en la longitud de onda (WDM)

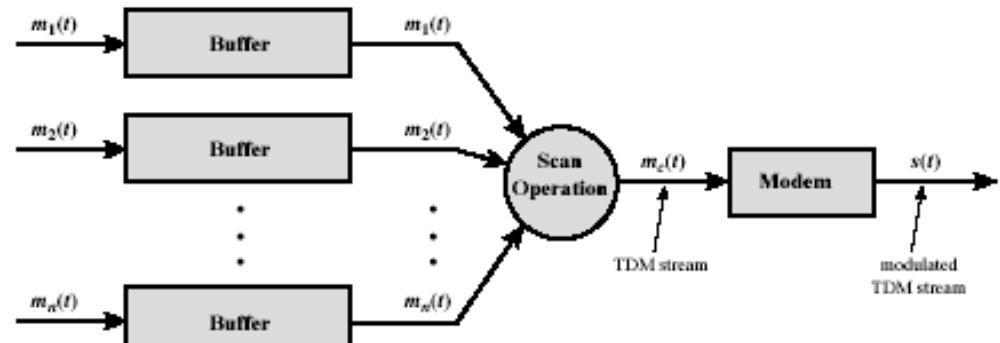
- ❖ Ejemplo: 96 canales de 10 Gbps



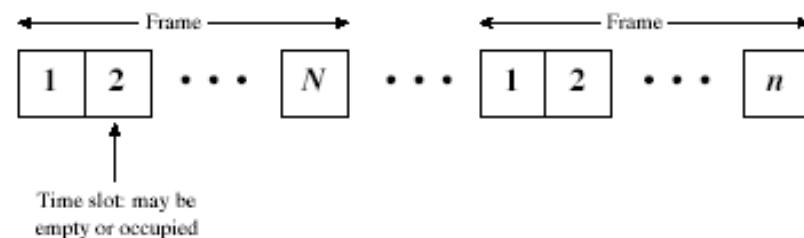
Multiplexación

Multiplexación por división en el tiempo síncrona (TDM) (1)

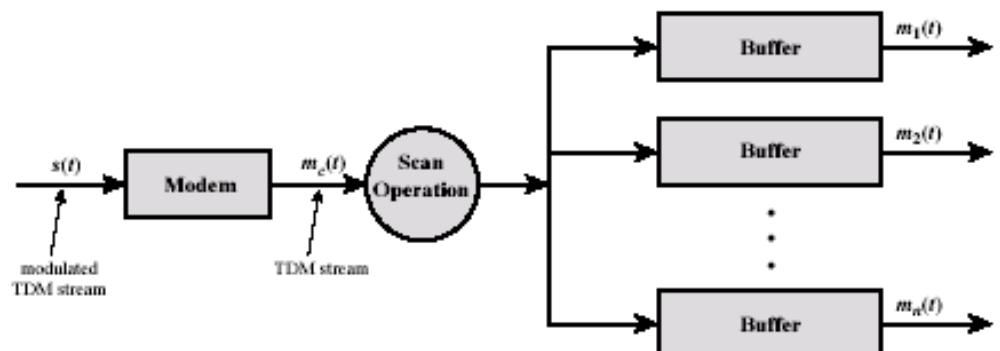
- ❖ Tramas formadas por ranuras temporales. Una secuencia de ranuras de una fuente es un canal.



(a) Transmitter



(b) TDM Frames

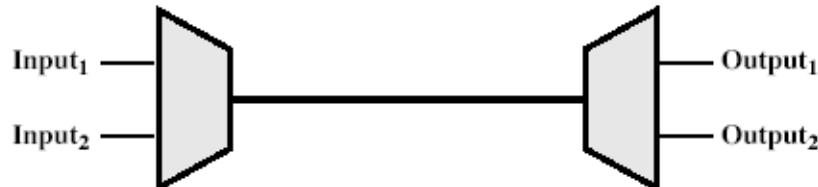


(c) Receiver

Multiplexación

Multiplexación por división en el tiempo síncrona (TDM) (2)

- ❖ Dos fuentes de datos, protocolo HDLC



(a) Configuration

Input₁*..... F₁ f₁ f₁ d₁ d₁ d₁ C₁ A₁ F₁ f₁ f₁ d₁ d₁ d₁ C₁ A₁ F₁

Input₂* F₂ f₂ f₂ d₂ d₂ d₂ C₂ A₂ F₂ f₂ f₂ d₂ d₂ d₂ C₂ A₂ F₂

(b) Input data streams

... f₂ F₁ d₂ f₁ d₂ f₁ d₂ d₁ C₂ d₁ A₂ C₁ F₂ A₁ f₂ F₁ f₂ f₁ d₂ f₁ d₂ d₁ d₂ d₁ C₂ C₁ A₂ A₁ F₂ F₁

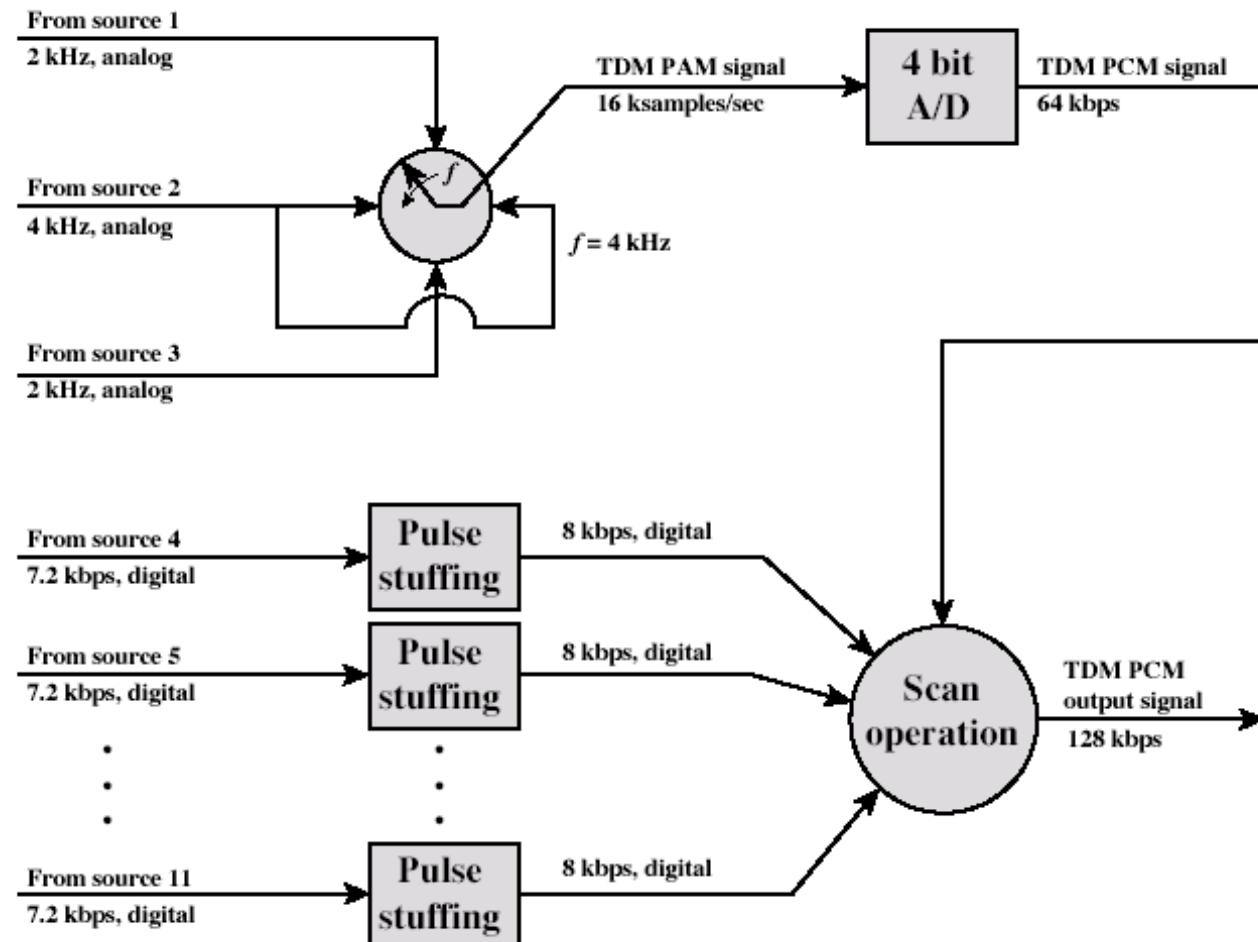
(c) Multiplexed data stream

Legend: F = flag field d = one octet of data field
A = address field f = one octet of FCS field
C = control field

Multiplexación

Multiplexación por división en el tiempo síncrona (TDM) (3)

- ❖ Delimitación de tramas
- ❖ Inserción de bits



Multiplexación

Multiplexación por división en el tiempo síncrona (TDM) (4)

- ❖ Sistemas de portadora digital

Norteamérica			Internacional (ITU-T)		
Nomenclatura	Número de canales de voz	Velocidad (Mbps)	Nivel	Número de canales de voz	Velocidad (Mbps)
DS-1	24	1,544	1	30	2,048
DS-1C	48	3,152	2	120	8,448
DS-2	96	6,312	3	480	34,368
DS-3	672	44,736	4	1.920	139,264
DS-4	4.032	274,176	5	7.680	565,148

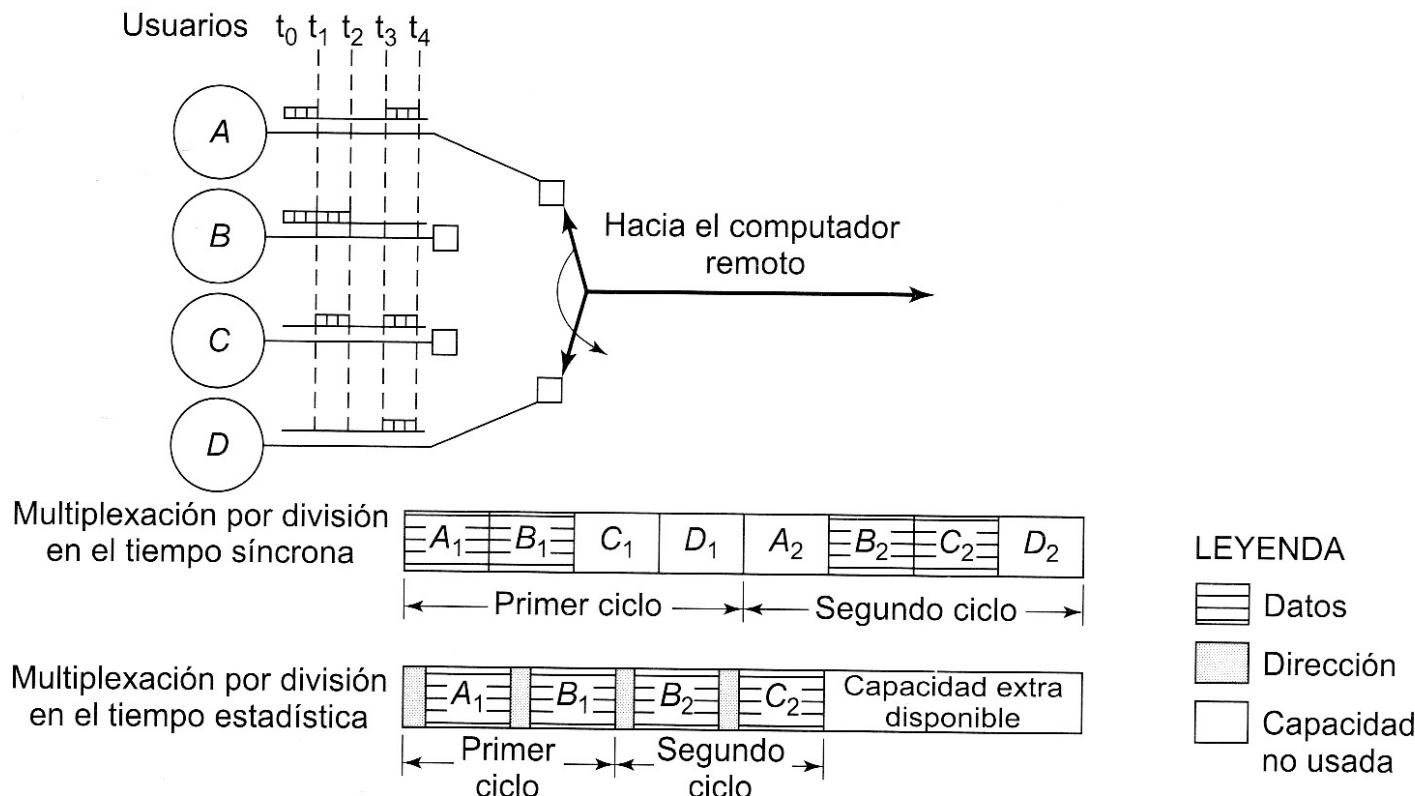
- ❖ SONET/SDH

Nomenclatura SONET	Nomenclatura ITU-T	Velocidad	Velocidad de información útil (Mbps)
STS-1/OC-1	STM-0	51,84 Mbps	50,112 Mbps
STS-3/OC-3	STM-1	155,52 Mbps	150,336 Mbps
STS-9/OC-9		466,56 Mbps	451,008 Mbps
STS-12/OC-12	STM-4	622,08 Mbps	601,344 Mbps
STS-18/OC-18		933,12 Mbps	902,016 Mbps
STS-24/OC-24		1,24416 Gbps	1,202688 Gbps
STS-36/OC-36		1,86624 Gbps	1,804032 Gbps
STS-48/OC-48	STM-16	2,48832 Gbps	2,405376 Gbps
STS-96/OC-96		4,87664 Gbps	4,810752 Gbps
STS-192/OC-192	STM-64	9,95328 Gbps	9,621504 Gbps
STS-768	STM-256	39,81312 Gbps	38,486016 Gbps
STS-3072		159,25248 Gbps	1,53944064 Gbps

Multiplexación

Multiplexación por división en el tiempo estadística (1)

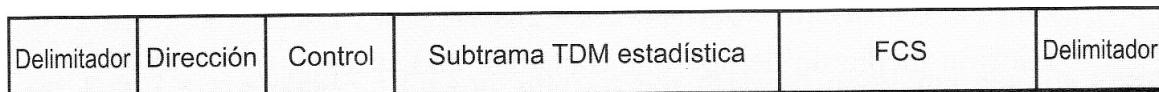
- ❖ Las ranuras se asignan mediante reserva dinámica
- ❖ n líneas de entrada/salida para k ranuras, $k < n$



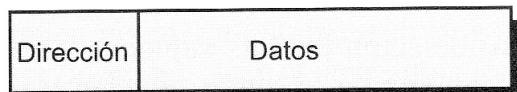
Multiplexación

Multiplexación por división en el tiempo estadística (2)

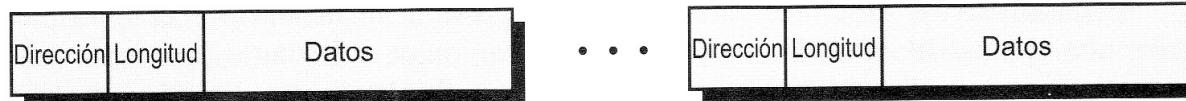
- ❖ Una fuente de datos por trama
- ❖ Varias fuentes por trama
 - Direcciones relativas
 - Etiqueta de dos bits
 - Secuencia de bits de indicación



(a) Trama completa



(b) Subrama con una fuente por trama



(c) Subrama con varias fuentes por trama

Multiplexación Multiplexación por división en el tiempo estadística (3)

- ❖ La capacidad de la línea multiplexada será menor que la suma de capacidades de las fuentes

Entrada ^a	Capacidad = 5.000 bps		Capacidad = 7.000 bps	
	Salida	Exceso	Salida	Exceso
6	5	1	6	0
9	5	5	7	2
3	5	3	5	0
7	5	5	7	0
2	5	2	2	0
2	4	0	2	0
2	2	0	2	0
3	3	0	3	0
4	4	0	4	0
6	5	1	6	0
1	2	0	1	0
10	5	5	7	3
7	5	7	7	3
5	5	7	7	1
8	5	10	7	2
3	5	8	5	0
6	5	9	6	0
2	5	6	2	0
9	5	10	7	2
5	5	10	7	0

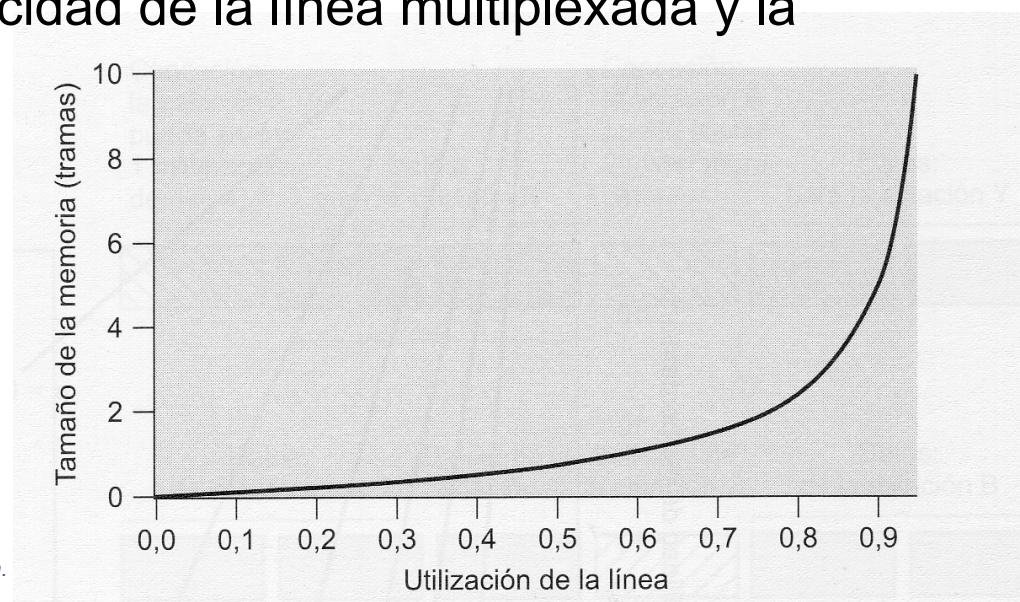
Multiplexación

Multiplexación por división en el tiempo estadística (4)

- ❖ I = número de fuentes de entrada
- ❖ R = velocidad de cada fuente en bps
- ❖ M = capacidad efectiva de la línea multiplexada en bps (se consideran los bits supplementarios incluidos por el multiplexor)
- ❖ α = fracción media de tiempo que transmite cada fuente, $0 < \alpha < 1$
- ❖ $K = \frac{M}{IR}$ = razón entre la capacidad de la línea multiplexada y la entrada máxima total

$$\rho = \lambda T_s = \frac{\alpha IR}{M} = \frac{\alpha}{K} = \frac{\lambda}{M}$$

$$N = \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)} + \rho$$

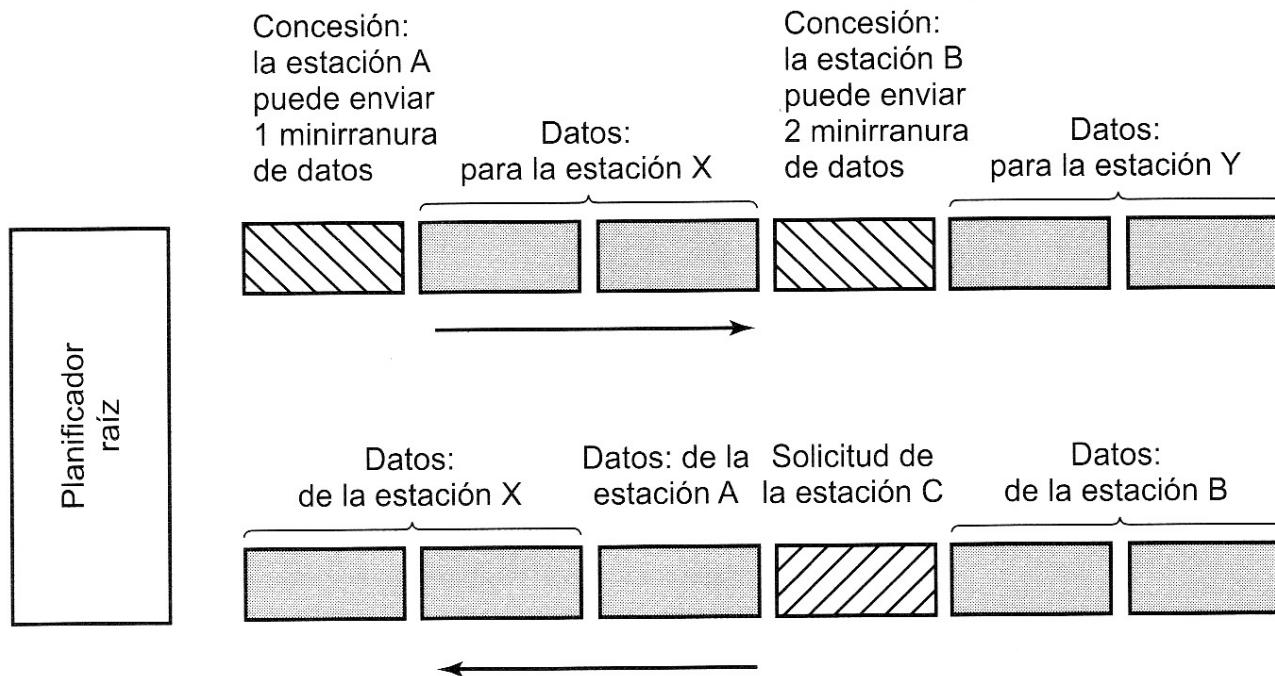


Multiplexación

Multiplexación por división en el tiempo estadística (5)

❖ Cable-módem

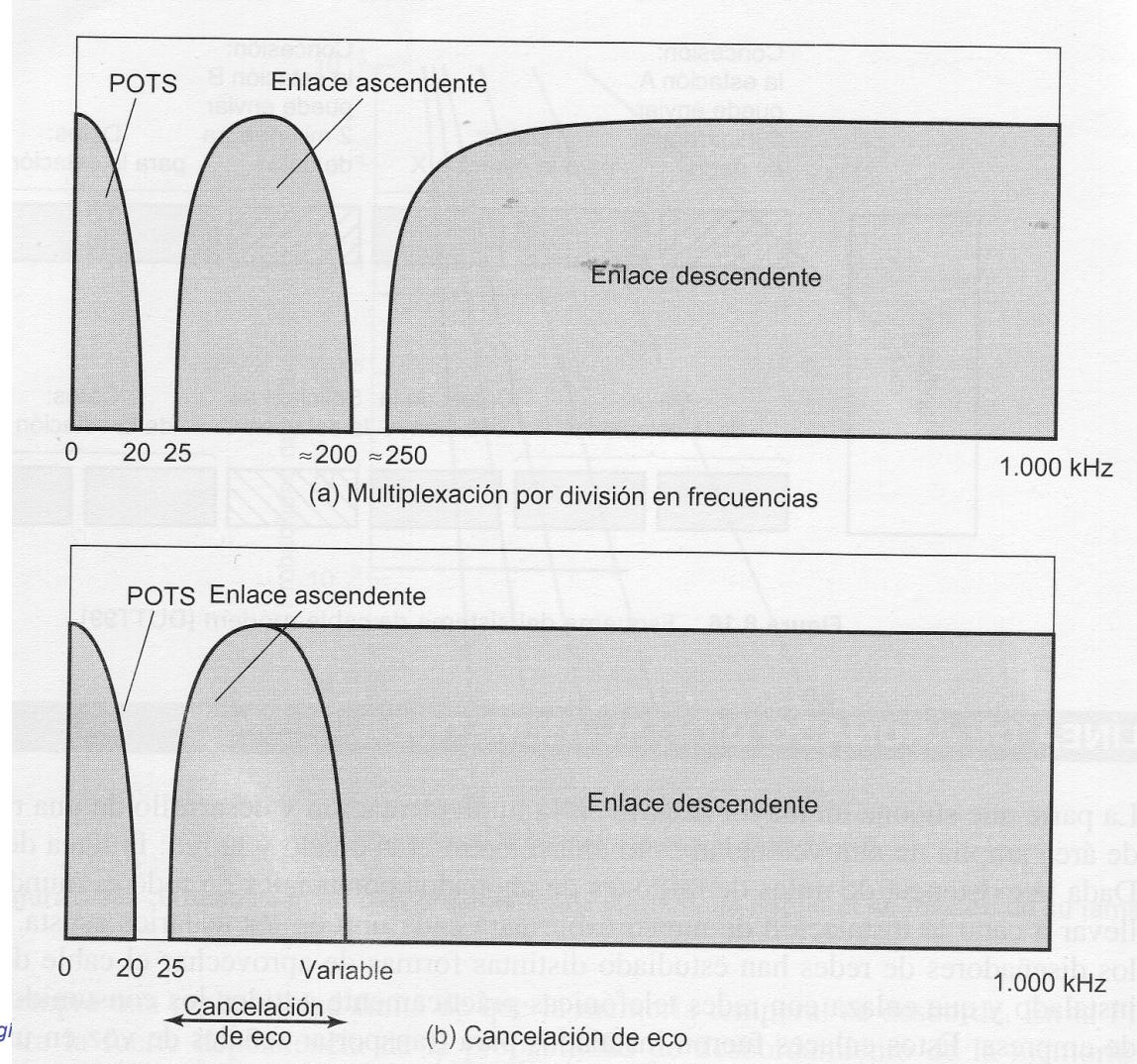
- Dos canales, uno para cada dirección de la transmisión



Multiplexación

Línea de abonado digital asimétrica (ADSL) (1)

- ❖ POTS: 25 kHz inferiores
- ❖ Cancelación de eco o FDM
- ❖ Uso de FDM en las bandas ascendente y descendente

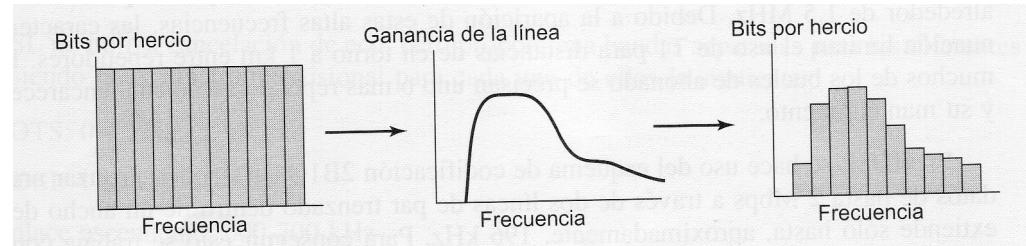


Multiplexación

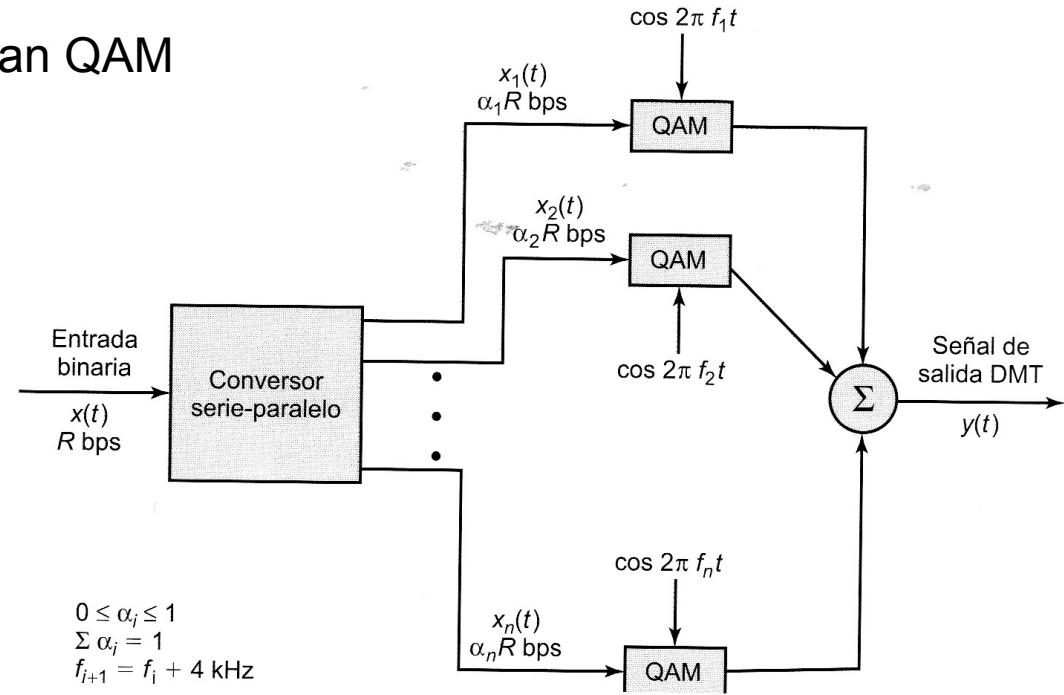
Línea de abonado digital asimétrica (ADSL) (2)

- ❖ Multitono discreto: subcanales de 4 kHz

- Inicialización



- Subsecuencias se modulan QAM



Multiplexación

Línea de abonado digital asimétrica (ADSL) (3)

❖ xDSL

	ADSL	HDSL	SDSL	VDSL
Bits/segundo	de 1,5 a 9 Mbps en descendente de 16 a 640 kbps en ascendente	1,544 o 2,048 Mbps	1,544 o 2,048 Mbps	de 13 a 52 Mbps en descendente de 1,5 a 2,3 Mbps en ascendente
Modo	Asimétrico	Simétrico	Simétrico	Asimétrico
Pares de cobre	1	2	1	1
Distancia (UTP de calibre 24)	de 3,7 a 5,5 km	3,7 km	3,0 km	1,4 km
Señalización	Analógica	Digital	Digital	Analógica
Código de línea	CAP/DMT	2B1Q	2B1Q	DMT
Frecuencia	de 1 a 5 MHz	196 kHz	196 kHz	10 MHz
Bits/ciclo	Variable	4	4	Variable

UTP = par trenzado sin apantallar.