

# **Tema 2**

---

## **CODIFICACIÓN Y MODULACIÓN DIGITAL**

# Técnicas de Codificación

---

- ⌘ Datos digitales, señales digitales
- ⌘ Datos analógicos, señales digitales (PCM)
- ⌘ Datos digitales, señales analógicas (modem)
- ⌘ Datos analógicos, señales analógicas (AM, FM, PM)

# **Datos digitales, señales digitales**

---

- ⌘ Señal digital: secuencia de pulsos de tensión
  - ☑ Discreto, pulsos de tensión discontinuos
  - ☑ Cada pulso es un elemento de señal
  - ☑ Datos binarios codificados en elementos de señal

# Esquemas de Codificación

---

- ⌘ No Retorno a Cero. Nonreturn to Zero-Level (NRZ-L)
- ⌘ No Retorno a Cero Invertido. Nonreturn to Zero Inverted (NRZI)
- ⌘ Binario Multinivel (Bipolar-AMI, Alternate Mark Inversion)
- ⌘ Pseudoternarios
- ⌘ Bifase: Manchester y Manchester Diferencial
- ⌘ B8ZS (Bipolar con 8 ceros de sustitución)
- ⌘ HDB3 (Bipolar de Alta Densidad con 3 ceros)

# **No Retorno a Cero-Nivel (NRZ-L)**

---

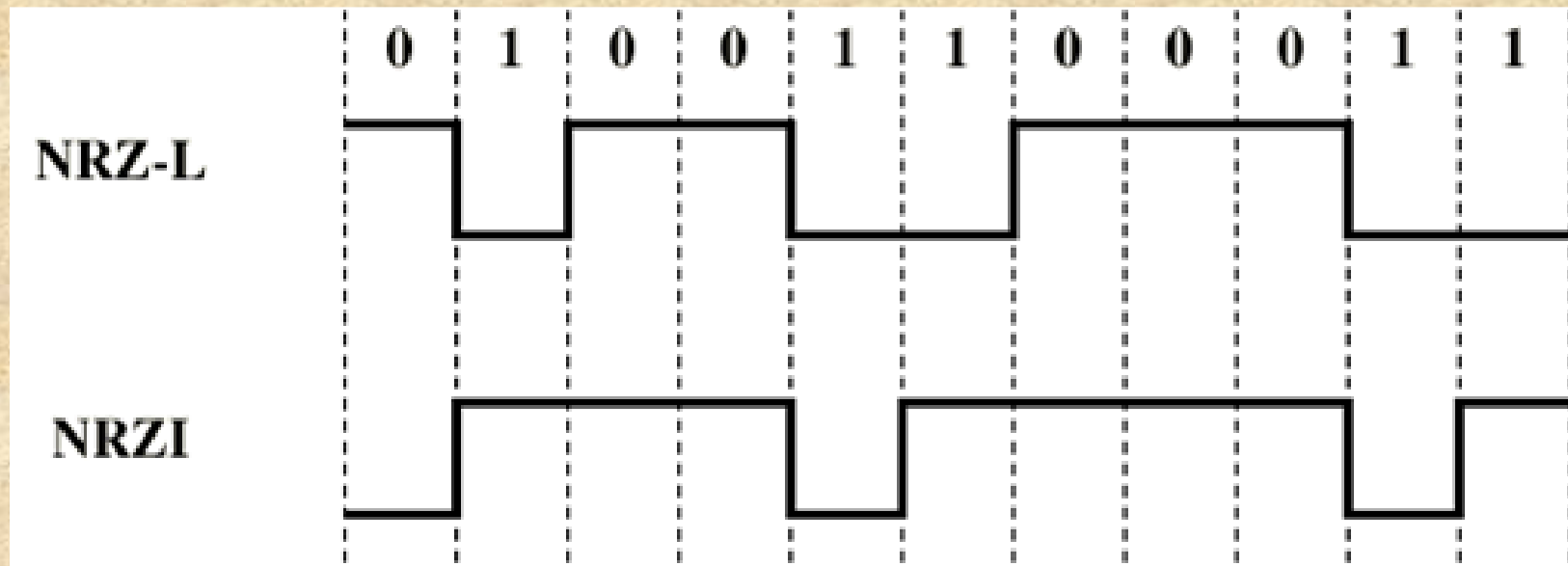
- ⌘ Dos tensiones diferentes para los bits 0 y 1
- ⌘ Tensión constante durante el intervalo del bit
  - ⏏ no hay transición, no retorna a tensión cero
- ⌘ Ausencia de tensión para 0, tensión constante positiva para 1
- ⌘ Más habitual, tensión negativa para un valor y tensión positiva el otro valor

# **No Retorno a Cero Invertido (NRZI)**

- ⌘ Sin retorno a cero invertido en 1's
- ⌘ Tensión constante durante la duración de un bit
- ⌘ El dato se codifica por la presencia o ausencia de una transición al principio del tiempo del bit
- ⌘ Transición (bajo a alto o al revés) significa un 1
- ⌘ Sin transición significa un 0
- ⌘ Ejemplo de codificación diferencial

# NRZ

---



**Cada vez que vaya a empezar un “1” se produce una transición. Si empieza un “0” no se produce transición.**

# Codificación Diferencial

---

- ⌘ Datos representados por cambios en vez de por niveles
- ⌘ Detección más fiable en la transición que en el nivel
- ⌘ En sistemas de transmisión complicados es fácil perder la polaridad. Si se invierte, se cambian los 0 por 1 y viceversa. Con codificación diferencial no existe este problema



# NRZ: ventajas e inconvenientes

---

## ⌘ Ventajas:

- ☑ Fácil de implementar
- ☑ Uso eficaz del ancho de banda

## ⌘ Inconvenientes

- ☑ Componente continua (DC)
- ☑ Ausencia de la capacidad de sincronización

⌘ Usados para grabaciones magnéticas

⌘ No usados para transmisión de señales

# Binario Multinivel

---

⌘ Usan más de dos niveles

⌘ Bipolar-AMI

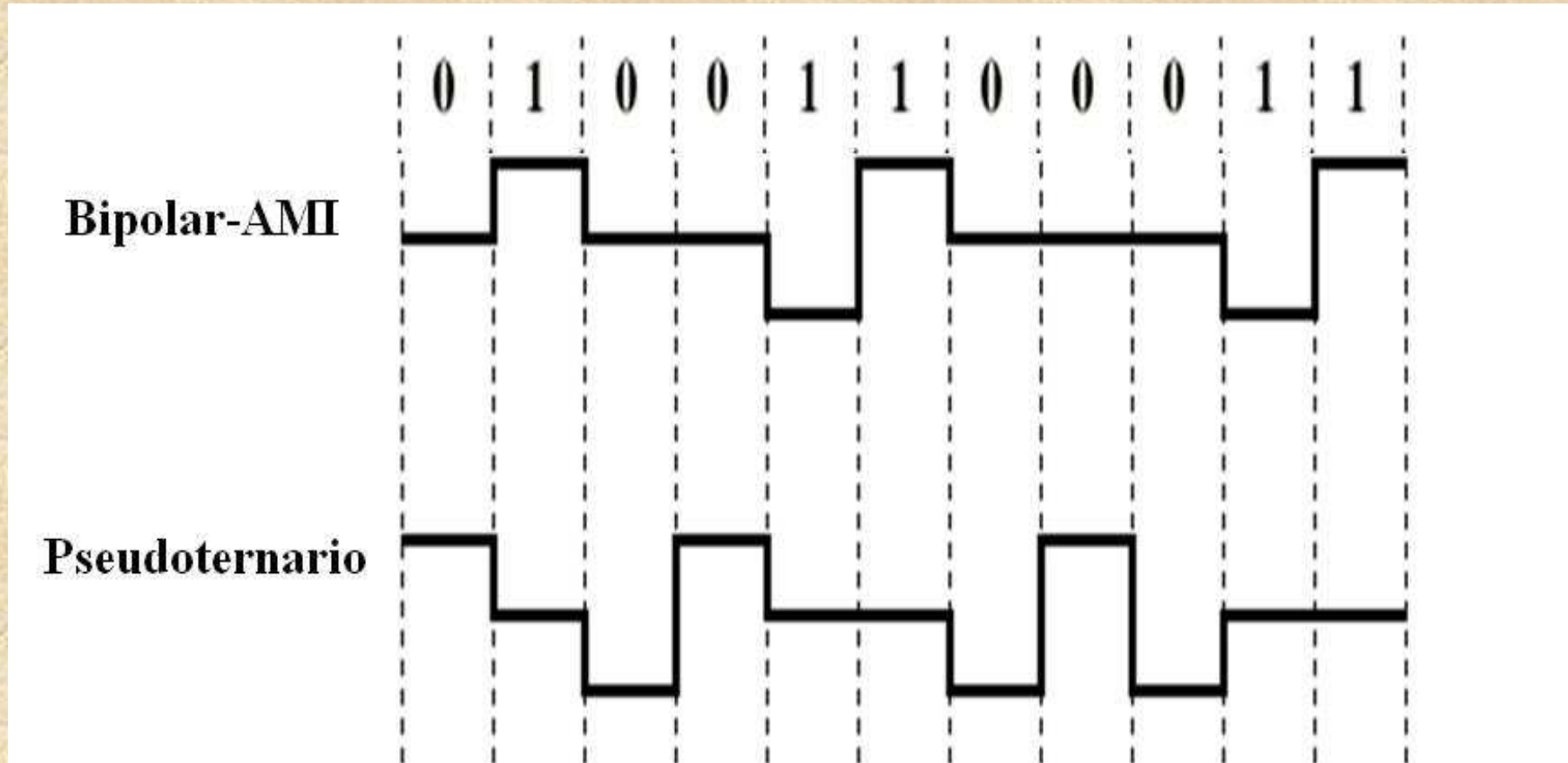
- ☑ 0 representado por ausencia de señal
- ☑ 1 representado por pulsos de polaridad alternante
- ☑ No hay pérdidas de sincronismo para una larga cadena de unos (sí para cadena de ceros)
- ☑ No tiene componente continua
- ☑ Menor ancho de banda que NRZ
- ☑ Sencilla detección de errores

# Pseudoternario

---

- ⌘ Unos representados por ausencia de señal
- ⌘ Ceros representados por pulsos de polaridad alternante
- ⌘ No tiene ventajas ni inconvenientes respecto al Bipolar-AMI

# Bipolar-AMI y Pseudoternario



## Inconvenientes para Binario Multinivel

---

- ⌘ No tan eficiente como el NRZ
  - ⊞ Cada elemento de señal sólo representa un bit
  - ⊞ Es un sistema de 3 niveles, lo que representaría  $\log_2 3 = 1.58$  bits de información
  - ⊞ El Receptor debe distinguir entre tres niveles (+A, -A, 0)
  - ⊞ Necesita aproximadamente 3 dB más de potencia de señal para la misma probabilidad de error
  - ⊞ Dada una relación S/N, la tasa de error por bit para binario multinivel es mayor que para los códigos NRZ

# Bifase

---

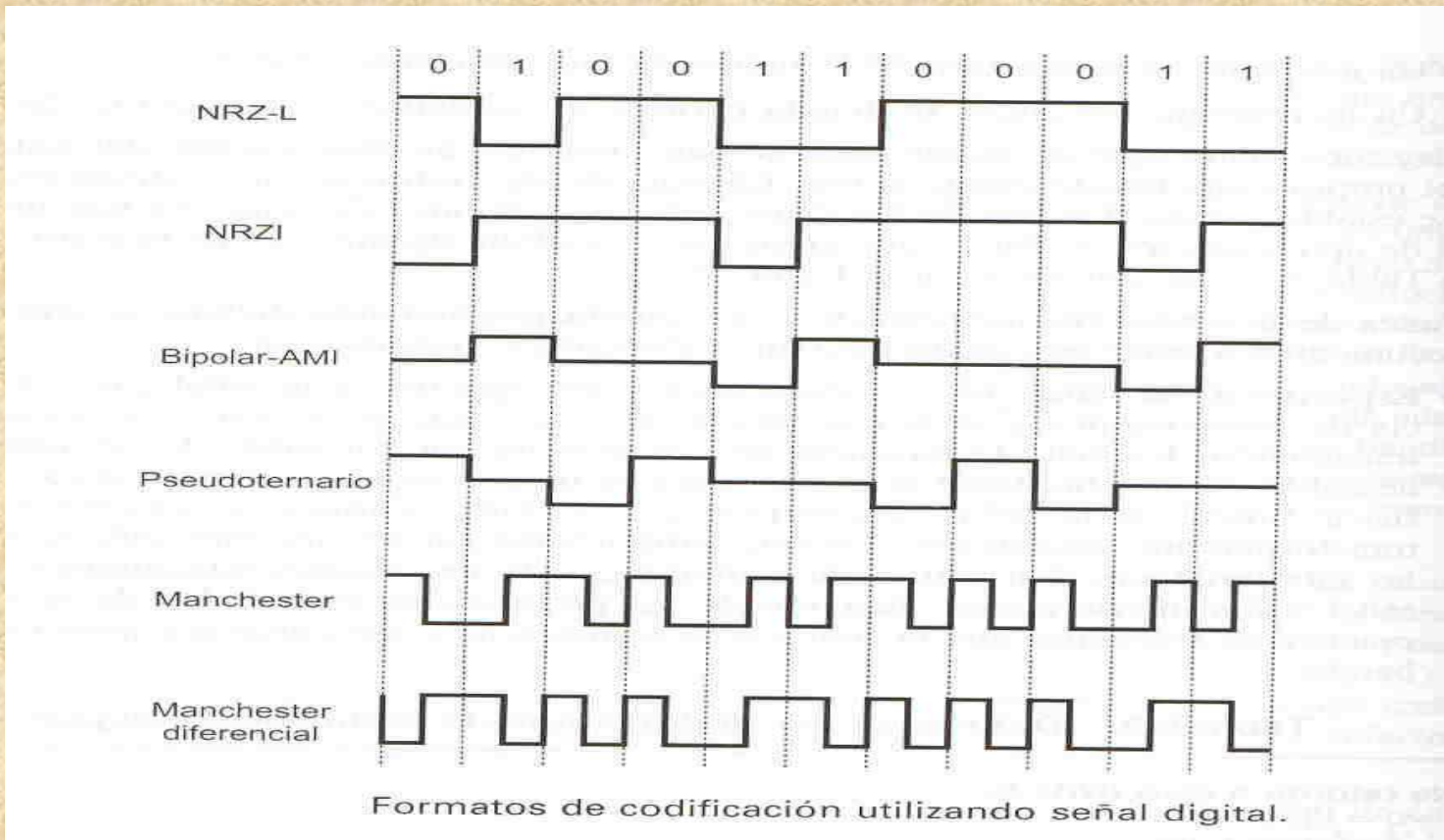
## ⌘ Manchester

- ☒ Transición en mitad del intervalo de duración del bit
- ☒ La transición sirve como reloj y para transmitir el dato
- ☒ Transición Bajo a Alto representa "1"
- ☒ Transición Alto a Bajo representa "0"

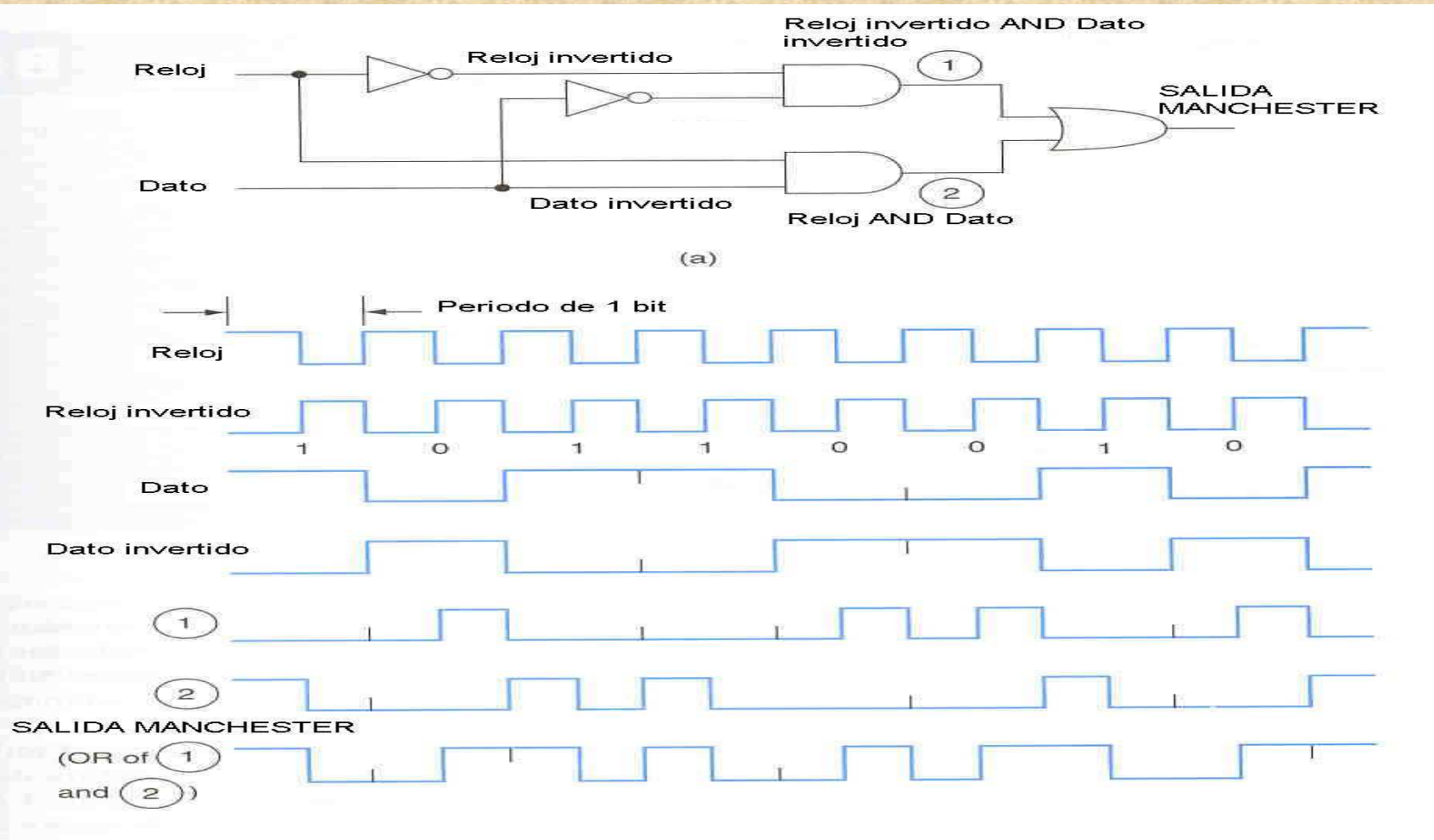
## ⌘ Manchester Diferencial

- ☒ Transición en mitad del intervalo usado sólo para sincronizar.
- ☒ La transición al principio del intervalo del bit representa "0".
- ☒ La ausencia de transición al principio del intervalo representa "1"
- ☒ Nota: es un esquema de codificación diferencial

# Comparación de todos los casos vistos



# Generación del código Manchester





# Bifase: ventajas e inconvenientes

---

## ⌘ Inconvenientes

- ☒ Al menos una transición por cada bit pudiendo ser hasta dos
- ☒ Velocidad de modulación máxima doble que en NRZ
- ☒ Necesita más ancho de banda

## ⌘ Ventajas

- ☒ Sincronización: el receptor se sincroniza con la propia señal (auto-sincronizados)
- ☒ Ausencia de componente continua
- ☒ Detección de errores, si hay una ausencia de la transición esperada

# Técnicas de “Scrambling”

---

- ⌘ Usada para reemplazar secuencias que producirían una tensión constante durante “mucho tiempo” por otras secuencias con transiciones para mantener el sincronismo.
- ⌘ La secuencia de relleno debe
  - ☑ Producir suficientes transiciones para sincronizar
  - ☑ Ser reconocida por el receptor y reestablecer la original
  - ☑ Tener la misma longitud que la original

## **OBJETIVOS:**

- ⌘ Eliminar la componente continua
- ⌘ Evitar que las secuencias largas sean señales de tensión continua
- ⌘ No reducir la velocidad de transmisión de datos
- ⌘ Tener cierta capacidad de detectar errores

# B8ZS (Norteamérica)

---

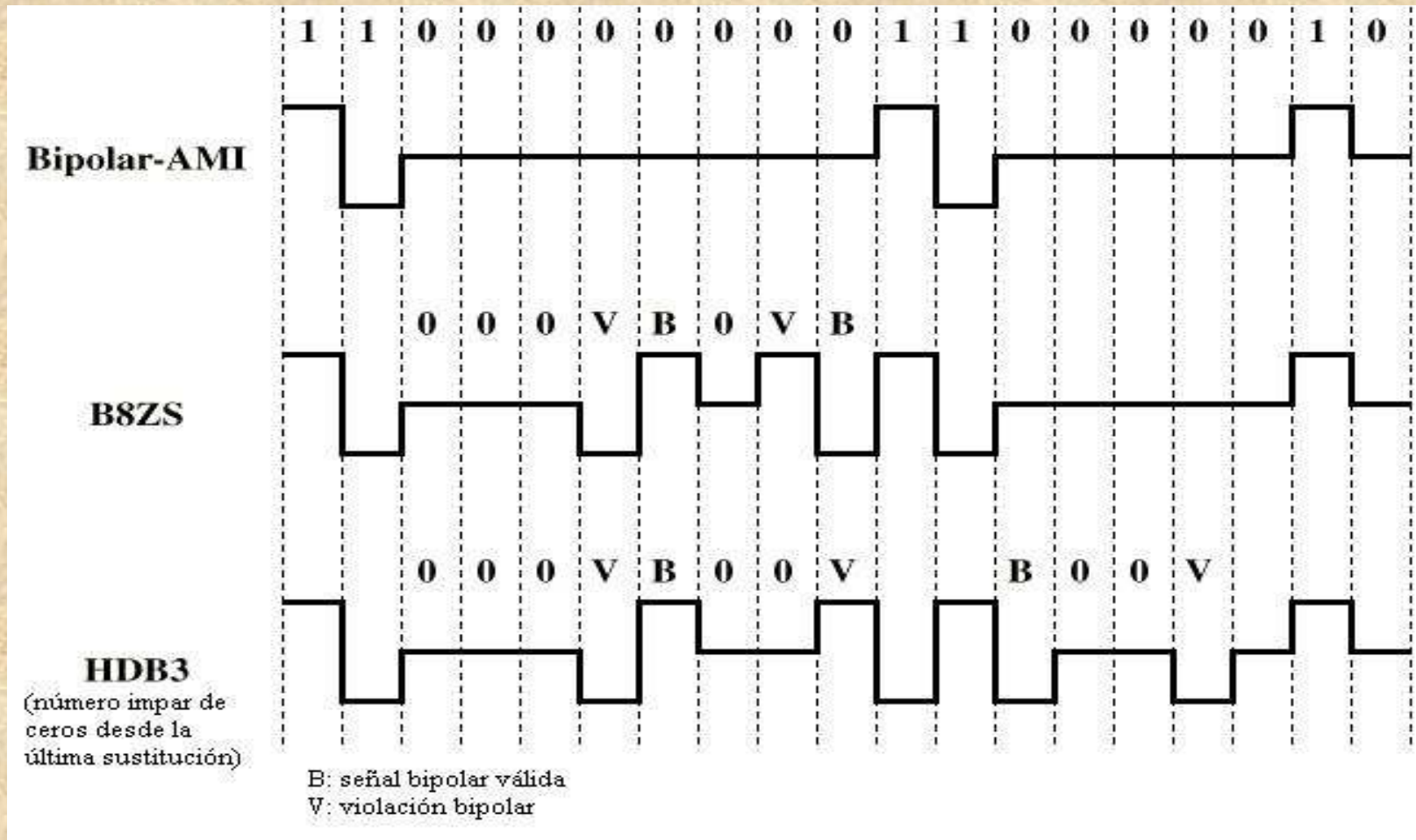
- ⌘ Actúa sobre el bipolar AMI
- ⌘ Si aparece un octeto con todo ceros y el último valor de tensión anterior a dicho octeto fue positivo, se codifica dicho octeto como **0 0 0 + - 0 - +**
- ⌘ Si aparece un octeto con todo ceros y el último valor de tensión anterior a dicho octeto fue negativo, se codifica dicho octeto como **0 0 0 - + 0 + -**
- ⌘ Causa dos violaciones del código AMI
- ⌘ Improbable que ocurra debido al ruido
- ⌘ El receptor detecta e interpreta como octeto con todo ceros
- ⌘ Adecuado para transmisión a altas velocidades

# HDB3 (Europa y Japón)

---

- ⌘ Actúa sobre el bipolar AMI
- ⌘ Si aparece un cuarteto con todo ceros y el último valor de polaridad anterior a dicho cuarteto fue positivo, se codifica dicho cuarteto como **0 0 0 +** o bien **- 0 0 -**
- ⌘ Si aparece un cuarteto con todo ceros y el último valor de polaridad anterior a dicho cuarteto fue negativo, se codifica dicho cuarteto como **0 0 0 -** o bien **+ 0 0 +**
- ⌘ En las violaciones siguientes se alternan las polaridades de las violaciones para evitar la componente continua
- ⌘ Adecuado para transmisión a altas velocidades

# B8ZS y HDB3



# **Datos Digitales, Señales Analógicas**

---

⌘ Sistema de Telefonía pública

☑ 300 Hz a 3400 Hz

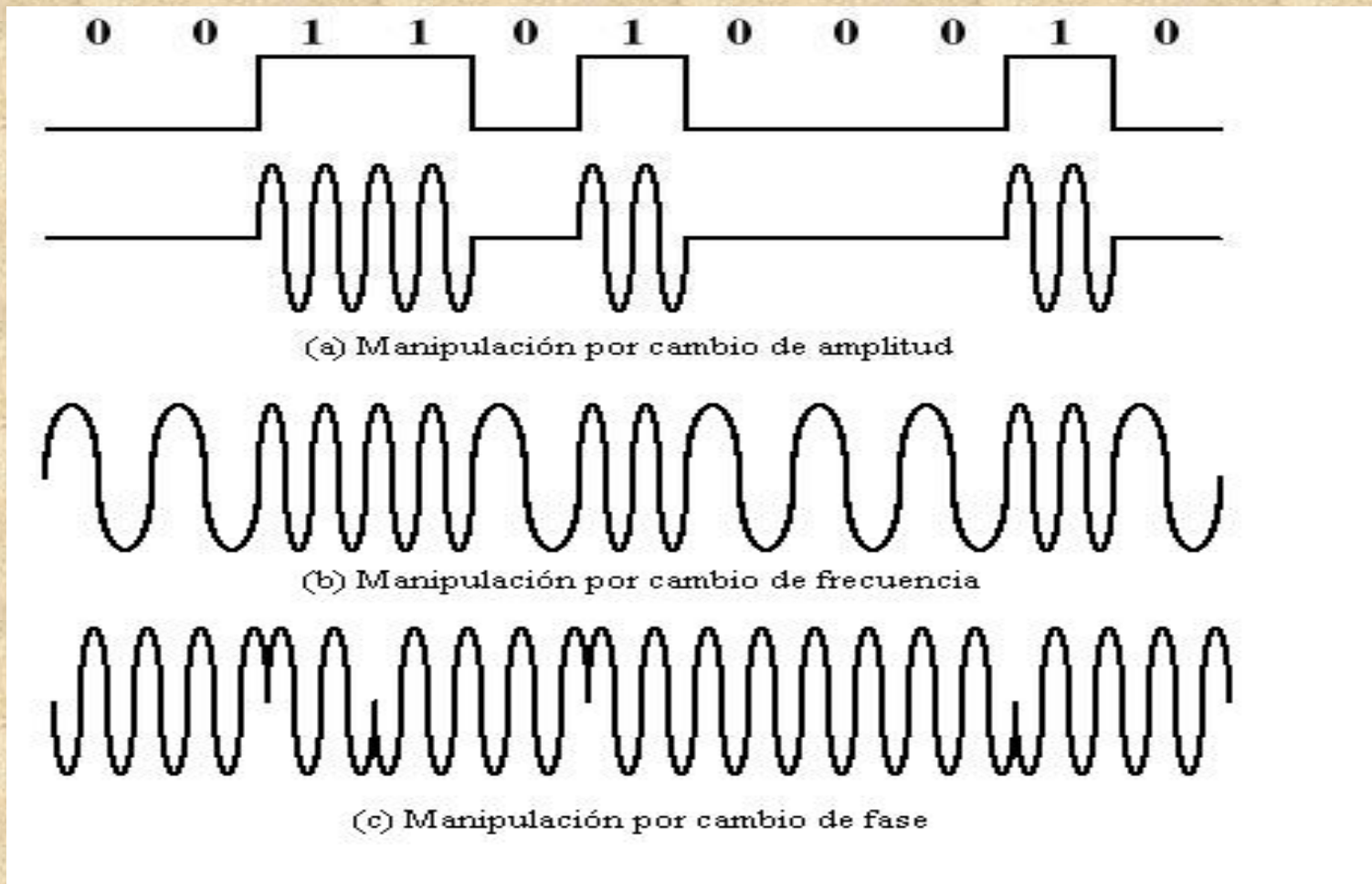
☑ Usa modem (modulador-demodulador)

⌘ Desplazamiento de Amplitud (ASK, Amp Shift K.)

⌘ Desplazamiento de Frecuencia (FSK, Frec S. K.)

⌘ Desplazamiento de Fase (PSK, Phase S. Keying)

# Técnicas de Modulación



# **Desplazamiento de Amplitud (ASK)**

- ⌘ Valores representados por diferentes amplitudes de portadora
- ⌘ Usualmente, una amplitud es cero
  - ☑ Se usa presencia y ausencia de portadora
- ⌘ Susceptible de repentinos cambios de ganancia
- ⌘ Poco eficiente
- ⌘ Hasta 1200 bps en líneas de calidad telefónica
- ⌘ Usada en fibra óptica



# ASK

---

$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t) \quad \text{1 binario}$$

$$s(t) = 0 \quad \text{0 binario}$$

## **Desplazamiento de frecuencia (FSK)**

- ⌘ Valores representados por diferentes frecuencias (próximas a la portadora)
- ⌘ Menos sensible a errores que ASK
- ⌘ Hasta 1200 bps en líneas de calidad telefónica
- ⌘ Transmisión por radio en HF (3-30 MHz)
- ⌘ Incluso en LAN en frecuencias superiores con cable coaxial

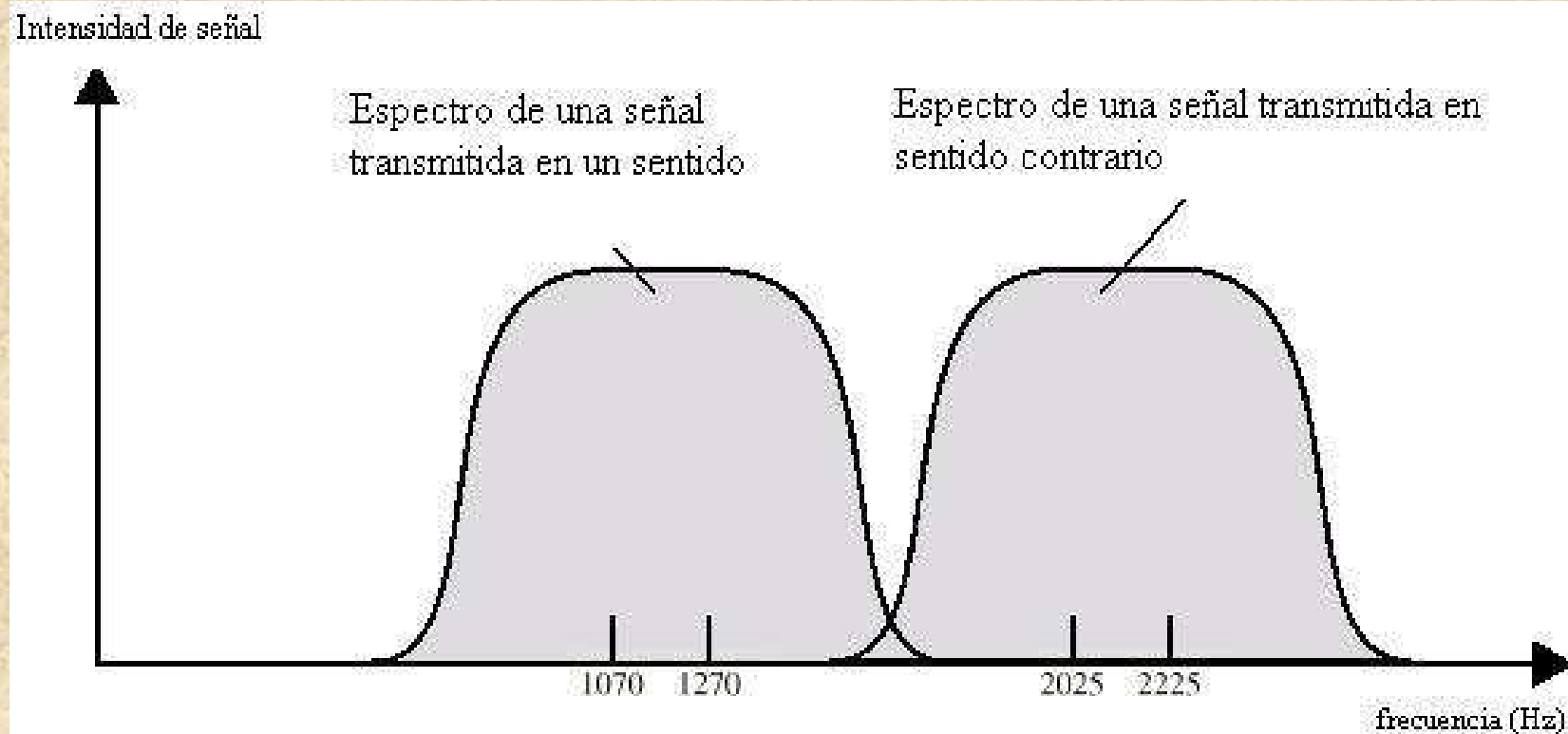
# FSK

---

$$s(t) = A \cos(2\pi f_1 t) \quad 1 \text{ binario}$$

$$s(t) = A \cos(2\pi f_2 t) \quad 0 \text{ binario}$$

# FSK en línea de calidad telefónica



## Transmisión FSK full dúplex en un canal telefónico

# Desplazamiento de Fase (PSK)

---

- ⌘ La Fase de la portadora se desplaza para representar los datos
- ⌘ PSK Diferencial
  - ☑ El cambio de fase se refiere a la transmisión del bit anterior en lugar de a una referencia absoluta

# PSK

---

$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \pi) \quad 1 \text{ binario}$$

$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t) \quad 0 \text{ binario}$$

# PSK en cuadratura (QPSK)

---

- ⌘ Uso más eficaz del espectro si por cada elemento de señalización se representa más de un bit
  - ☑ Con saltos de fase de  $\pi/2$  ( $90^\circ$ )
  - ☑ Cada elemento representa dos bits
  - ☑ Se pueden usar 8 ángulos de fase e incluso amplitudes distintas
  - ☑ Un modem estándar de 9600 bps usa 12 ángulos, cuatro de los cuales tienen dos amplitudes

# QPSK

---

$$s(t) = A \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}\right) \quad 11$$

$$s(t) = A \cos\left(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4}\right) \quad 10$$

$$s(t) = A \cos\left(2\pi f_c t + \frac{5\pi}{4}\right) \quad 00$$

$$s(t) = A \cos\left(2\pi f_c t + \frac{7\pi}{4}\right) \quad 01$$



# OTROS PSK

---

## ⌘ 8-PSK

8 fases, repartidas dos en cada cuadrante, para cada una de las 8 ternas que se pueden generar con tres bits

## ⌘ 16-PSK

16 fases, repartidas cuatro en cada cuadrante, para cada una de las 16 cuaternas que se pueden generar con cuatro bits

# Codificación Amplitud - Fase

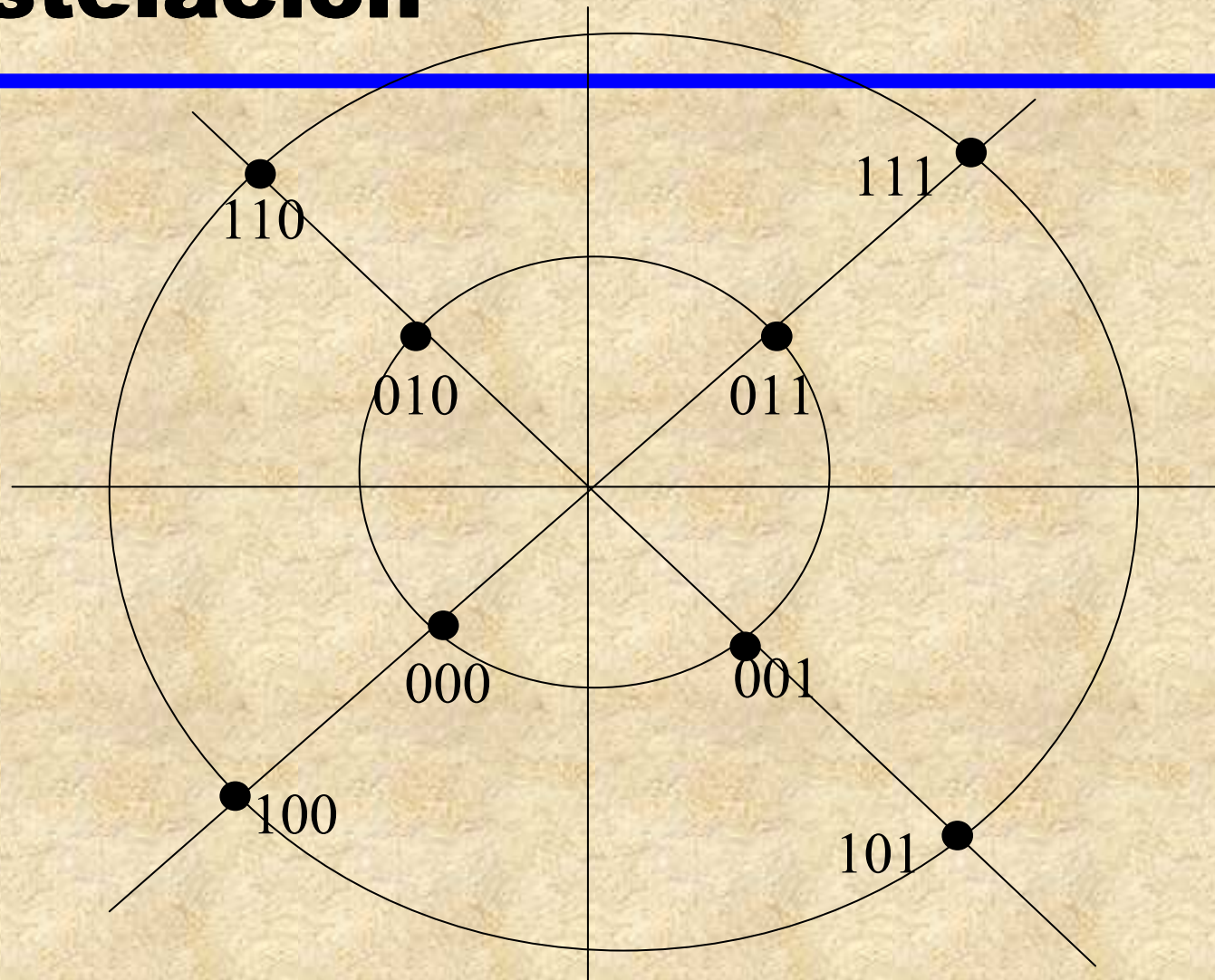
⌘ La información digital está contenida tanto en la fase como en la amplitud

Amp	1	1	1	1	2	2	2	2
Fase	$-3\pi/4$	$-\pi/4$	$3\pi/4$	$\pi/4$	$-3\pi/4$	$-\pi/4$	$3\pi/4$	$\pi/4$
MSB	0	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	1	1	0	0	1	1
LSB	0	1	0	1	0	1	0	1

⌘ Puede haber 16 cuaternas con 4 bits

# Constelación

---



# Modulación en Amplitud en Cuadratura (QAM)

---

- ⌘ Se pueden enviar dos señales diferentes simultáneamente sobre una misma portadora
- ⌘ Se utilizan dos réplicas de la portadora, una de ellas desfasada 90 respecto a la otra (en cuadratura)
- ⌘ Cada una de las portadoras se modula usando ASK
- ⌘ Las dos señales independientes se transmiten por el mismo medio

# Prestaciones (1)

---

## ⌘ Ancho de Banda $B_T$

- ⊠ ASK y PSK directamente relacionado con la velocidad de transmisión  $R$ .

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

- ⊠ FSK depende tanto del salto de frecuencia de las frecuencias  $\Delta F$  con la portadora como de la velocidad binaria  $R$

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

$r$  es un factor relacionado con la técnica de filtrado y su valor está comprendido entre 0 y 1.  $\Delta F$  es  $f_2 - f_c$  o bien  $f_c - f_1$

## Prestaciones (2)

---

En señalización multinivel se consigue un importante aprovechamiento del espectro

$$B_T = \frac{1+r}{b} R = \frac{1+r}{\log_2 L} R$$

---

## Algunos ejemplos de Ancho de Banda en FSK

$\Delta F = 1,25 \text{ MHz}$ ,  $f_c = 5 \text{ MHz}$ ,  $R = 1 \text{ Mbps}$ ,  $B_T$  depende de  $\Delta F$

$\Delta F = 100 \text{ Hz}$ ,  $f_c = 1.170 \text{ Hz}$ ,  $R = 300 \text{ bps}$ ,  $B_T$  depende de  $R$

# **Datos Analógicos, Señales Digitales**

---

⌘ Digitalización: conversión de datos analógicos en datos digitales

- ☑ Los datos digitales se pueden transmitir utilizando NRZ-L
- ☑ Los datos digitales se pueden transmitir utilizando otros códigos que no sean NRZ-L
- ☑ Los datos digitales se pueden convertir en señal analógica: (ASK, FSK, PSK)
- ☑ La conversión analógica a digital y viceversa se realiza usando un codec: PCM, DM
- ☑ Modulación por Impulsos Codificados (PCM)
- ☑ Modulación Delta (DM)



# Modulación Impulsos Codificados MIC (Pulse Code Modulation) (1)

---

- ⌘ Si una señal se muestrea a intervalos regulares a un ritmo mayor que el doble de la componente de frecuencia más alta, las muestras contienen toda la información de la señal original (**TEOREMA DEL MUESTREO**)
- ⌘ Los datos de voz están limitados a 4000 Hz
- ⌘ Se necesitan 8000 muestras por segundo
- ⌘ A cada muestra se le asigna un código digital

# Modulación por Impulsos Codificados MIC (PCM) (2)

---

- ⌘ Un sistema de 4 bits proporciona 16 niveles
- ⌘ Cuantificación
  - ⊞ Error de cuantificación o ruido
  - ⊞ Las aproximaciones suponen que es imposible recuperar exactamente la señal original
- ⌘ Muestras de 8 bits proporcionan 256 niveles
- ⌘ Calidad comparable a la transmisión analógica
- ⌘ 8000 muestras por segundo de 8 bits cada una suponen 64 kbps

# Relación Señal / Ruido PCM

---

- ⌘ La relación S/N se mejora en aproximadamente 6 dB cada vez que se aumenta un bit

$$SNR(dB) = 6.02n + 1.76$$

# Codificación no lineal

---

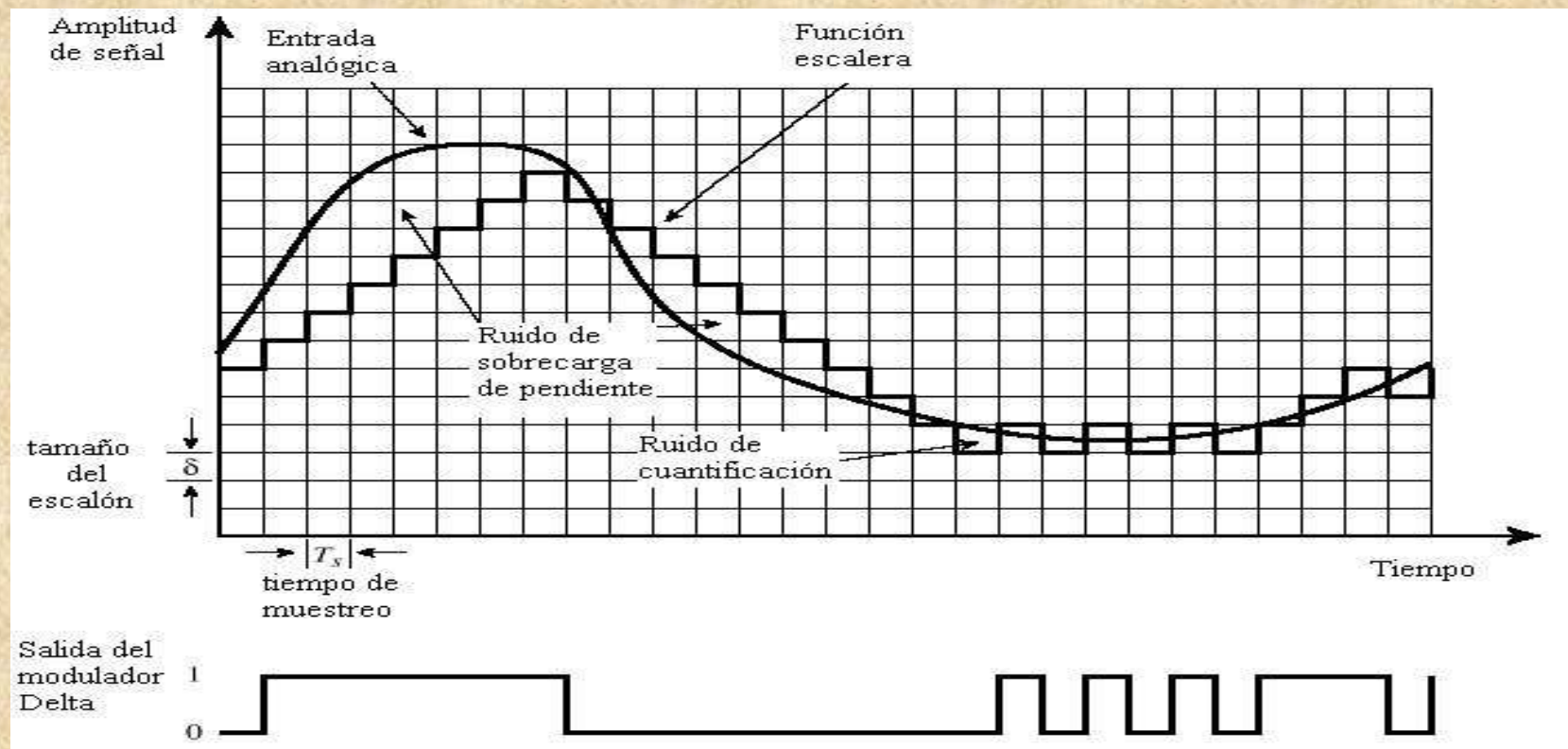
- ⌘ Los niveles de cuantificación no están espaciados regularmente
- ⌘ Se reduce mucho la distorsión de señal
- ⌘ Los escalones son más pequeños para entradas más bajas
- ⌘ También se puede usar cuantificación uniforme y previamente expandir y comprimir la señal analógica, dando más ganancia a los niveles más bajos

# Modulación Delta (DM)

---

- ⌘ La entrada analógica se aproxima mediante una función escalera
- ⌘ Se mueve arriba o abajo un nivel  $\delta$  en cada intervalo de muestra, intentando asemejarse a la entrada analógica
- ⌘ Comportamiento binario: la subida se representa con un 1 y la bajada con un 0
- ⌘ Se necesita un bit por cada muestra
- ⌘ La precisión es mayor cuanto mayor sea la frecuencia de muestreo, si bien ello incrementa la velocidad de transmisión

# Modulación Delta (DM)



**Compromiso elección  $\delta$ : grande para poco error de sobrecarga de pendiente y pequeño para poco ruido o error de cuantificación (ruido granular)**

# Problemas DM

---

- ⌘ Sobrecarga de pendiente, si la señal varía rápidamente el DM no puede seguir las variaciones
- ⌘ Ruido granular o de cuantificación. En ausencia de señal, o con variaciones muy pequeñas, el Modulador Delta está variando constantemente entre 0 y 1 generando un ruido que la señal analógica no tiene
- ⌘ DM es más sencillo que PCM pero tiene peor relación S/N

# Espectro Expandido

---

- ⌘ Datos analógicos o digitales
- ⌘ Datos esparcidos en un ancho de banda grande
- ⌘ Consigue que la perturbación y la interceptación sean más difíciles
- ⌘ Salto en Frecuencia (Frequency hopping)
  - ⊞ La señal se transmite sobre una serie pseudoaleatoria de frecuencias
- ⌘ Secuencia Directa
  - ⊞ Cada bit se representa mediante varios bits en la señal transmitida



# Secuencia Directa

