

# Telecomunicaciones

Tutorías para Examen de Título  
Área de Telecomunicaciones

Sesión 4:  
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)**

---

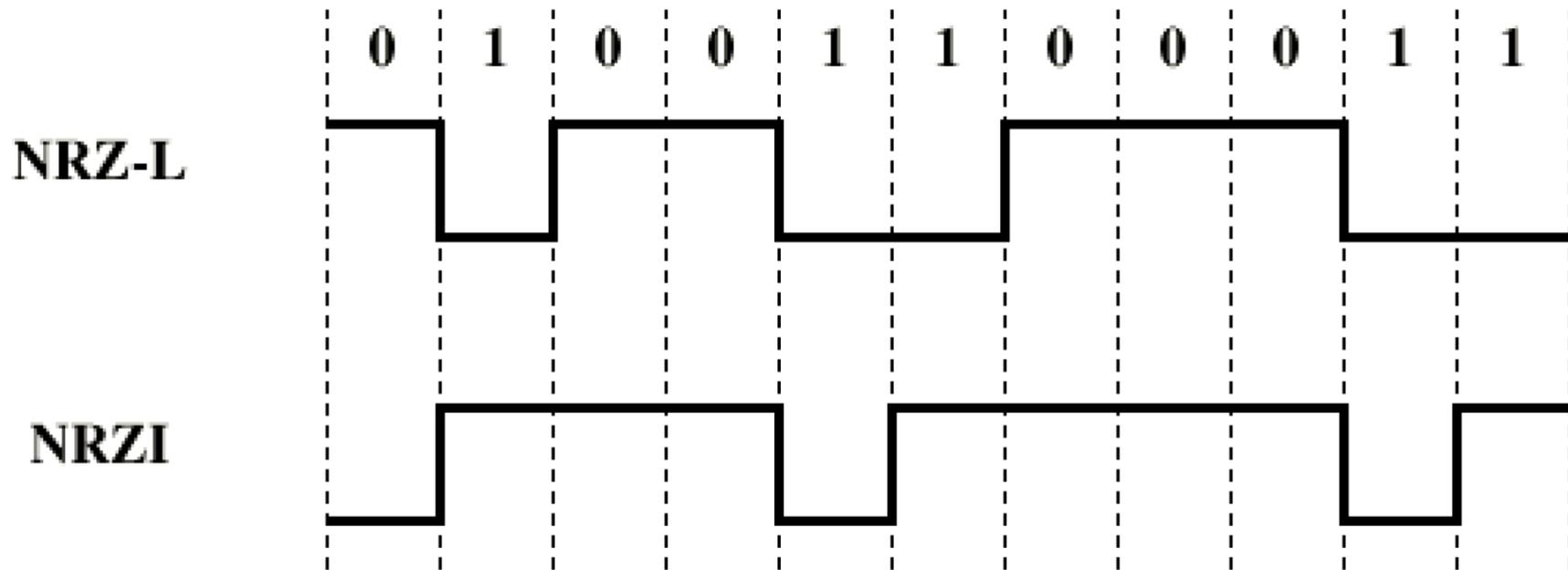
- ⌘ Dos tensiones diferentes para los bits 0 y 1
- ⌘ Tensión constante durante el intervalo del bit
  - ☒ no hay transición, no retorna a tensión cero
- ⌘ Ausencia de tensión para 0, tensión constante positiva para 1
- ⌘ Más habitual, tensión negativa para un valor y tensión positiva el otro valor

# **No Retorno a Cero-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

# NRZ

---



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

# **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

# Binario Multinivel

---

⌘ Usan más de dos niveles

⌘ Bipolar-AMI

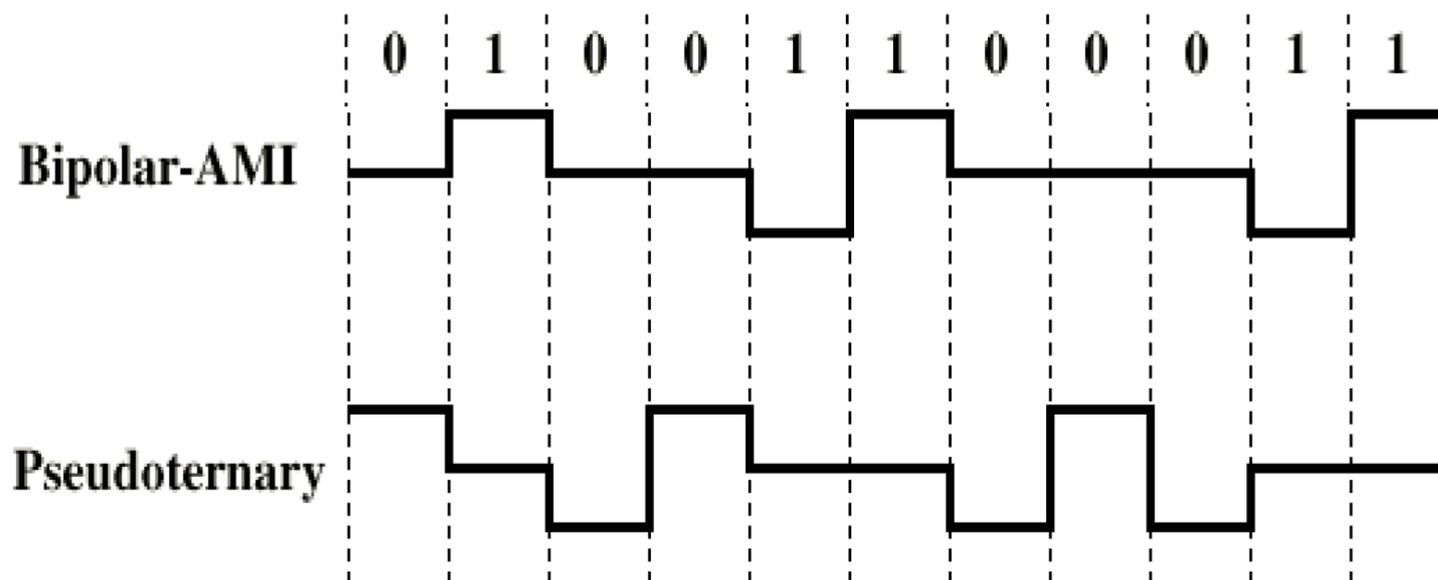
- ☑ 0 representado por ausencia de señal
- ☑ 1 representado por pulsos de polaridad alternante
- ☑ No hay pérdidas de sincronismo para una larga cadena de unos (sí para cadena de ceros)
- ☑ No tiene componente continua
- ☑ Menor ancho de banda que NRZ
- ☑ Sencilla detección de errores

# 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



# Bifase

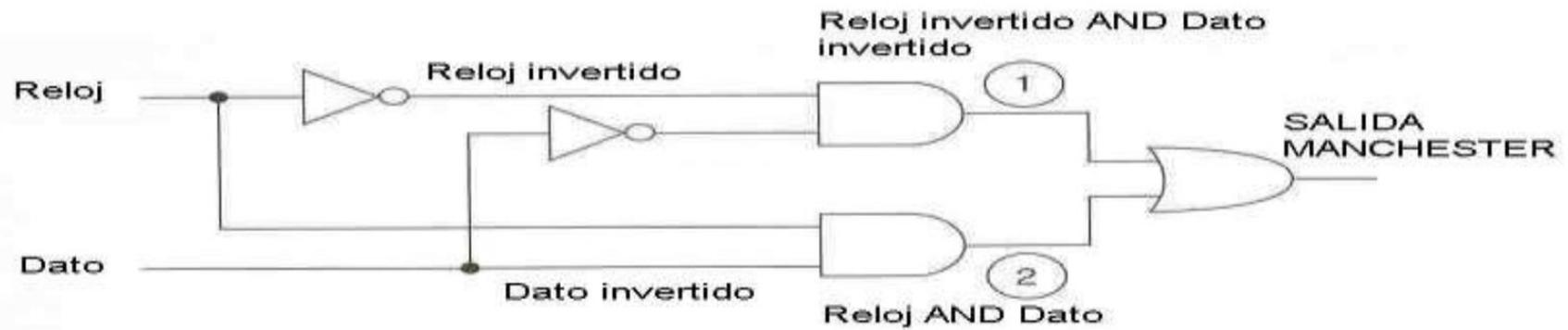
---

## ⌘ Manchester

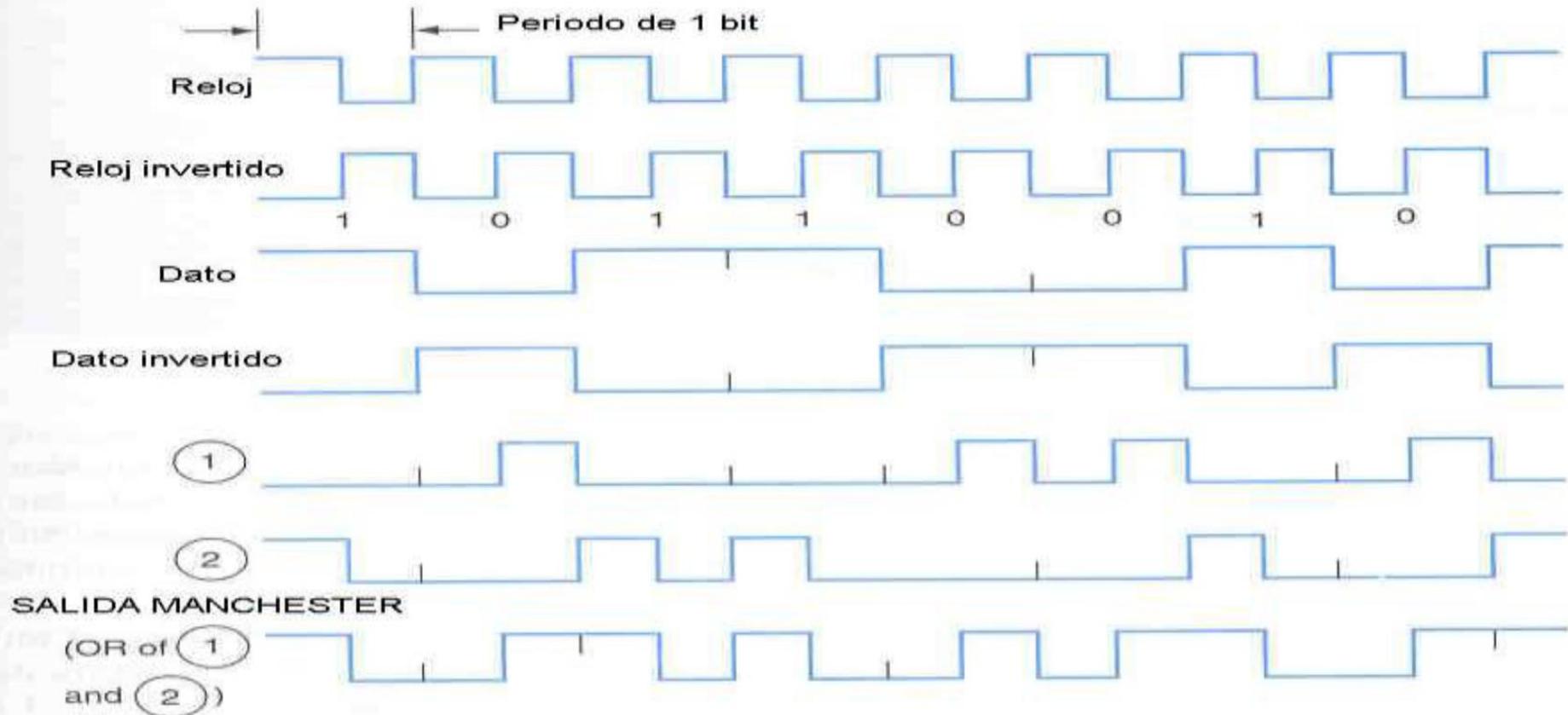
- ☑ Transición en mitad del intervalo de duración del bit
- ☑ La transición sirve como reloj y para transmitir el dato
- ☑ Transición Bajo a Alto representa "1"
- ☑ Transición Alto a Bajo representa "0"

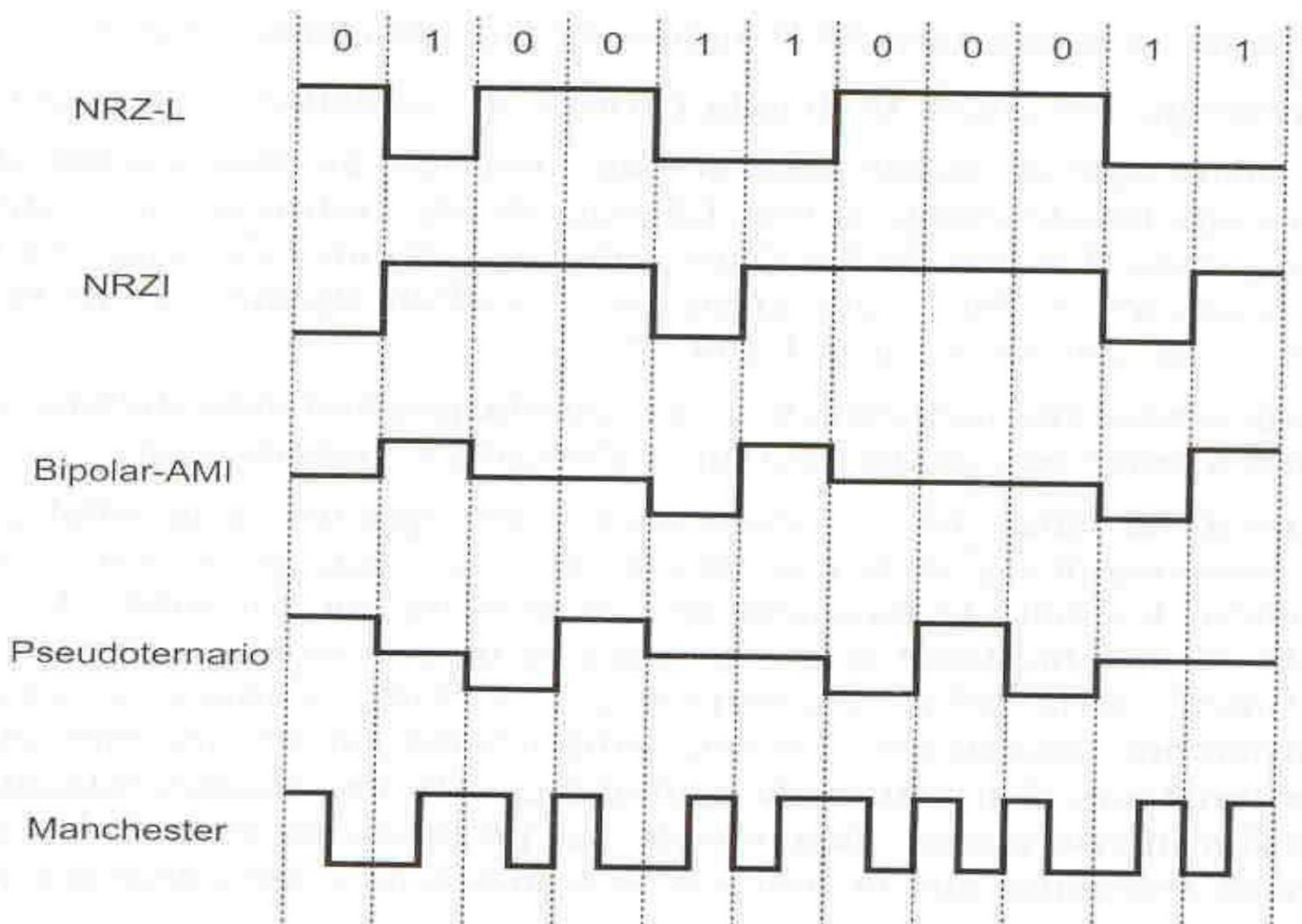
## ⌘ Manchester Diferencial

- ☑ 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



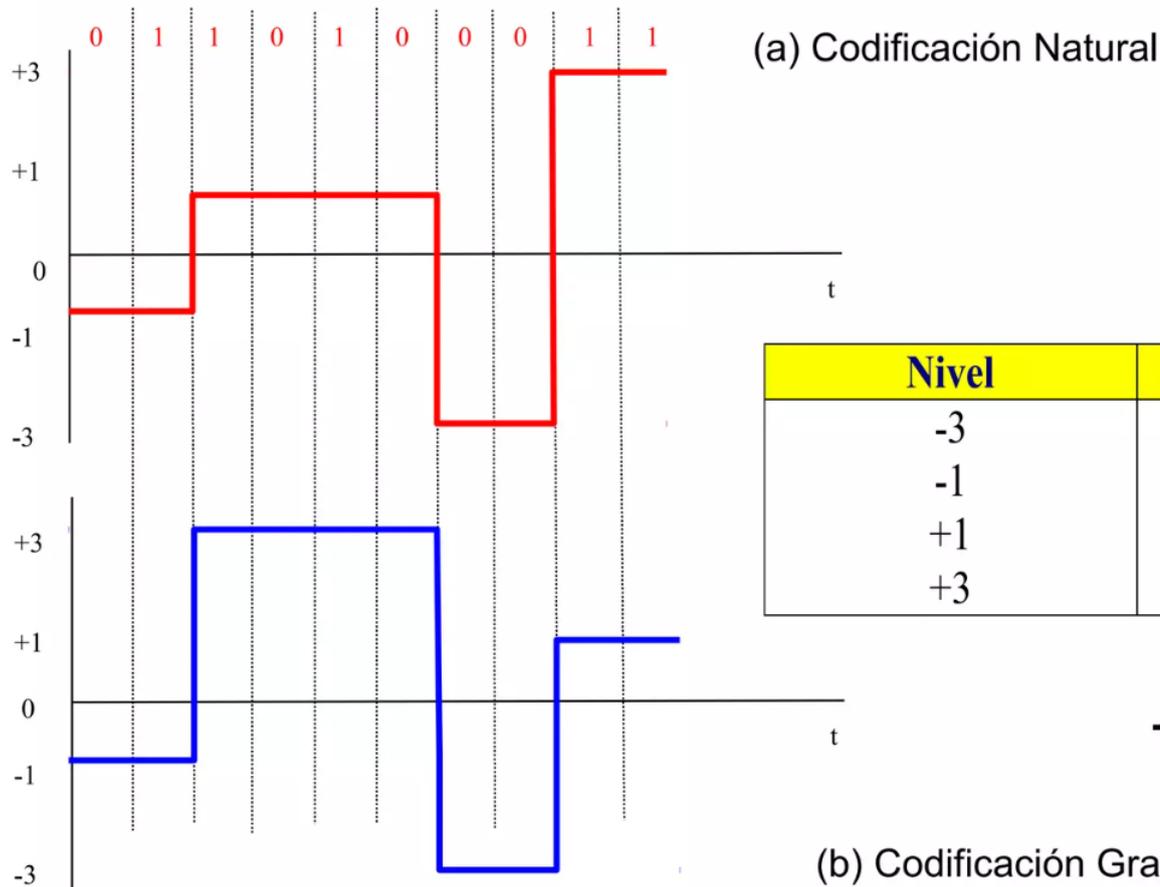
(a)





# Códificación M-Aria

## Codificación M-aria



Nivel	Codigo Natural	Código Gray
-3	00	00
-1	01	01
+1	10	11
+3	11	10

Tabla 1: Códigos Natural y Gray

Figura 2: Formato Polar Cuaternario (M = 4)

# **Datos Digitales, Señales Analógicas**

⌘ Sistema de Telefonía pública

☑ 300 Hz a 3400 Hz

☑ Usa modem (modulador-demodulador)

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

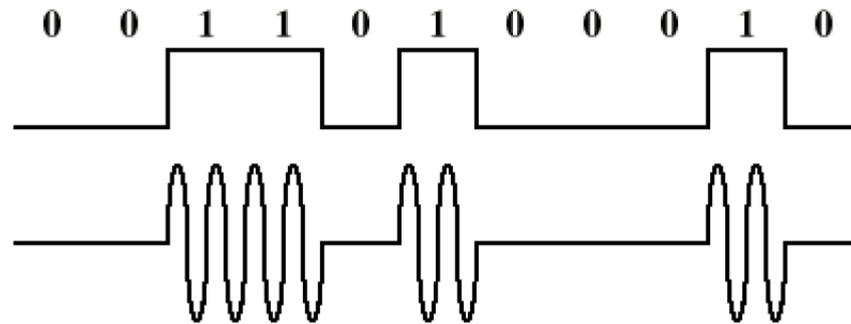
⌘ Desplazamiento de Frecuencia (FSK, Frec S. K.)

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

# **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

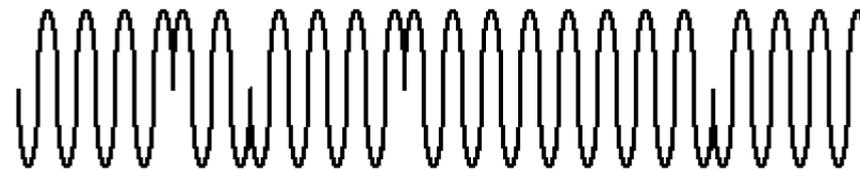
# Técnicas de Modulación



(a) Amplitude-shift keying



(b) Frequency-shift keying



(c) Phase-shift keying

# ASK

---

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

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

## **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

# **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 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 ángulo de fase e incluso amplitudes distintas
  - ☑ Un modem estándar de 9600 bps usa 12 ángulos, cuatro de los cuales tienen dos amplitudes

# Codificación Amplitud - Fase

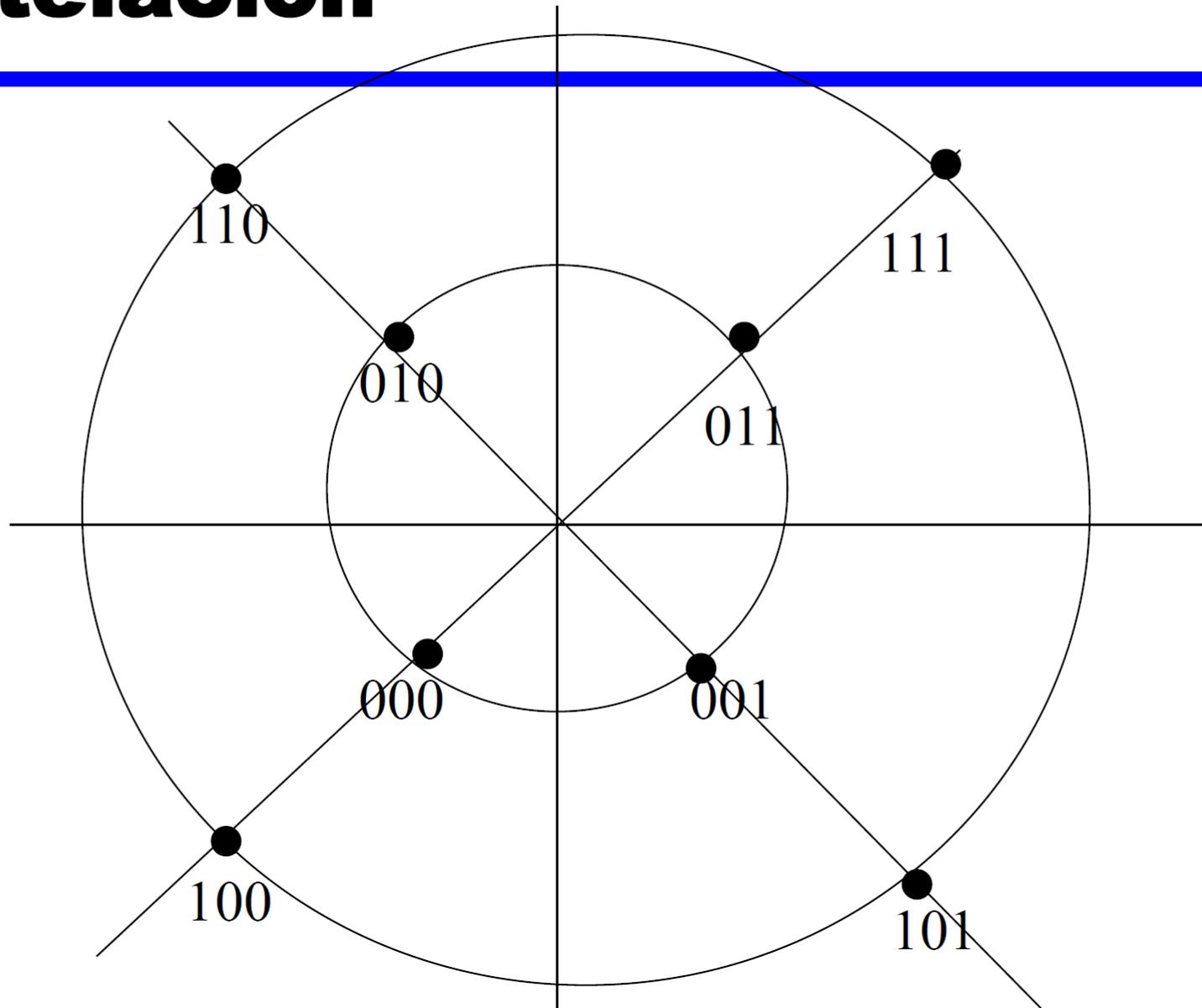
⌘ La información digital está contenida tanto en la fase como en la amplitud

Amp	1	1	1	1	2	2	2	2
Fase	-135	-45	+135	+45	-135	-45	+135	+45
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

---

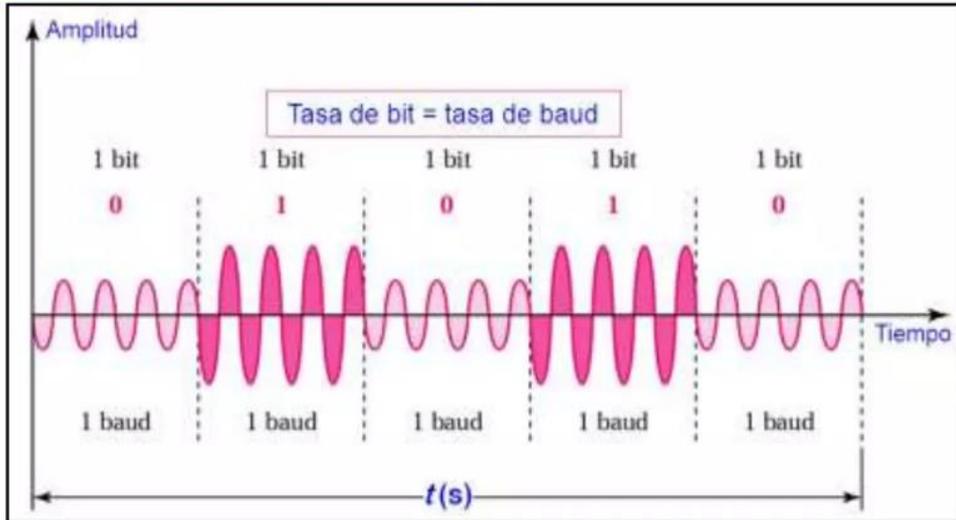


# Modulación en Amplitud en Cuadratura (QAM)

---

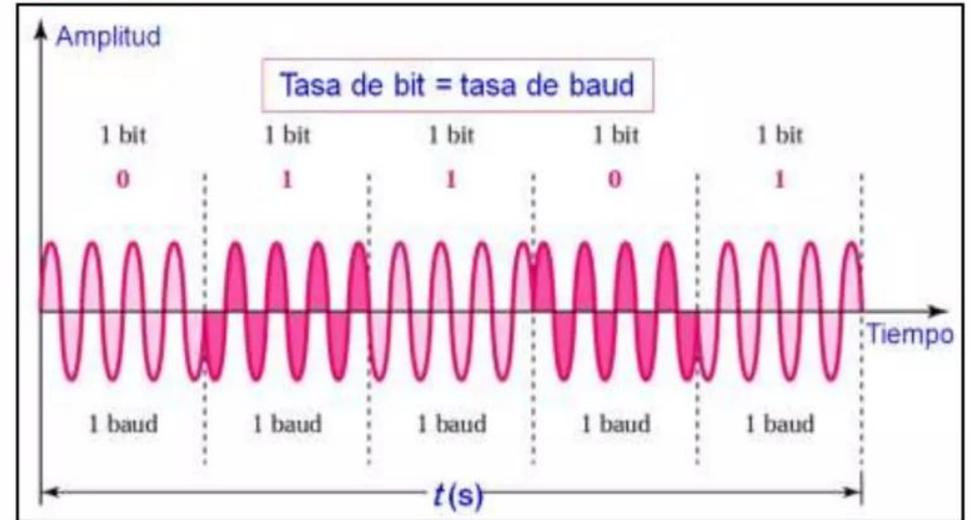
- ⌘ Se pueden enviar dos señales diferentes simultáneamente sobre una misma portadora
- ⌘ Se utilizan dos réplicas de la portadora, una de ellas desfasada 90 respecto a la otra (en cuadratura)
- ⌘ Cada una de las portadoras se modula usando ASK
- ⌘ Las dos señales independientes se transmiten por el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

## Esquema de ASK

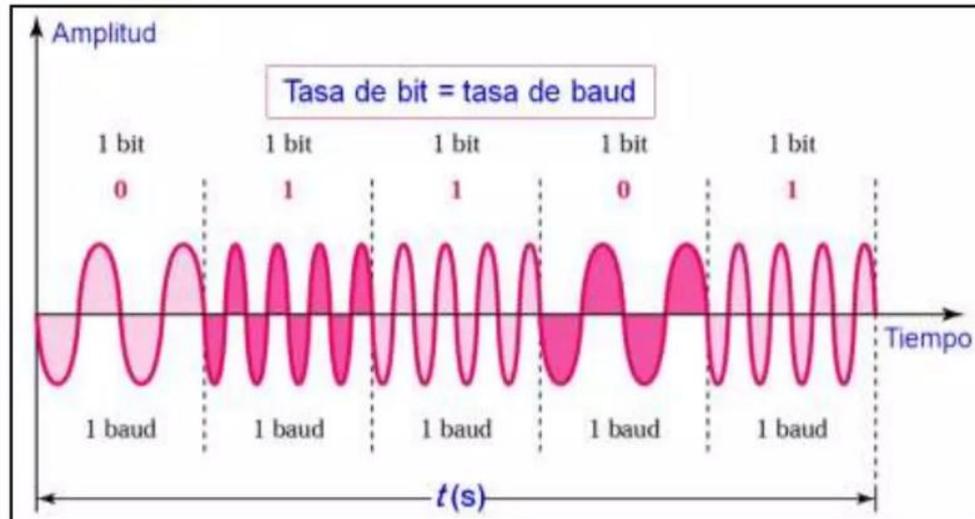


## PSK

## Dominio del tiempo

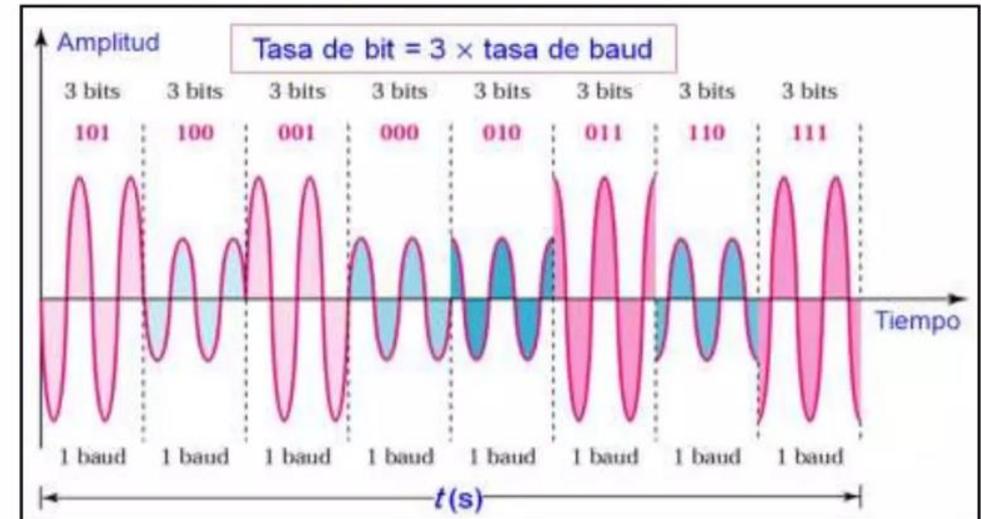


## FSK



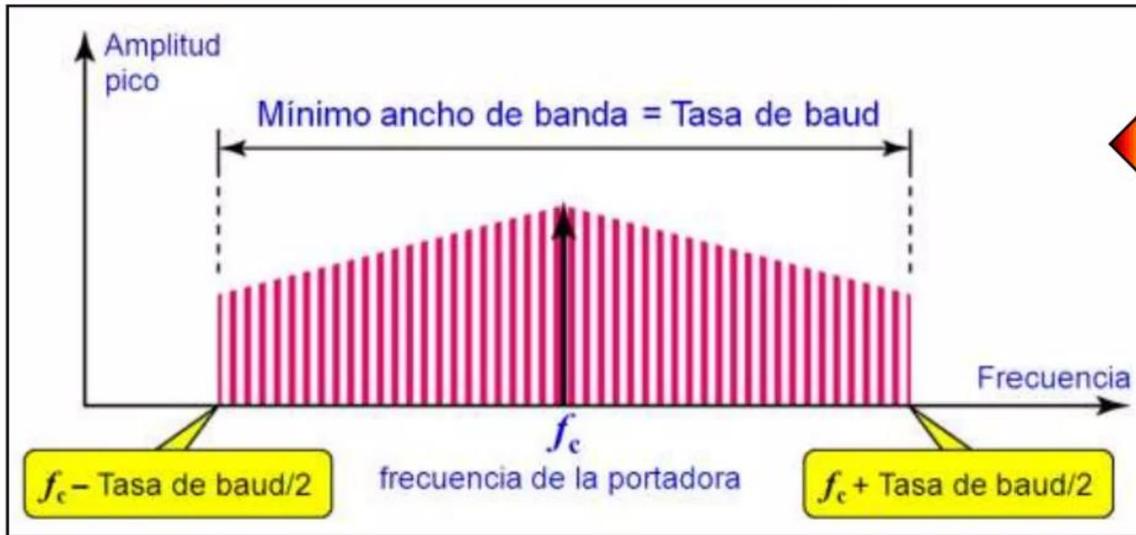
## QAM

## Caso de 3 bits/baud



# Ancho de banda de modulaciones digitales

## Espectro de ASK, PSK y QAM

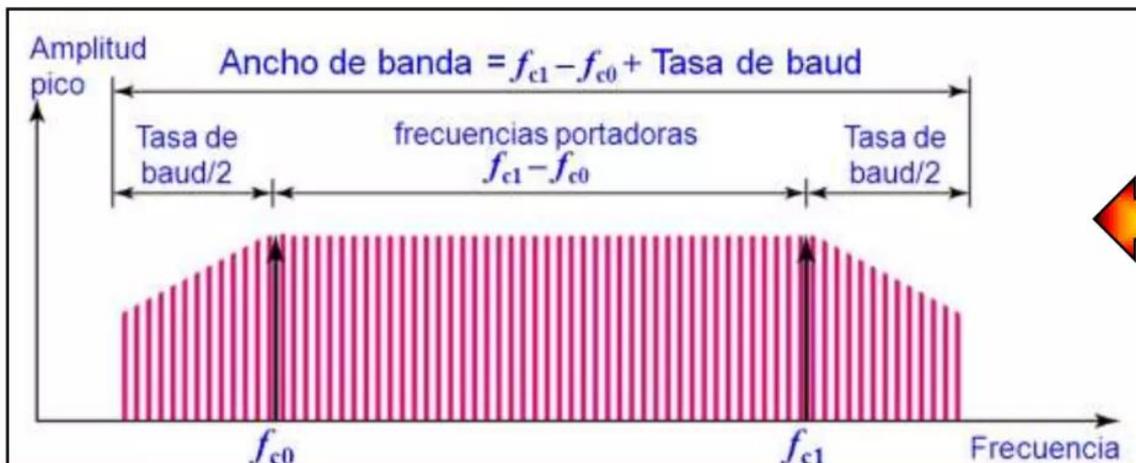


## Dominio de la frecuencia

La modulación **digital** crea un ancho de banda proporcional a la tasa de señal en baud, **centrado** alrededor de la frecuencia portadora.

Significa que si hay disponible un **canal** paso banda, se puede elegir la portadora de manera que la señal modulada ocupe el ancho de banda.

## Espectro de FSK



El ancho de banda necesario para una transmisión QAM es el mismo que para ASK y PSK.

Se puede pensar en FSK como en dos señales ASK, cada una con su frecuencia portadora.

# 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  $R$

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

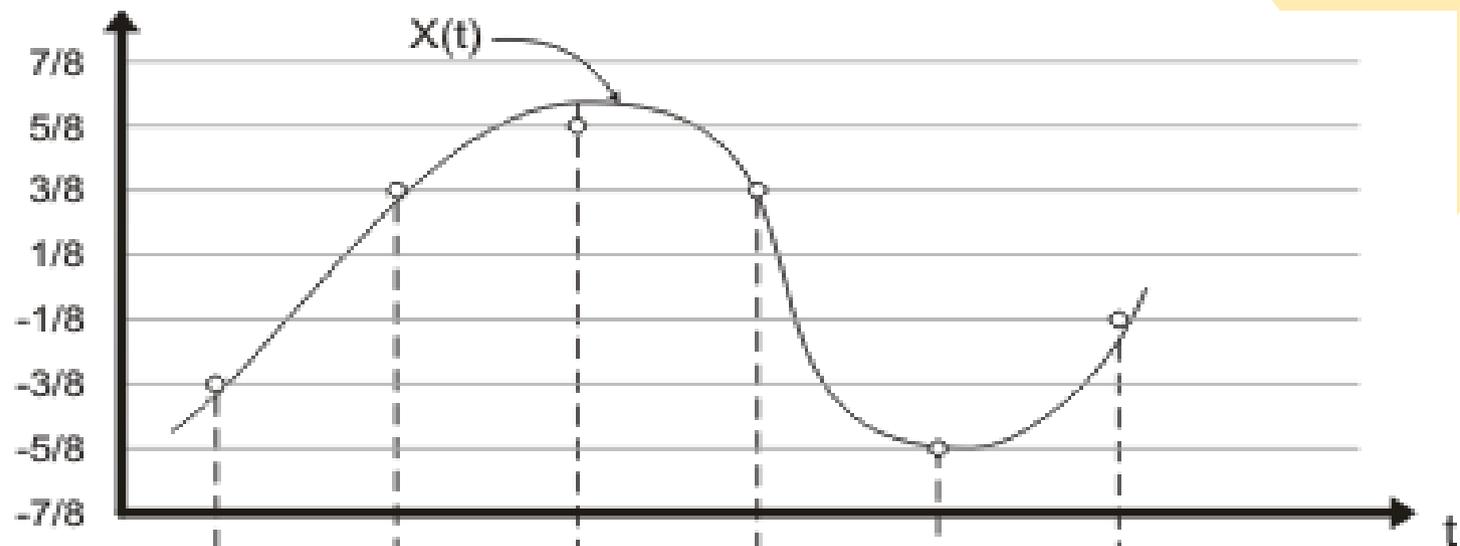
$r$  es un factor relacionado con la técnica de filtrado y su valor está comprendido entre 0 y 1.  $\Delta F$  es  $f_2 - f_c$  o bien  $f_c - f_1$

# **Datos Analógicos, Señales Digitales**

---

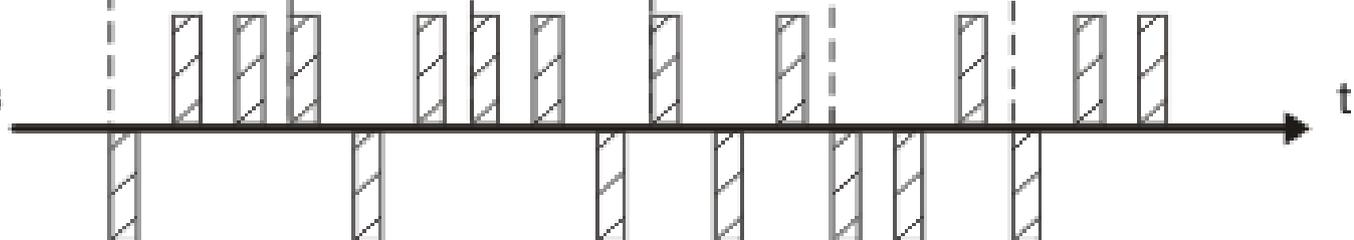
⌘ Digitalización: conversión de datos analógicos en datos digitales

- ☑ 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)



$X(t)$	$-3/8$	$3/8$	$5/8$	$3/8$	$-5/8$	$-1/8$
Código	2	5	6	5	1	3
Código binario	0 1 1	1 0 1	1 1 0	1 0 1	0 0 1	0 1 1

Modulación por pulsos codificados



# 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

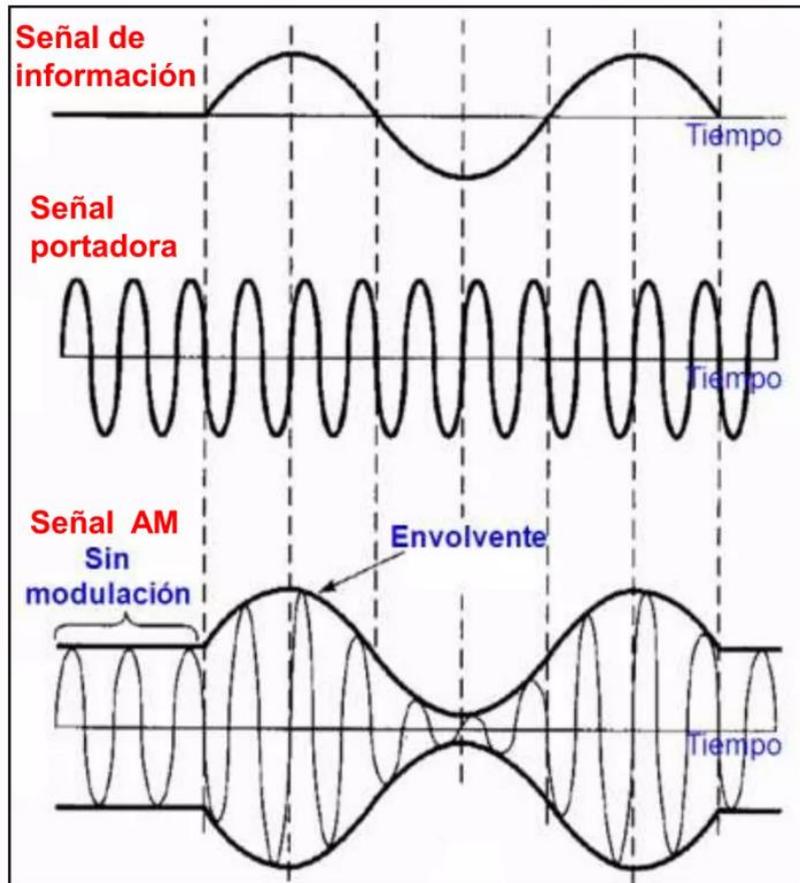
$$SNR(dB) = 6.02n + 1.76$$

# Datos analógicos, señales analógicas

Dominio del tiempo

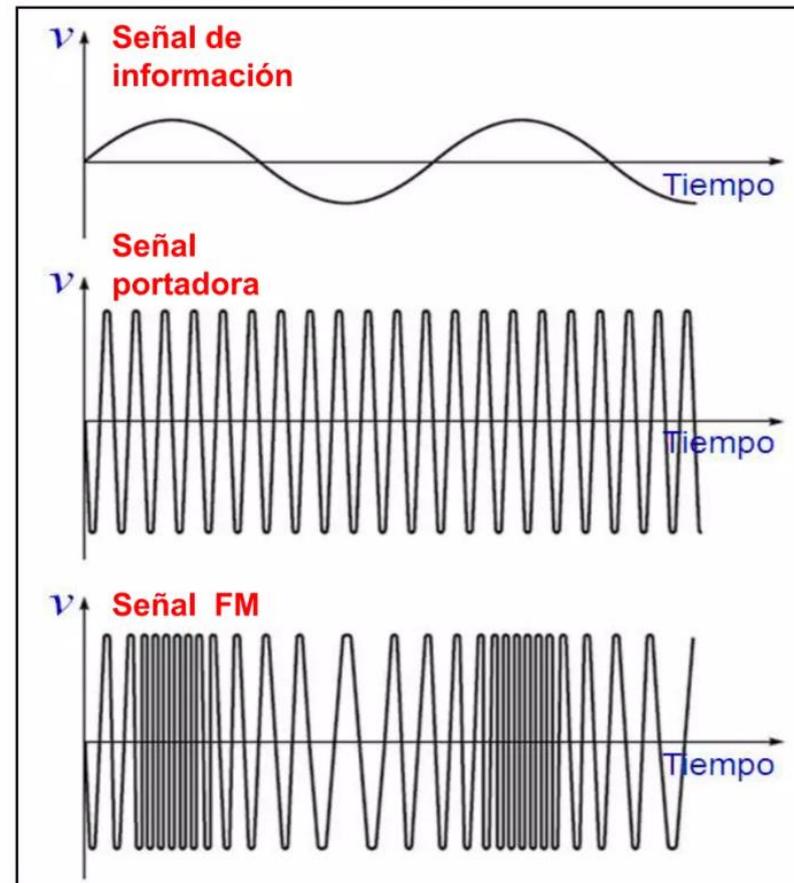
## Esquema de AM

Caso de una onda simple



La señal de información es una señal de **voz** o **video**, compuesta, según Fourier, por **múltiples** ondas seno de distintas

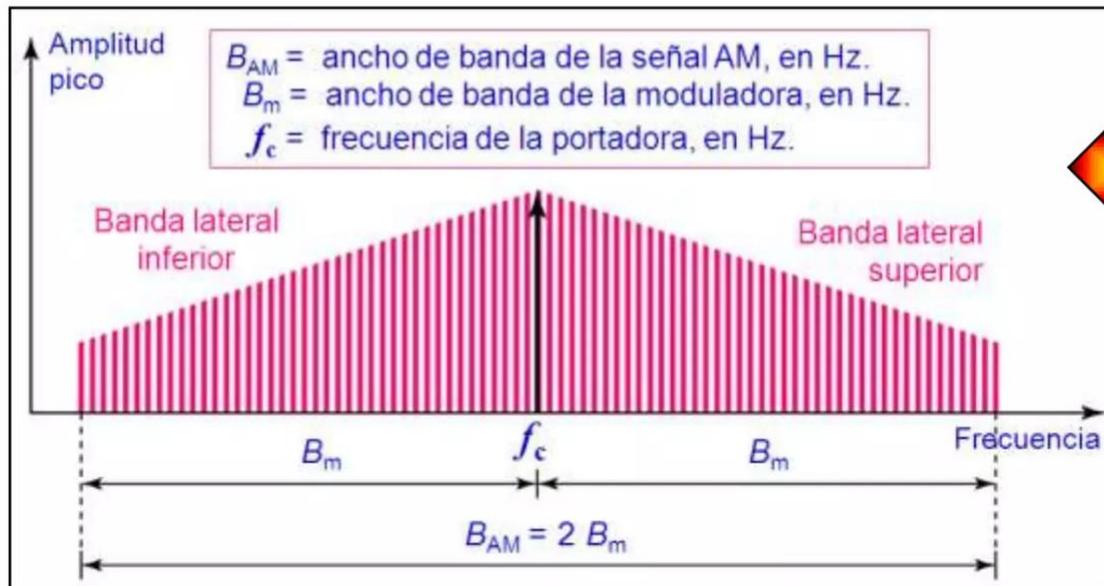
## Esquema de FM



La modulación PM produce FM. Son similares. Ambas son formas de **modulación angular**.

# Ancho de banda de AM

## Espectro de AM



## Dominio de la frecuencia

La modulación **AM** crea un ancho de banda igual al **doblo** que el ancho de banda de la señal moduladora, **centrado** alrededor de la frecuencia portadora.

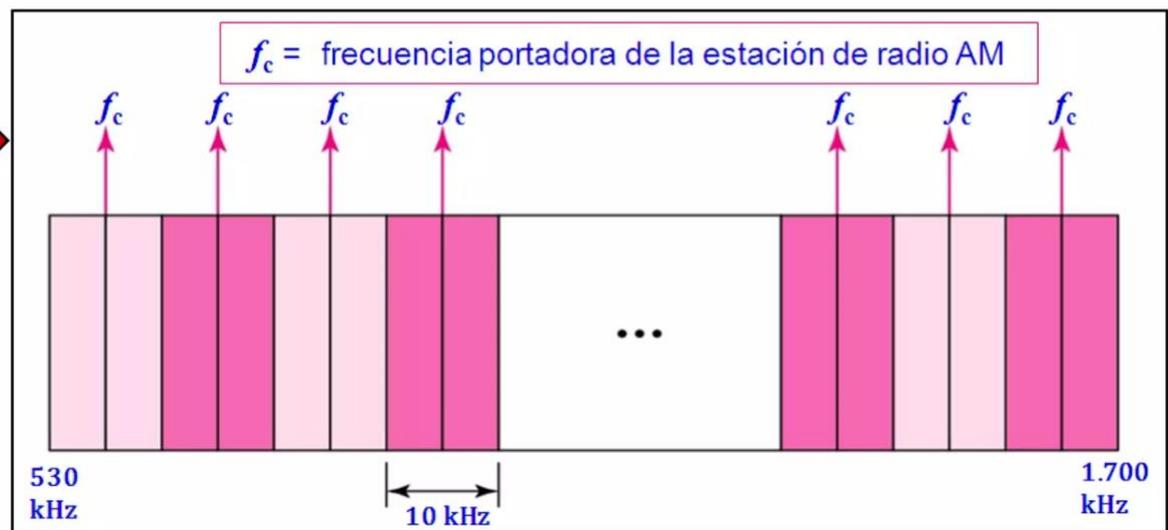
Ambas **bandas laterales** llevan a misma información. Por esta razón, en algunas aplicaciones se descarta una banda, reduciendo el ancho de banda a la mitad.

## Radiodifusión comercial

Una banda entre **530** y **1.700 kHz** se asigna a la radio AM.

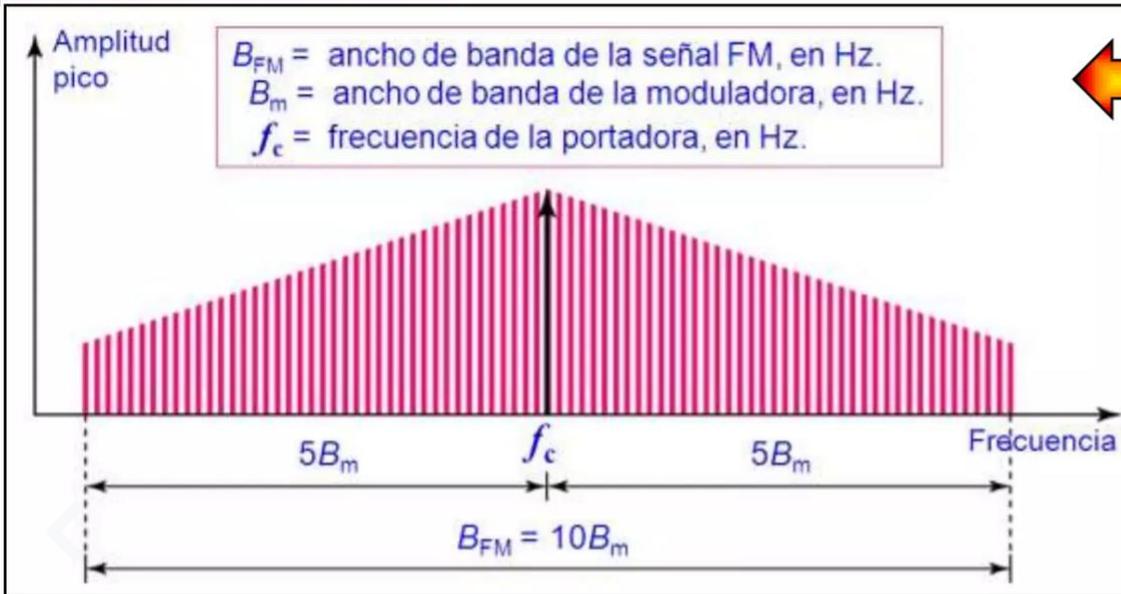
Cada estación necesita **10 kHz** de  $B_{AM}$ .

Cada radio AM utiliza una portadora diferente.



# Ancho de banda de FM

## Espectro de FM



## Dominio de la frecuencia

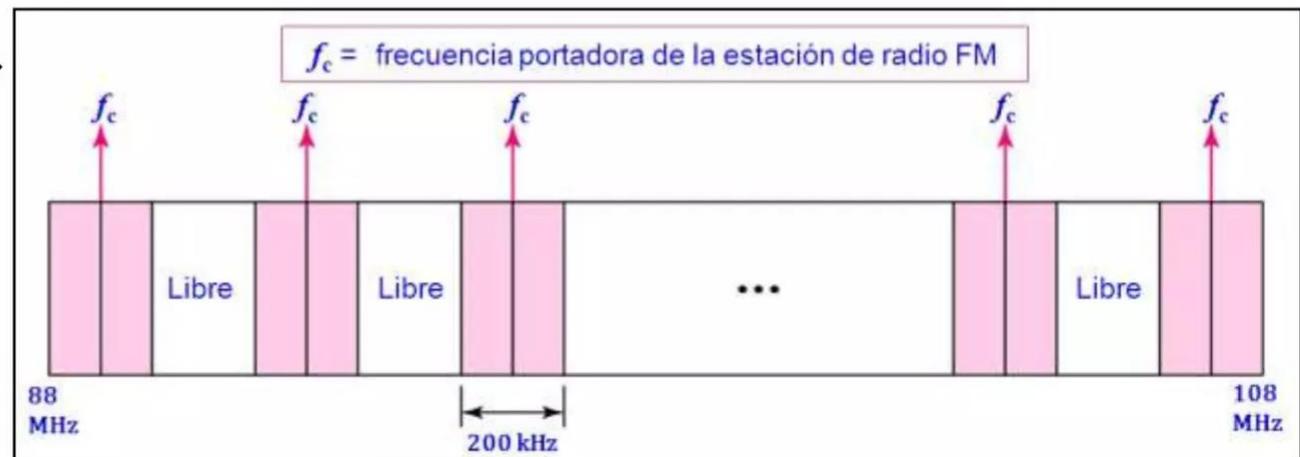
La modulación **FM** crea un ancho de banda difícil de determinar, pero se puede demostrar empíricamente que es varias veces la de la moduladora, dependiendo de los parámetros de modulación. **10** es un valor frecuente.

## Radiodifusión comercial

FM tiene una banda entre **88 y 108 MHz**.

A cada estación se asignan **200 kHz** de  $B_{FM}$ .

Cada radio FM utiliza una portadora diferente.



# 1.- Razones para modular.

Las **señales de información** (voz, video, datos) se transmiten, por lo general, a través de medios guiados. Pero, cuando las **distancias** son grandes, o **cablear** es caro, o por razones de **movilidad**, se utiliza la **transmisión por radio**.

Caso

¿Qué pasaría si una señal de voz se transmitiera en sus frecuencias originales, en su banda base (300 a 3.400 Hz)?

1

Se producirían **interferencias**. Entre las señales que ocupen rangos de frecuencias comunes.

2

Se requerirían antenas de gran **longitud**.



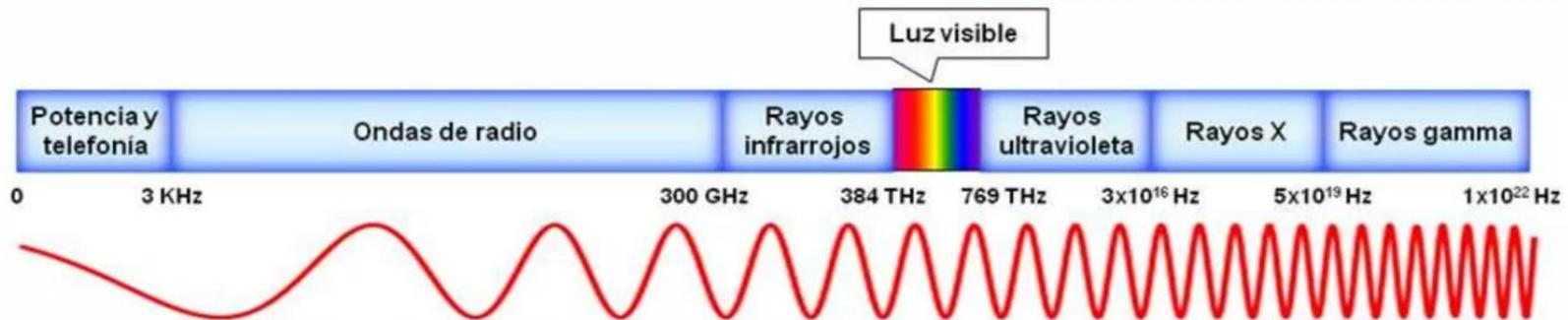
Por ejemplo, para transmitir un **tono de voz de 3 kHz**, que generaría una  $\lambda = 100 \text{ km}$ , se necesitaría una antena de  $\lambda/2 = 50 \text{ km}$  de longitud.

Solución

Recurrir a la **técnica de modulación**, mediante la cual la información se “imprime” en una onda senoidal de alta frecuencia conocida como **portadora**.

La señal de información (banda base) se conoce como moduladora.

# Bandas de frecuencias



Rango	Banda	$f$ min	$f$ máx	$\lambda$ máx	$\lambda$ min	Propagación en telecomunicaciones	Aplicación de RF	Características	
Potencia y telefonía	ELF	0	3 KHz	0	100 Km	Par trenzado Cable coaxial Guía de onda Fibra	Ultrasonidos. Técnicas de audio. Transporte energía	Creadas por el hombre con un circuito oscilante.  En líneas de transmisión se propagan como corrientes eléctricas  En el aire como ondas electromagnéticas  En la región de las microondas, 1 a 300 GHz, se comportan como un fluido, semejante a un haz de luz.	
	VLF	3 KHz	30 KHz	100 Km	10 Km		Superficie		Radionavegación de largo alcance y submarina
	LF	30 KHz	300 KHz	10 Km	1 Km		Troposfera		Radionavegación de largo alcance y localizadores
	MF	300 KHz	3 MHz	1 Km	100 m		Ionosfera		Radio AM, marítima, frecuencias de emergencia
	HF	3 MHz	30 MHz	100 m	10 m		Línea vista y espacio		Radioaficionados, emisión Internacional, CB
	VHF	30 MHz	300 MHz	10 m	1 m		Espacio		TV (2 a 6) (7 a 13), Radio FM, aviación
	UHF	300 MHz	3 GHz	1 m	10 cm				Telefonía móvil, WiFi, TV (14 a 69), microondas
	SHF	3 GHz	30 GHz	10 cm	1 cm				Microondas terrestre y satélite, Radar, WiMax, LTE
	EHF	30 GHz	300 GHz	1 cm	1 mm		Microondas satélite, Radar de navegación (científica)		
Rayos infrarrojos		300 GHz	384 THz	1 mm	780 nm		Fotografía infrarroja, Comunicación por FO	Emitidos por vibraciones de átomos (calientes)	
Luz visible		384 THz	769 THz	780 nm	380 nm		Comunicación por FO para control industrial	Salto electrónico: niveles atómicos y moleculares	
Rayos ultravioleta		769 THz	$3 \times 10^{16}$ Hz	380 nm	8 nm		Producen la ionosfera. Broncean la piel	Proviene del sol. Los absorbe el ozono. Peligrosos	
Rayos X		$3 \times 10^{16}$ Hz	$5 \times 10^{19}$ Hz	8 nm	6 pm		Diagnósticos médicos. Radiografía	Oscilaciones de electrones próximos a los núcleos.	
Rayos gamma		$5 \times 10^{19}$ Hz	$1 \times 10^{22}$ Hz	6 pm	$3 \times 10^{-14}$ m		Medicina y alimentos. Eliminan bacterias	Desintegraciones nucleares. Penetrantes y energéticos.	

# FIN