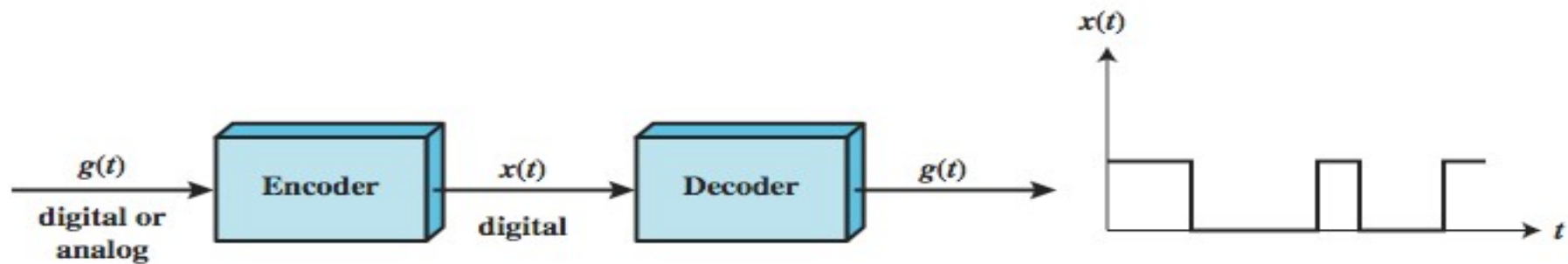


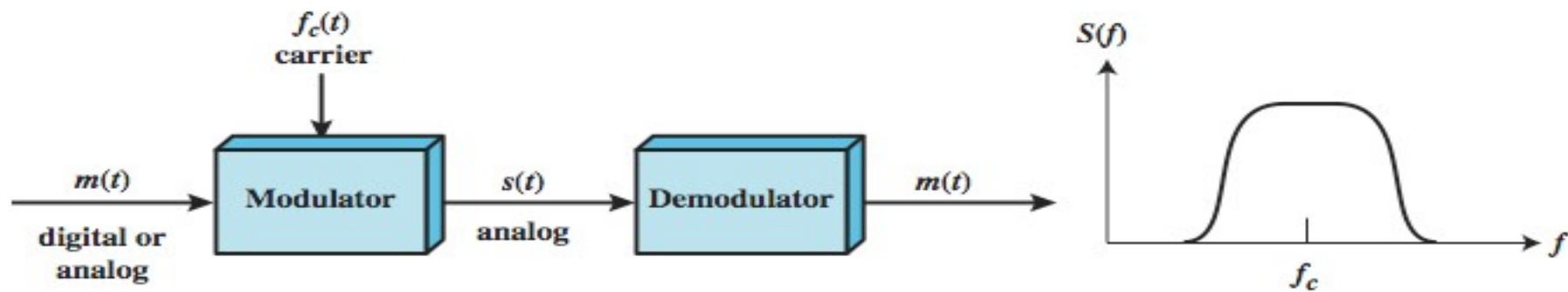
RAL - Unidad 3

**LA CAPA FÍSICA:  
SEÑALIZACIÓN Y CODIFICACIÓN**

# Codificación y Modulación



(a) Encoding onto a digital signal



(b) Modulation onto an analog signal

**Figure 5.1 Encoding and Modulation Techniques**

# Señalización y Codificación

- **Señalización:** técnicas para transmitir señales:
  - en banda base -> sin modulación
  - en banda ancha -> con modulación
- **Codificación:** técnicas para convertir la naturaleza de los datos
  - analógicos a digitales -> muestreo+codificación
  - digitales a digitales -> recodificación
- Con estas técnicas podemos combinar la transmisión de datos analógicos / digitales como señales analógicas / digitales

# 1.dato digital, señal digital

- **Señal digital**

- secuencia de pulsos de tensión discretos y discontinuos (*elementos de señal*)
- los datos digitales (símbolos) se transmiten utilizando uno o varios elementos de señal (pulsos):
  - en el caso más sencillo: un pulso, un bit; pero no siempre es así

- **Velocidad de modulación o tasa de señal**

- tasa a la que cambia el nivel de la señal
- en **baudios** = pulsos (símbolos) por segundo
- el nombre de baudio se debe a Emile Baudot, inventor del código telegráfico *Baudot*

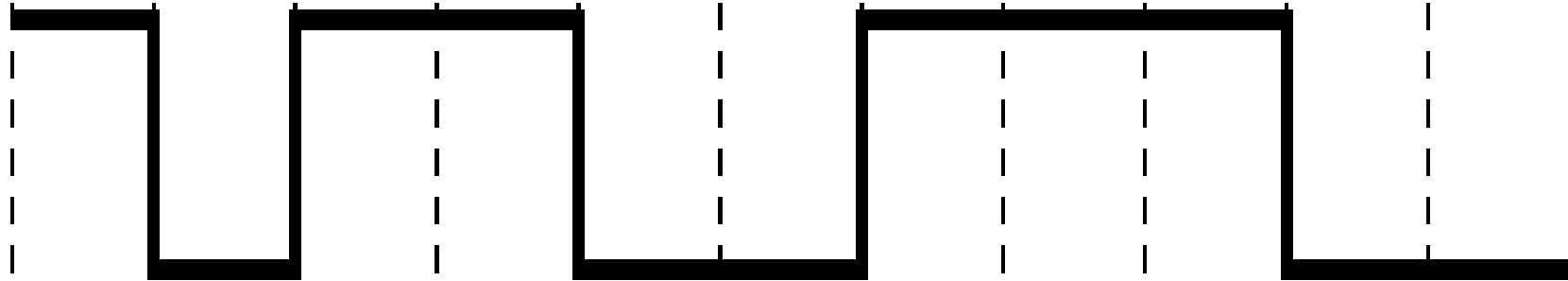
# Técnicas de señalización

- **Sin retorno a nivel cero:**
  - NRZ-L (*Nonreturn to Zero-Level*)
  - NRZI (*Nonreturn to Zero Inverted*)
- **Binario multinivel:**
  - Bipolar AMI
  - Pseudoternarios
- **Bifase:**
  - Manchester
  - Manchester diferencial
- **Aleatorización o mapeo de bits:**
  - B8ZS, HDB3, ...

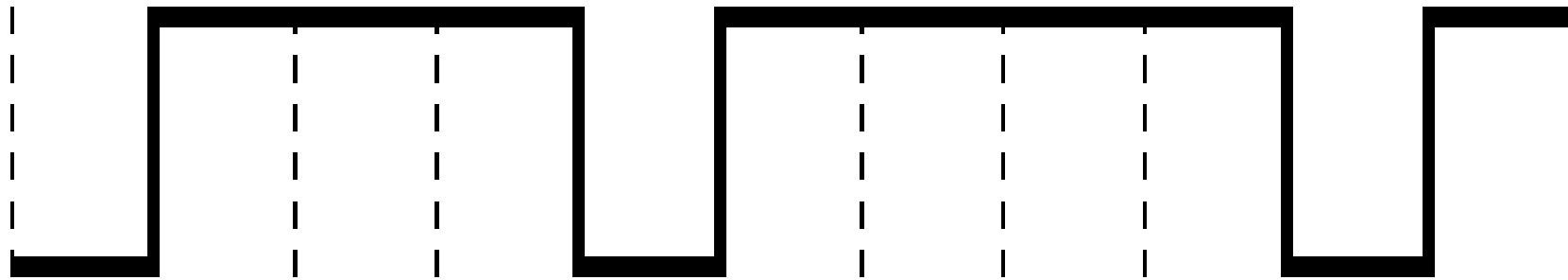
# NRZ - L/I

0 1 0 0 1 1 0 0 0 1 1

NRZ-L

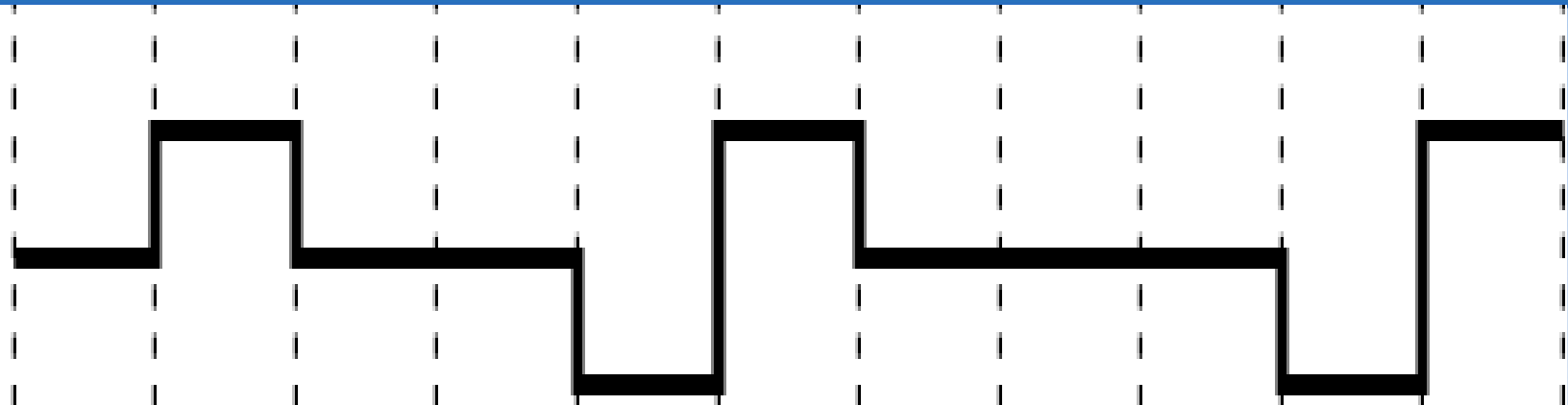


NRZI

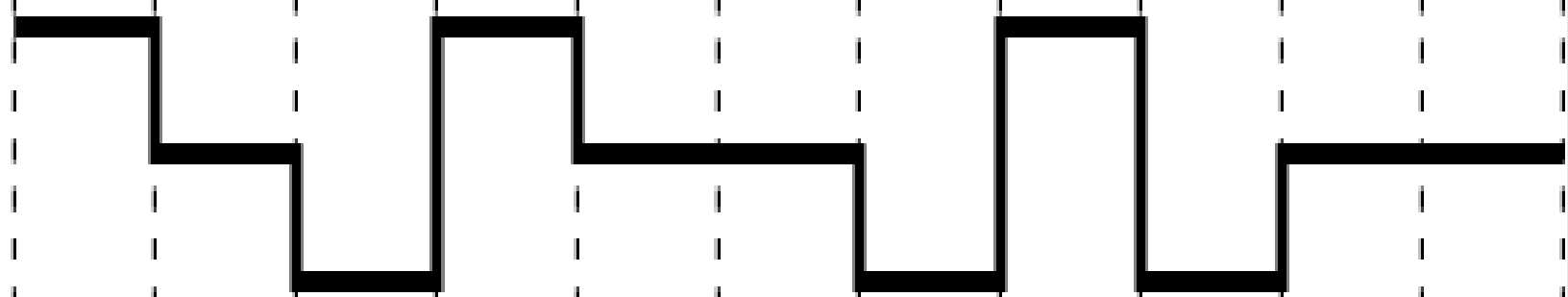


# Bipolar-AMI y Pseudoternario

**Bipolar-AMI**  
(most recent  
preceding 1 bit has  
negative voltage)

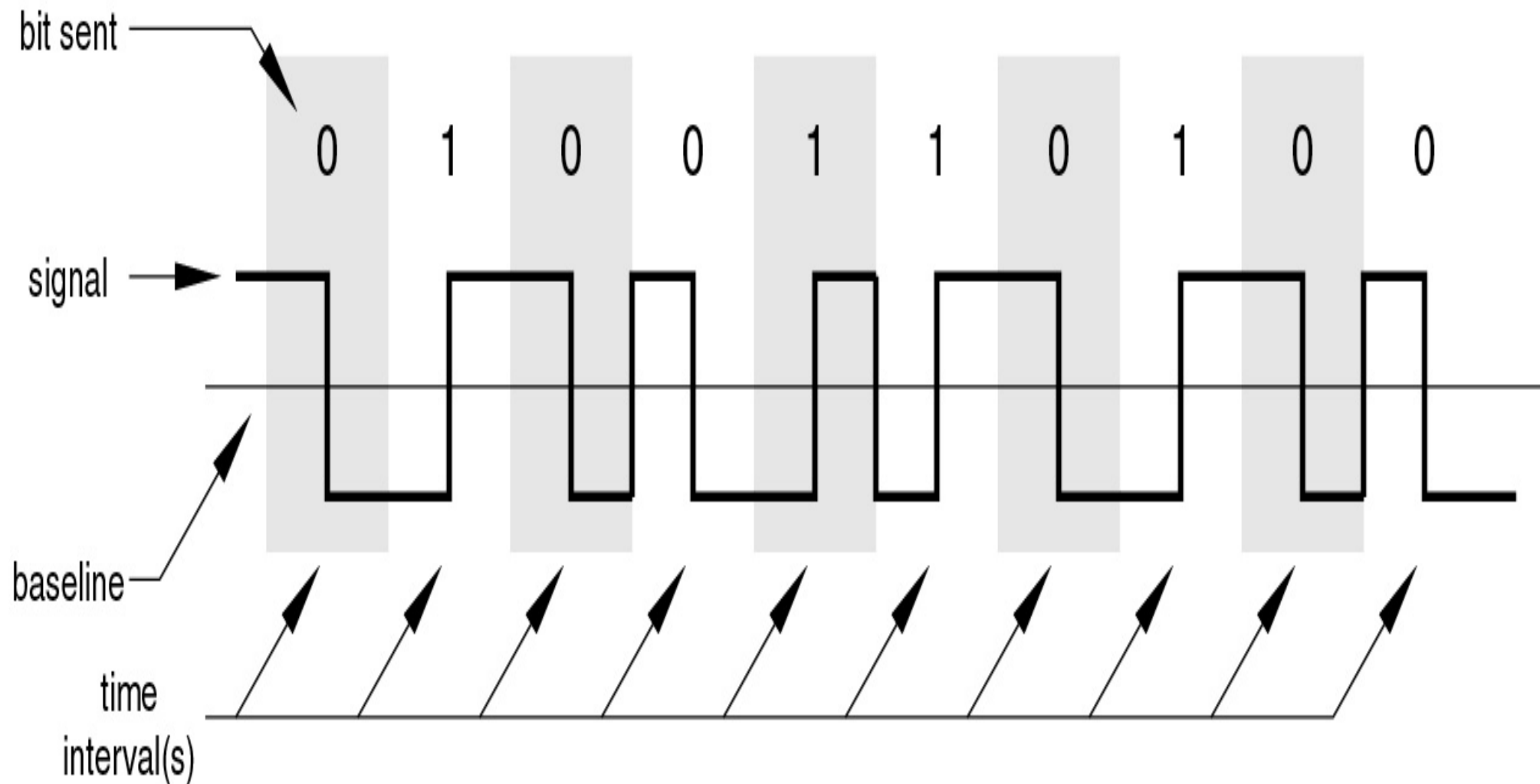


**Pseudoternary**  
(most recent  
preceding 0 bit has  
negative voltage)



# Manchester

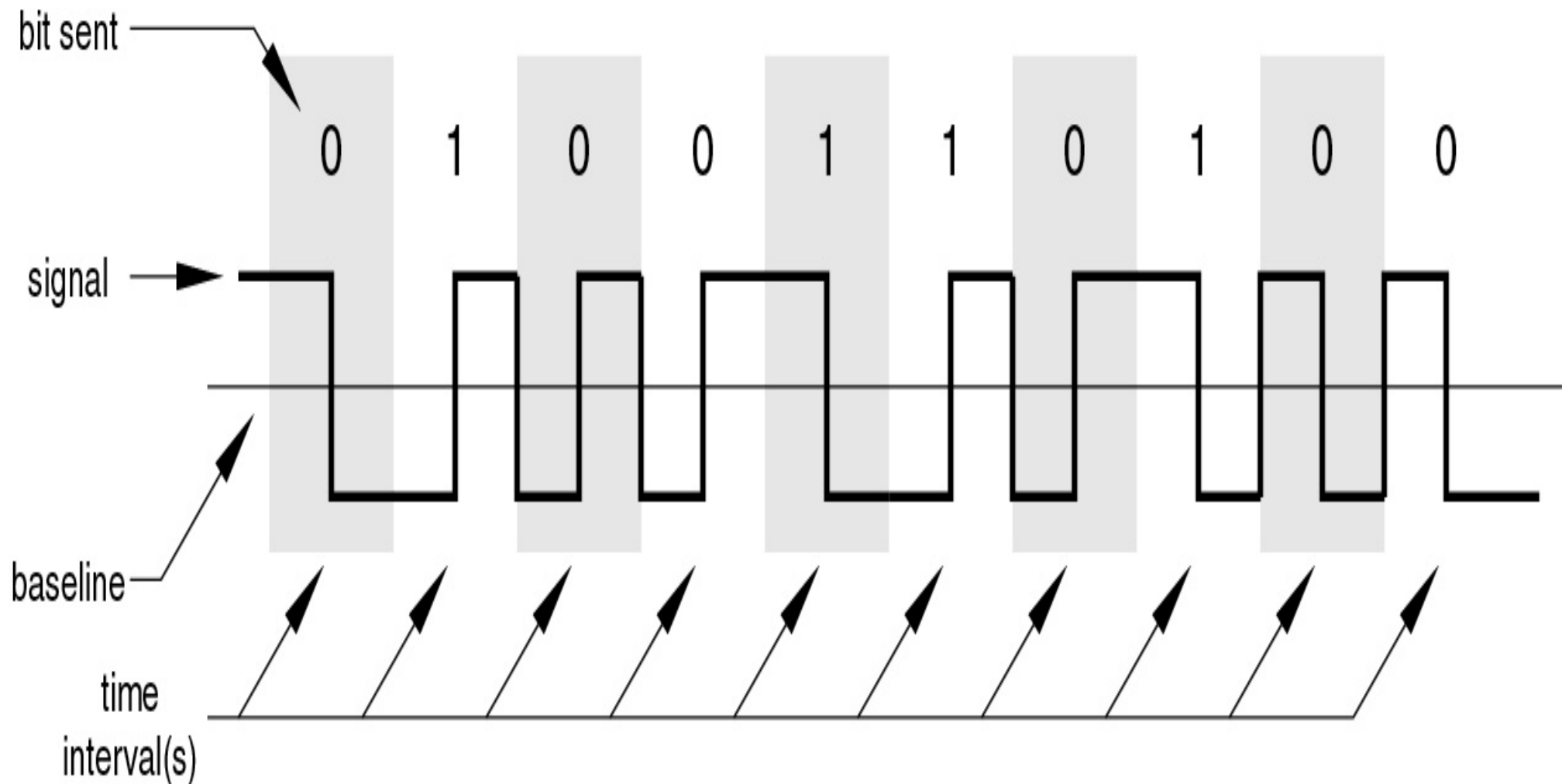
## Manchester Encoding



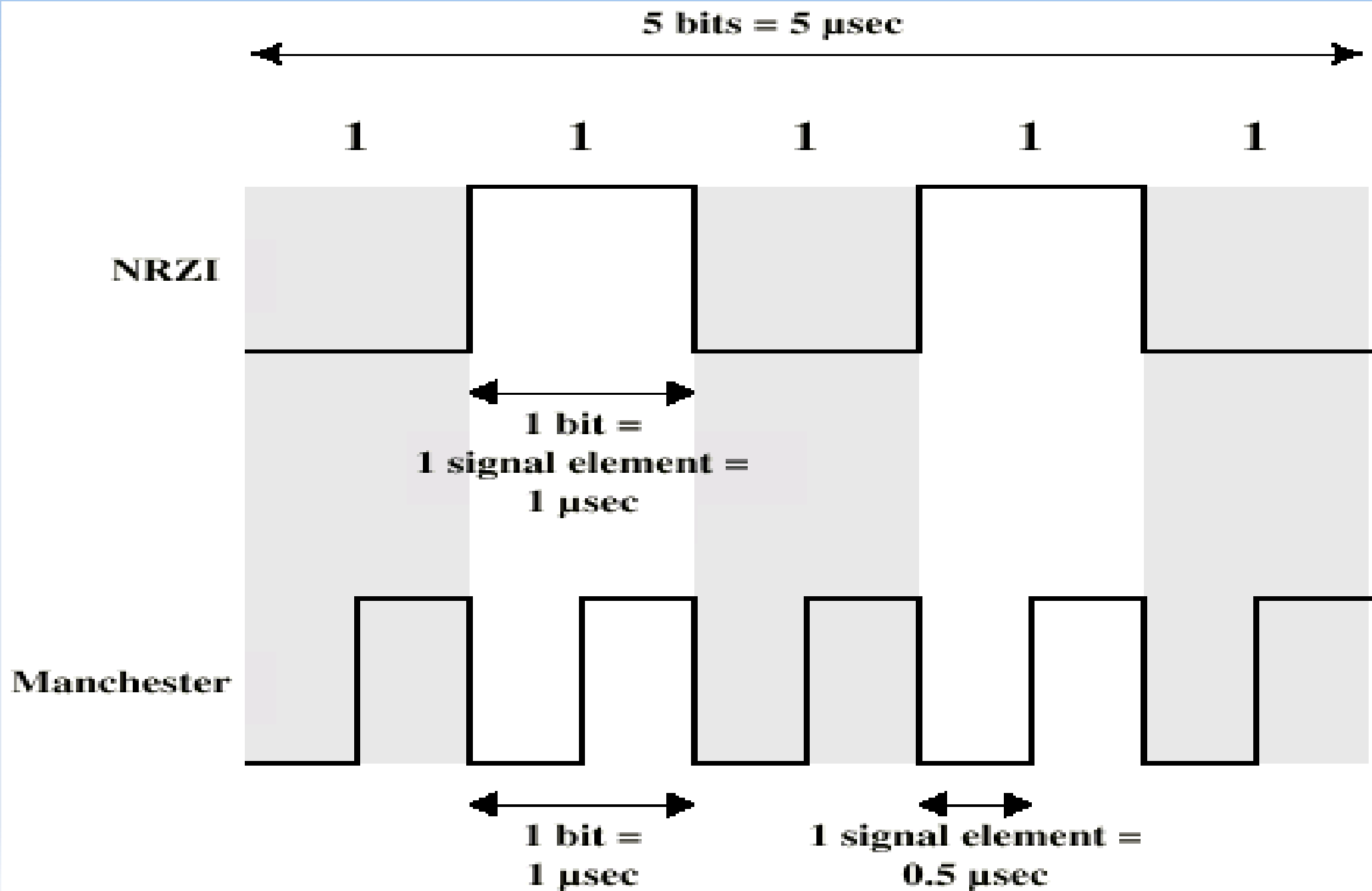


# Manchester Diferencial

## Differential Manchester Encoding



# NRZ/bifase



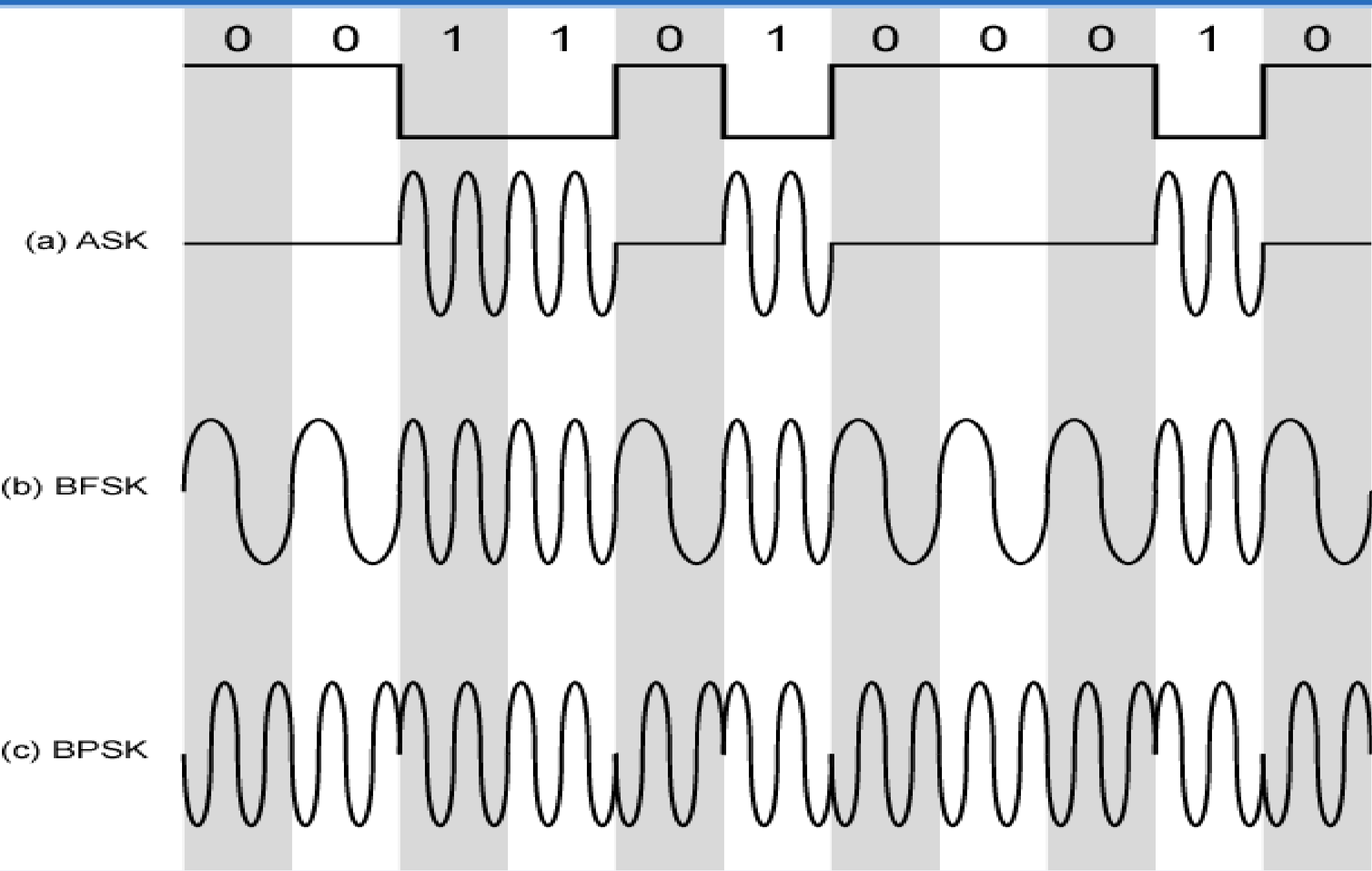
## 2.dato digital, señal analógica

- P.e., Sistema de telefonía público
  - usa un ancho de banda de 300Hz a 3400Hz, que no es apropiado para la transmisión de señales digitales
  - se soluciona usando la modulación mediante un modem (*modulator-demodulator*)
- La modulación es la modificación de uno o varios de los tres parámetros fundamentales de una señal **portadora** (amplitud, frecuencia o/y fase) según va cambiando la señal **moduladora** (y de esta manera transporta los datos que queremos transmitir)

# Técnicas de modulación

- *Amplitude shift keying* (**ASK**) o Modulación por desplazamiento de amplitud
- *Frequency shift keying* (**FSK**) o Modulación por desplazamiento de frecuencia
- *Phase shift keying* (**PSK**) o Modulación por desplazamiento de fase
- En todos los casos, la señal resultante ocupa un ancho de banda centrado en torno a la frecuencia de la portadora

# Te



# ASK

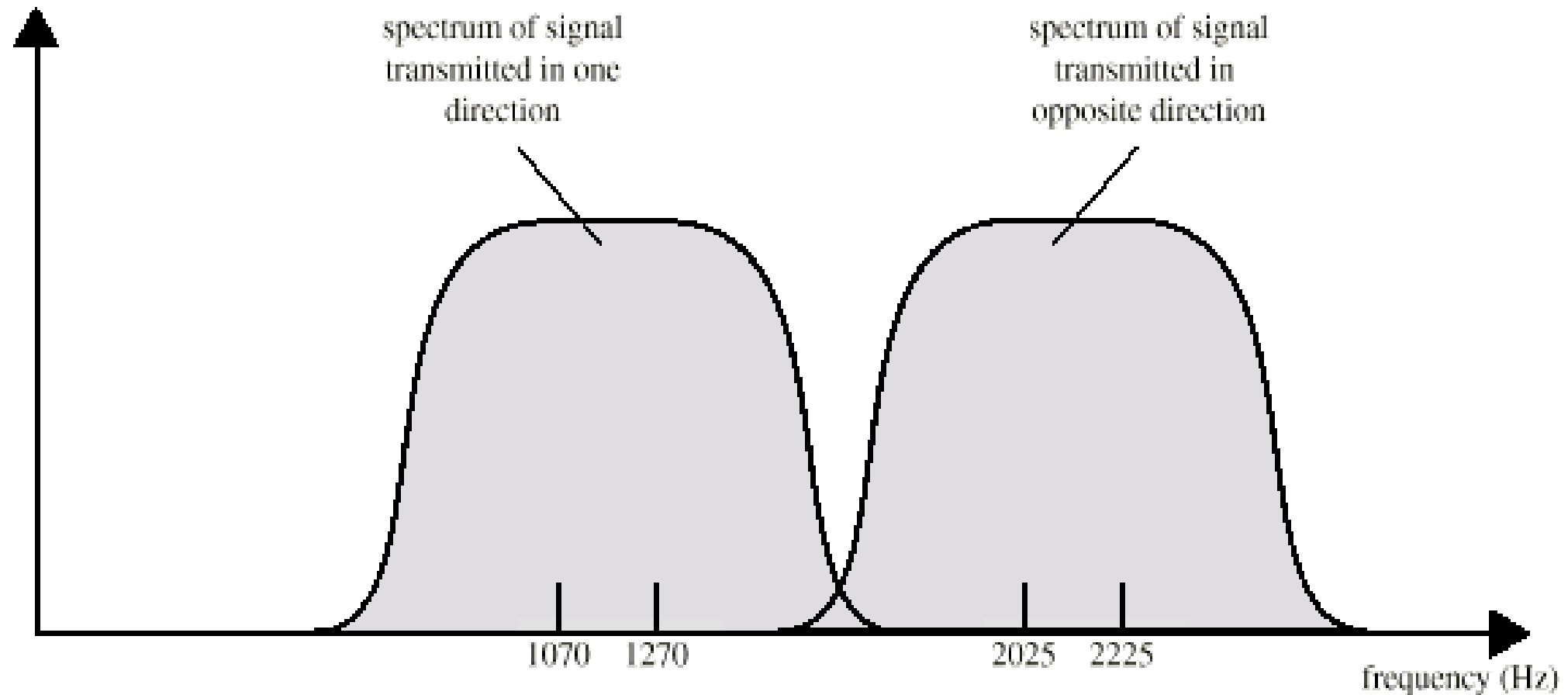
- Los valores se representan por diferentes amplitudes de la portadora
- Usualmente, se representa un bit por la presencia o ausencia de portadora
- Susceptible a cambios repentinos de la ganancia (es decir, al ruido o a las interferencias)
- Ineficiente: hasta 1200bps en líneas de calidad telefónica
- Usado para la transmisión en fibras ópticas

# FSK

- La forma más común es FSK binario (BFSK):
  - dos valores binarios representados por dos diferentes frecuencias (próximas a la frecuencia de la portadora )
- Menos susceptible a errores que ASK
- Hasta 1200bps en líneas de calidad telefónica
- Radio de alta frecuencia (3 a 30MHz)
- También a más altas frecuencias en LANs con cable coaxial
- FSK Múltiple (MFSK): usa + frecuencias
  - cada elemento de señal representa más de un bit (¿cuántos?)

# FSK -modem (bell system 108)

signal strength



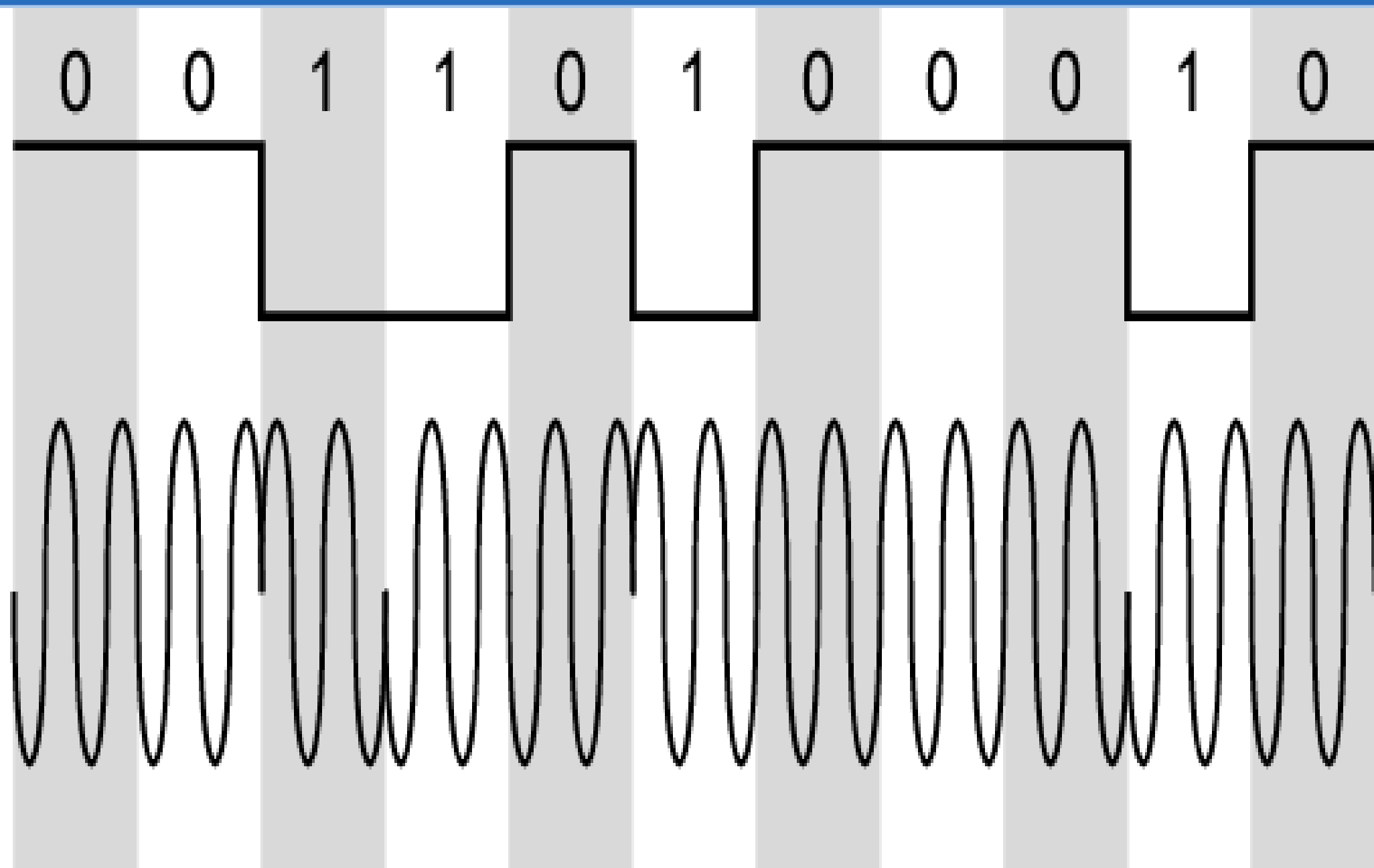
**Figure 5.8 Full-Duplex FSK Transmission on a Voice-Grade Line**



# PSK

- La fase de la señal portadora se desplaza para representar datos
- PSK Binario (BPSK)
  - dos fases ( $0^\circ$  y  $180^\circ$ ) representando un 0 y 1 binario
  - requiere que el receptor compare la señal que le llega con una de referencia
- PSK Diferencial (DPSK)
  - la fase se desplaza en relación a la fase anterior para indicar un cambio de bit
  - no requiere la comparación con la señal de referencia

# PSK Diferencial



# PSK en cuadratura (QPSK)

- Se usan desplazamientos de  $\pi/2$  ( $90^\circ$ )
  - 4 símbolos (o elementos de señal) que representan dos bits cada uno
- La secuencia de bits de entrada se divide de forma alterna en dos, modulando con BPSK
  - una portadora en fase (**I**)
  - y otra en cuadratura (**Q**) (desfasada  $90^\circ$  con respecto a I)
  - el resultado es la suma de ambas señales
- La modulación 8-PSK (8 símbolos con desfases de  $45^\circ$ ) y superiores no suele usarse por tener menor eficacia que QAM
- Uso de PSK y sus variantes en 802.11b/g, *Bluetooth*, RFID, ...

# QAM(Quadrature Amplitude M)

- **QAM** se usa en el ADSL, Cable-modem, TDT y otros protocolos inalámbricos
- Combinación de ASK y PSK
  - se puede considerar una extensión de QPSK
- Se parte del mismo punto que en QPSK
  - se usa 2 portadoras de la misma frecuencia, una desplazada  $90^\circ$  respecto de la otra (**I** y **Q**)
  - cada portadora se modula usando **ASK**
  - se suman las 2 señales resultantes y se envía a través del medio
- Ejemplo de **QAM de datos analógicos**

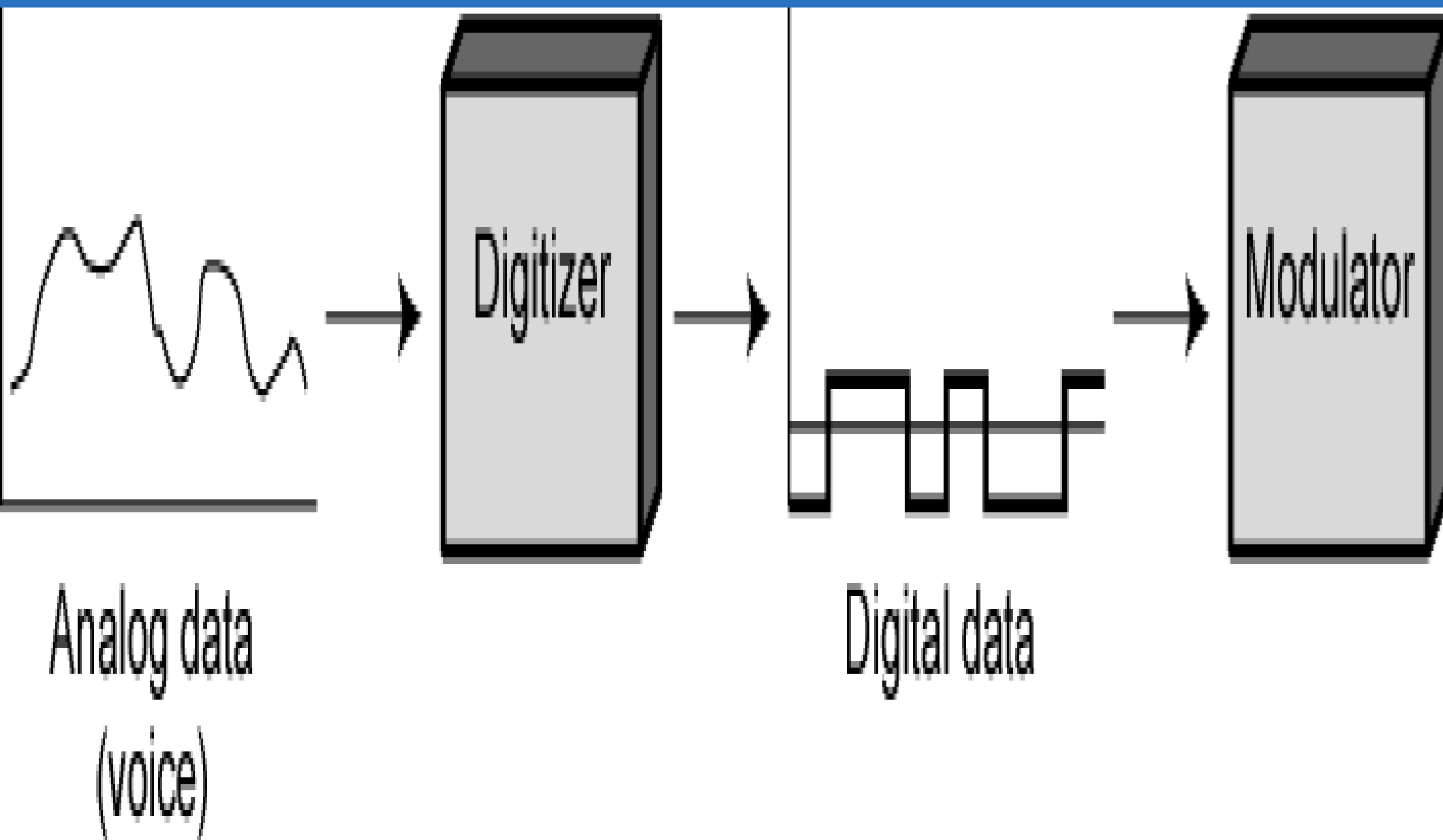
# QAM - Niveles

- Si se usa ASK de 2 niveles:
  - cada una de las 2 portadoras puede tomar una de 2 amplitudes: **QAM-4**, equivale a **QPSK**
- Si se usa ASK de 4 niveles:
  - cada una de las 2 portadoras puede tomar una de 4 amplitudes: **QAM-16**
  - la secuencia combinada de ambas portadoras toma 1 de 16 estados (o símbolos)
  - ver **simulación** de los errores que se producen en la transmisión **QAM-16** en función del ruido
- Se usan sistemas de 64, 128, 256 , ... niveles
- Se mejora la tasa de datos para un ancho de banda dado, pero aumenta la tasa de error potencial

# 3.dato analógico, dato digital

- **Conversión Analógica-Digital** o digitalización
- Para facilitar su procesamiento (compresión, encriptación, ...) y transmisión como señal digital
- Pero también los datos digitales resultantes pueden ser transmitidos como señal analógica, mediante modulación
- La conversión analógica a digital se hace usando un **codec**:
  - PAM (*Pulse Amplitude Modulation*)
    - modulación por amplitud de impulsos
  - PCM (*Pulse code modulation*)
    - modulación por impulsos codificados
  - DM (*Delta modulation*)

# Analógicos



# PAM y PCM

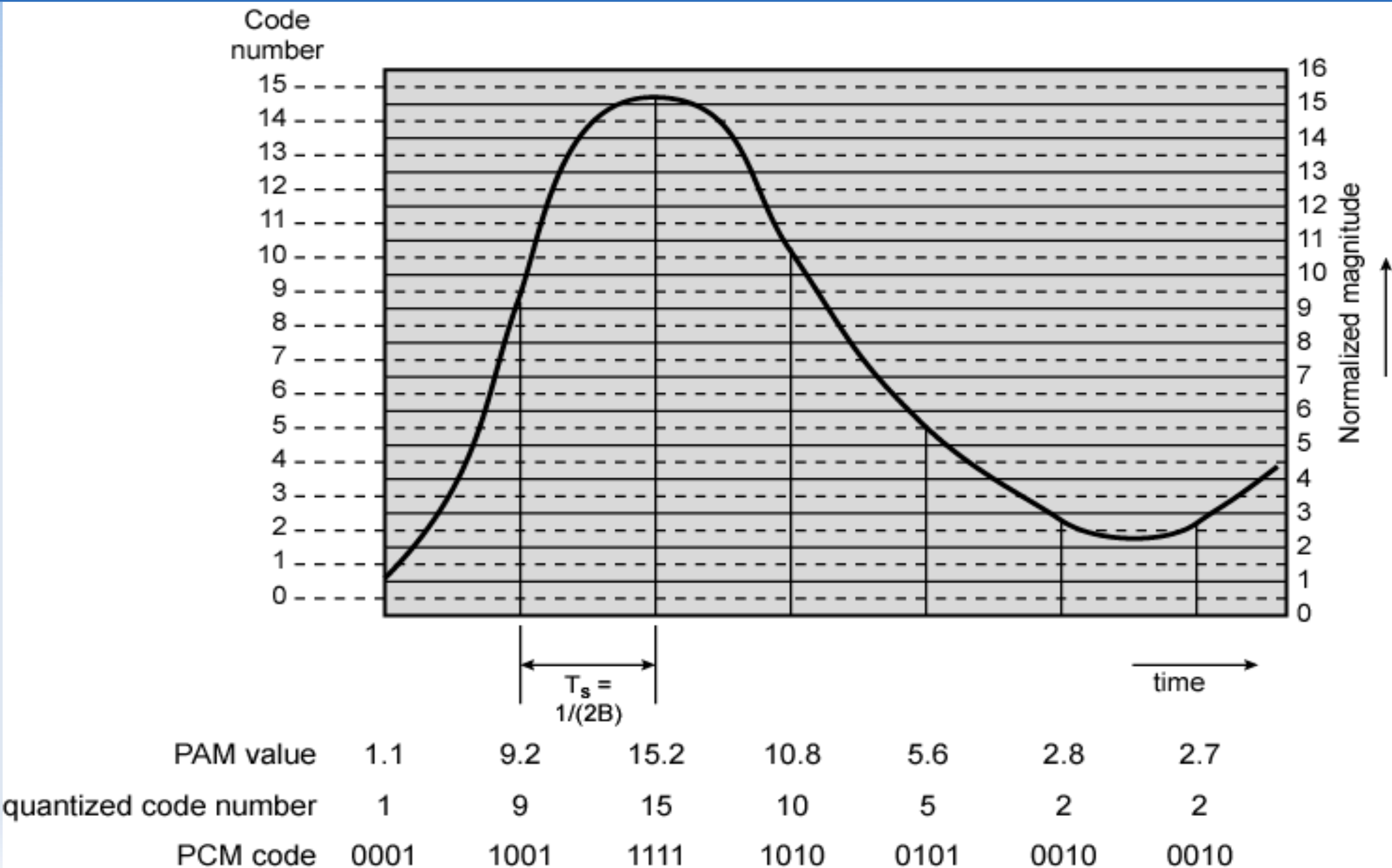
- **Teorema de muestreo de Nyquist:** si una señal con un espectro limitado se muestrea a intervalos regulares a una tasa doble de la frecuencia más alta de la señal, los muestreos exactos (ideales) contienen toda la información de la señal original, o sea, no se pierde nada al reconstruirla
  - no hay señales de espectro limitado ni muestreos exactos => mayor frec. de muestreo (*antialiasing*)
  - el CD-Audio registra frecuencias de 20KHz y se muestrea 44100 veces por seg. => 10% de margen
- Si las muestras se codifican en pulsos de amplitud proporcional (aproximada) a la de la señal analógica, tenemos **PAM**
- Si a cada muestra se le asigna un valor digital o código de n bits (cuantificación), tenemos **PCM**



# PCM

- P.e., un sistema de muestras de 4 bits da 16 niveles, de 8 bits da 256 niveles
- P.e., 8000 muestras por segundo de 8 bits cada una da 64kbps
- La cuantificación, al ser siempre aproximada, hará que la señal no se pueda recuperar con exactitud. Esto es el error o **ruido de cuantificación**:
  - $SQNR_{db} \sim 6 * N + 1,76 \text{ dB}$  ( $N = n^{\circ}$  de bits/muestra)
  - es decir, cada bit adicional aumenta SQNR en 6dB (x4)
- Calidad comparable a la analógica
- Se suele **comprimir**, como en el **caso del mp3**
- **Código** para aplicar la **FFT** a un archivo wav

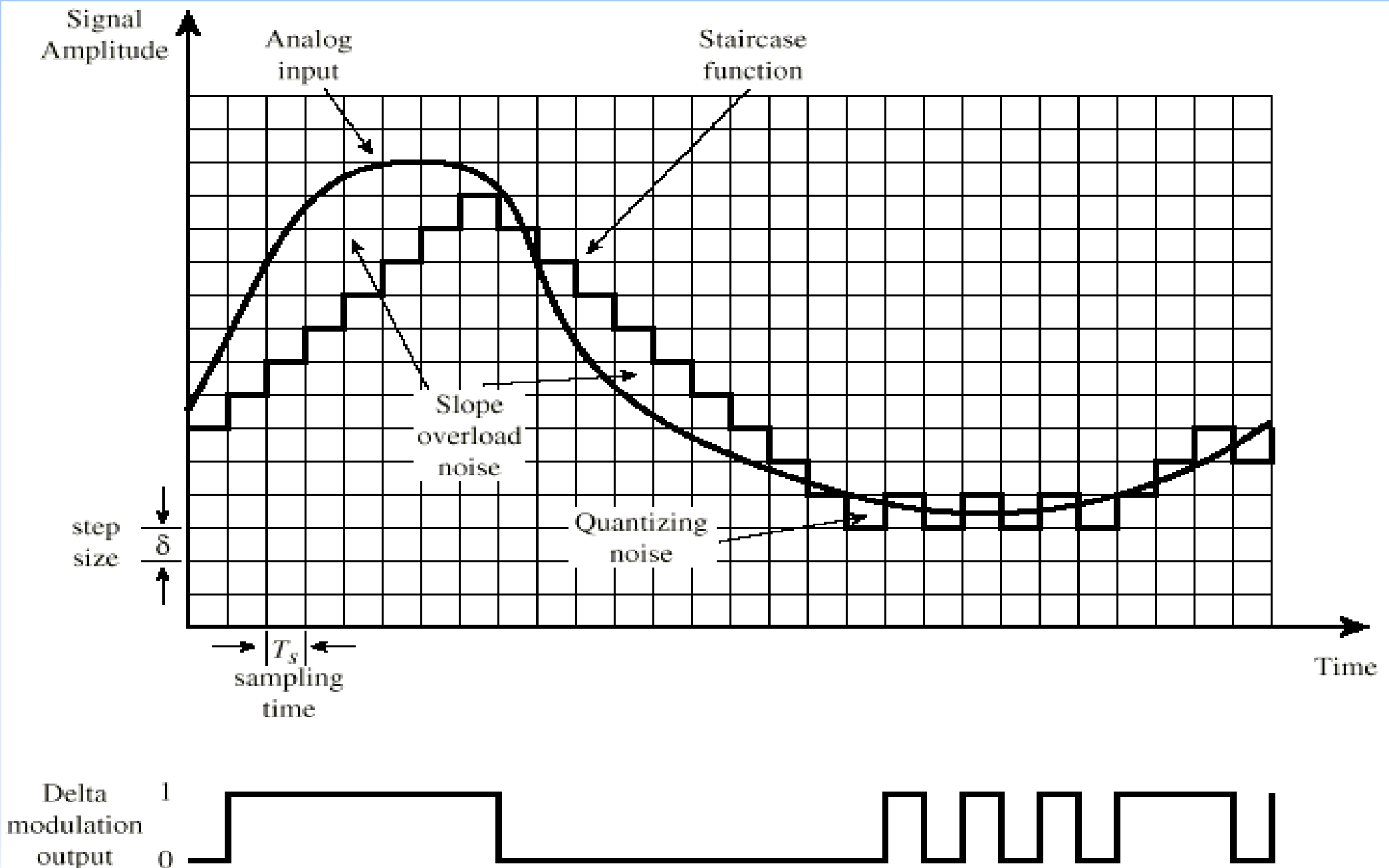
# PCM - Ejemplo



# Modulación Delta

- La entrada analógica es aproximada por una función en escalera:
  - sube o baja un nivel o escalón ( $\delta$ ) en cada intervalo de muestreo: comportamiento binario
  - especialmente útil para señales que no requieren mucha calidad, como en el caso de la voz
  - puede implementarse usando componentes de bajo coste
- Se utilizan variaciones de esta técnica junto con el *oversampling* (o *sobremuestreo*, por encima del límite de Nyquist) para evitar el *aliasing* (altas frecuencias no deseadas)

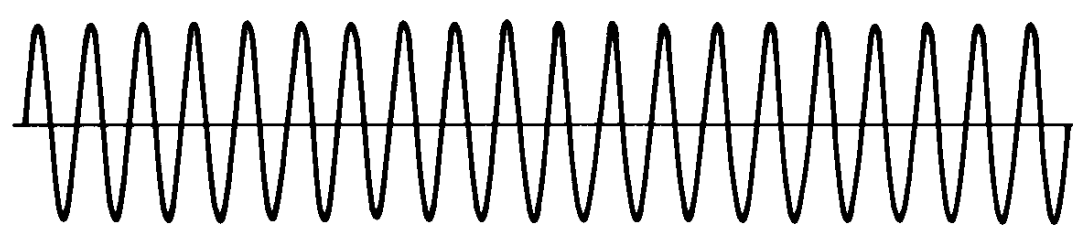
# Modulación Delta - ejemplo



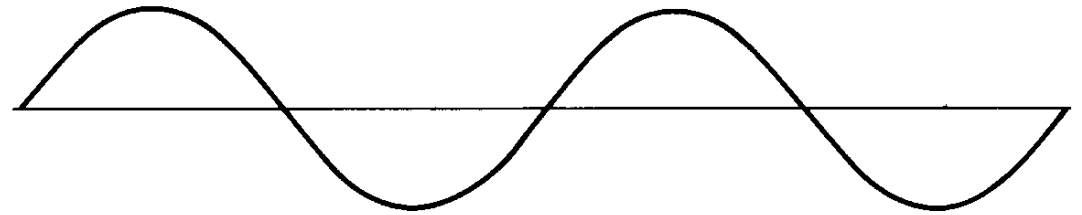
# analógica

- ¿Por qué modular las señales analógicas?
  - con frecuencia más altas se puede conseguir transmisiones más eficientes
  - permite multiplexión por división de frecuencia
- Tipos de modulación
  - amplitud
  - frecuencia
  - fase

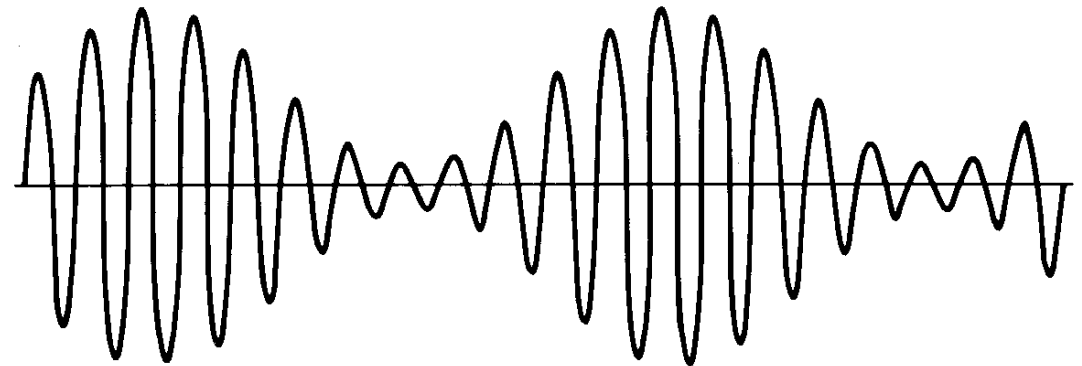
# Modulación Analógica



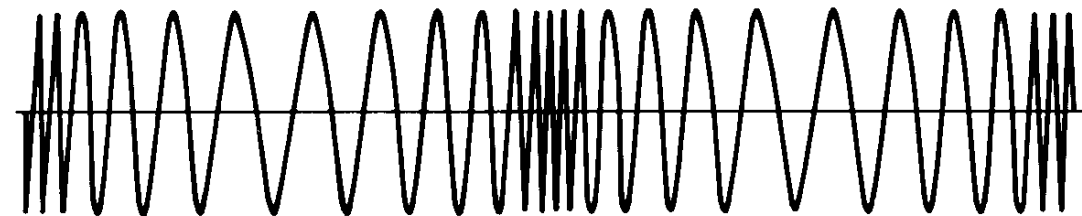
Carrier



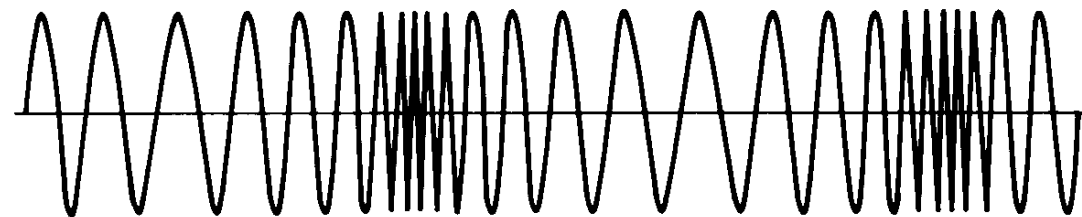
Modulating sine-wave signal



Amplitude-modulated (DSBTC) wave



Phase-modulated wave



Frequency-modulated wave