



TEMA 5 Codificación de datos

I.T. de Telecomunicación

vallejo@uniovi.es



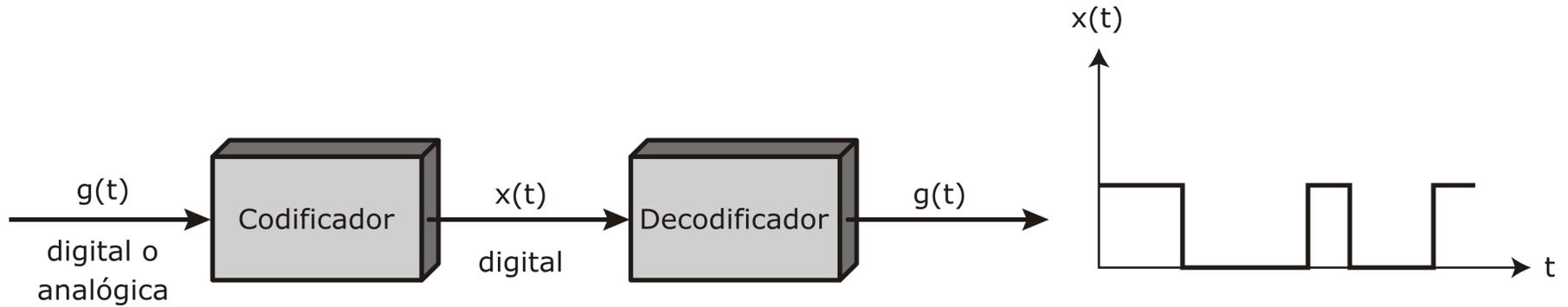
Índice



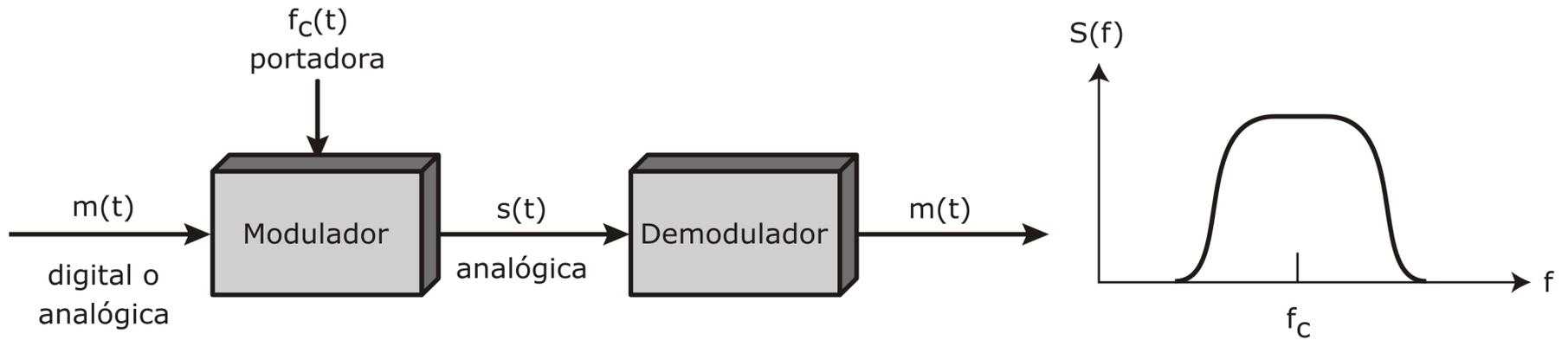
- Técnicas de codificación:
 - Datos digitales:
 - Señales digitales.
 - Señales analógicas.
 - Datos analógicos:
 - Señales digitales.
 - Señales analógicas.



Codificación y modulación



Codificación en una señal digital



Modulación en una señal analógica



Criterios para la codificación de datos



- Un **aumento** de la velocidad de transmisión de datos (DR) provoca un **aumento** de la tasa de error de bits (BER).
- Un **aumento** de la relación señal/ruido (SNR) provoca una **disminución** de la BER.
- Un **aumento** del ancho de banda (BW) permite **aumentar** la velocidad de transmisión de datos.
- El otro factor que permite aumentar el rendimiento es el **esquema de codificación**:
 - El esquema de codificación es simplemente la asignación de bits de datos a elementos de señalización.



Datos digitales, señales digitales



- **Señales digitales:**

- Secuencia de pulsos de tensión discretos y discontinuos.
- Cada pulso es un elemento de señal.
- Los datos binarios se transmiten codificando cada bit de datos en cada elemento de señal.



Terminología básica



- **Señal unipolar:**
 - Todos los elementos de señal tienen el mismo signo.
- **Señal polar:**
 - Un estado lógico se representa mediante un nivel positivo de tensión y el otro, mediante un nivel negativo.
- **Razón de datos** de una señal:
 - Velocidad de transmisión de datos, expresada en bits por segundo.
- **Duración** o **longitud** de un bit:
 - Tiempo empleado en el transmisor para emitir un bit.



Terminología básica



- **Velocidad de modulación:**
 - Velocidad a la que cambia el nivel de la señal.
 - Se expresa en **baudios** = un elemento de señal por segundo.
- **Marca y espacio:**
 - Dígitos binarios 1 y 0, respectivamente.



Interpretación de las señales



- El receptor debe conocer:
 - La duración de cada bit: cuándo comienza y acaba cada uno.
 - El nivel para cada bit.
- Factores que determinan el éxito o el fracaso del receptor al interpretar la señal de entrada:
 - La relación señal/ruido.
 - La velocidad de transmisión de datos.
 - El ancho de banda.



Esquemas de codificación



- No retorno a cero-nivel (NRZ-L).
- No retorno a cero invertido (NRZI).
- Bipolar-AMI.
- Pseudoternario.
- Manchester.
- Manchester diferencial.
- B8ZS.
- HDB3.



Comparación de las técnicas de codificación



- **Espectro de la señal:**
 - La ausencia de componentes a altas frecuencias reduce el ancho de banda requerido.
 - La ausencia de componente en continua (DC) permite su transmisión mediante transformadores acoplados, proporcionando aislamiento eléctrico.
 - Concentración de la potencia transmitida en la parte central del ancho de banda.
- **Sincronización:**
 - Sincronizar el receptor con el transmisor.
 - Señal de reloj por separado.
 - Sincronización mediante la propia señal transmitida.



Comparación de las técnicas de codificación



- **Detección de errores:**
 - Se puede incorporar en el esquema de codificación.
- **Inmunidad al ruido e interferencias:**
 - Algunos códigos exhiben un comportamiento superior a otros en presencia de ruido.
- **Coste y complejidad:**
 - Cuanto mayor es la velocidad de elementos de señal para una velocidad de transmisión dada, mayor es el coste.
 - Algunos códigos implican mayor velocidad de elementos de señalización que de transmisión de datos.



No retorno a cero (NRZ-L)



- Dos niveles diferentes de tensión para cada uno de los dígitos binarios 0 y 1.
- El nivel de tensión se mantiene constante durante la duración del bit:
 - No hay transiciones, es decir, no hay retorno al nivel cero de tensión.
- Ejemplo: ausencia de tensión para 0, nivel constante y positivo de tensión para 1.
- Es más habitual usar un nivel negativo para un valor binario y una tensión positiva para el siguiente.
- Este último código se denomina NRZ-L.



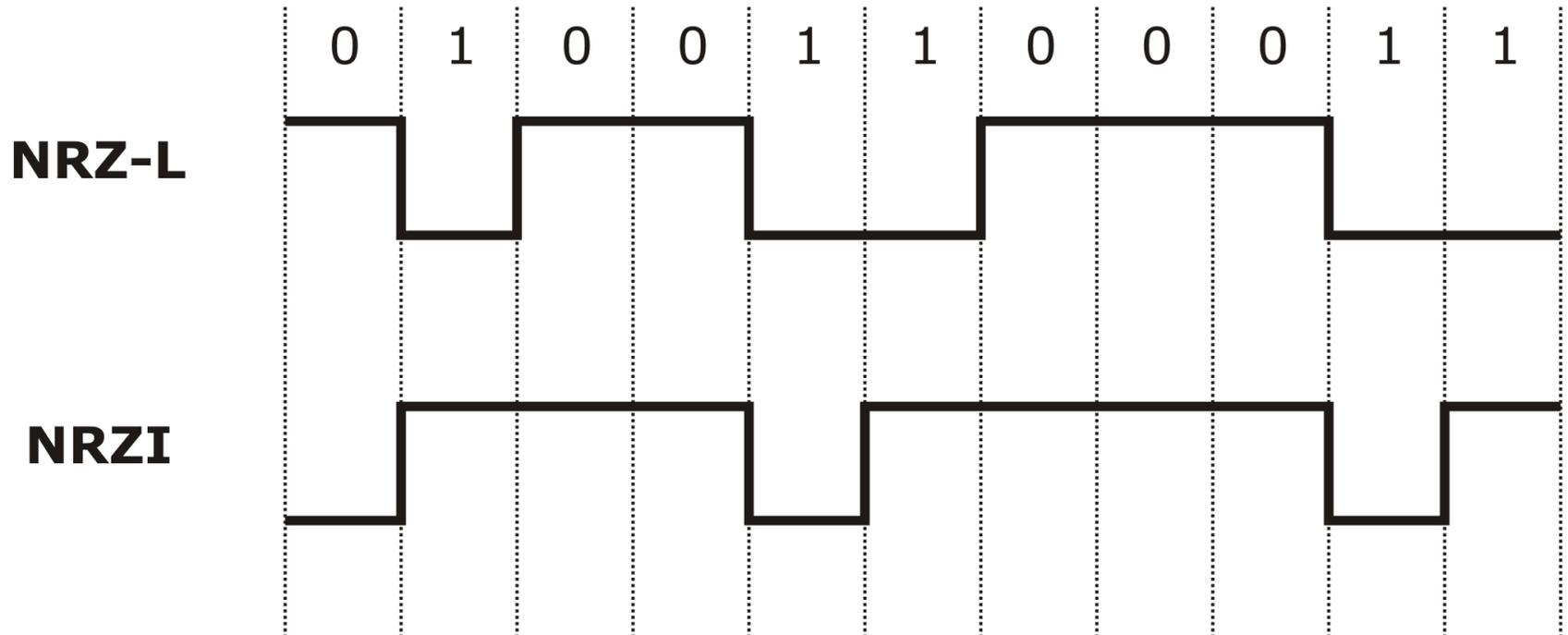
No retorno a cero invertido



- NRZI (Nonreturn to Zero, invert on ones).
- Mantiene constante el nivel de tensión durante la duración de un bit.
- Los datos se codifican mediante la presencia o ausencia de una transición de la señal al principio del intervalo de duración del bit.
- La transición (bajo a alto o alto a bajo) codifica un 1.
- Un cero se representa por la ausencia de transición.
- Ejemplo de codificación diferencial.



NRZ





Codificación diferencial



- Los datos se representan por los cambios que se producen, no por los niveles que se establecen.
- Más seguro en la detección de transición que en la detección de nivel.
- En un sistema complicado de transmisión, no es difícil perder la polaridad de la señal.



Ventajas e inconvenientes de las señales NRZ



- Ventajas:
 - Fáciles de implementar.
 - Utilización eficaz del ancho de banda.
- Inconvenientes:
 - Presencia de una componente en continua.
 - Ausencia de capacidad de sincronización.
- Se usan con frecuencia en las grabaciones magnéticas.
- No se suelen utilizar en la transmisión de señales.



Binario multinivel



- Usan más de dos niveles de señal.
- Bipolar-AMI:
 - Un 0 binario se representa por ausencia de señal.
 - El 1 binario se representa como un pulso positivo o negativo.
 - Los pulsos correspondientes a los 1 deben tener una polaridad alternante.
 - No habrá problemas de sincronización en el caso de que haya una cadena larga de 1. Una cadena larga de ceros, sigue siendo un problema.
 - No hay componente en continua.
 - El ancho de banda resultante es menor.
 - Forma sencilla de detectar errores.



Pseudoternarios



- El bit 1 se representa por la ausencia de señal.
- El 0 se representa mediante pulsos de polaridad alternante.
- No hay ninguna ventaja particular de esta codificación respecto de la anterior.



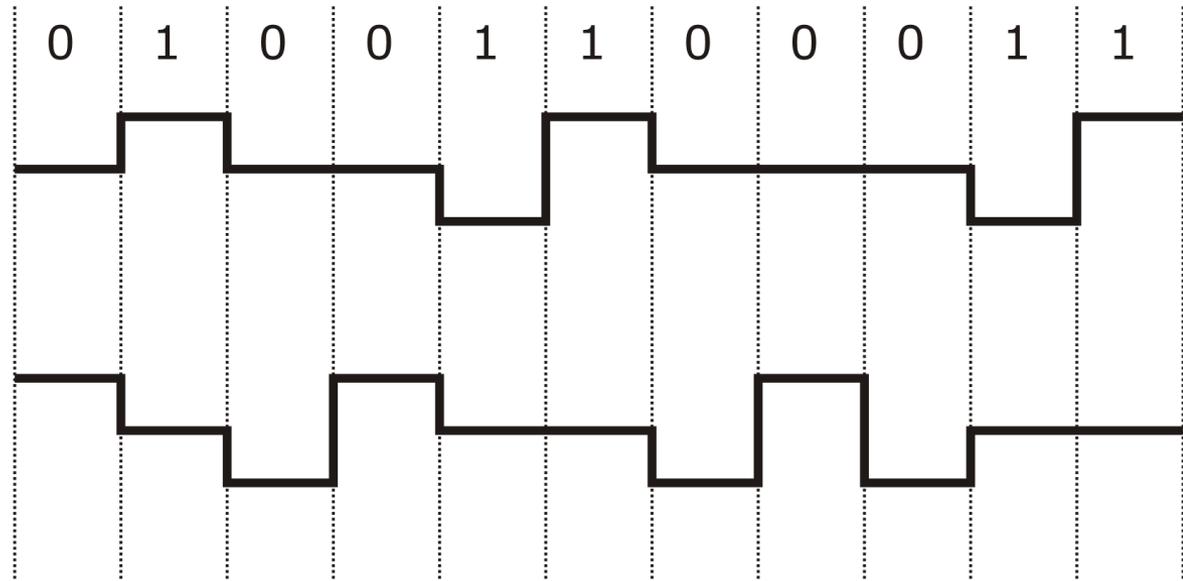
Bipolar-AMI y pseudoternarios



Área de
Ingeniería Telemática

Bipolar-AMI

(el último bit 1 anterior tiene voltaje negativo)



Pseudoternario

(el último bit 0 anterior tiene voltaje negativo)



Compromisos del binario multinivel



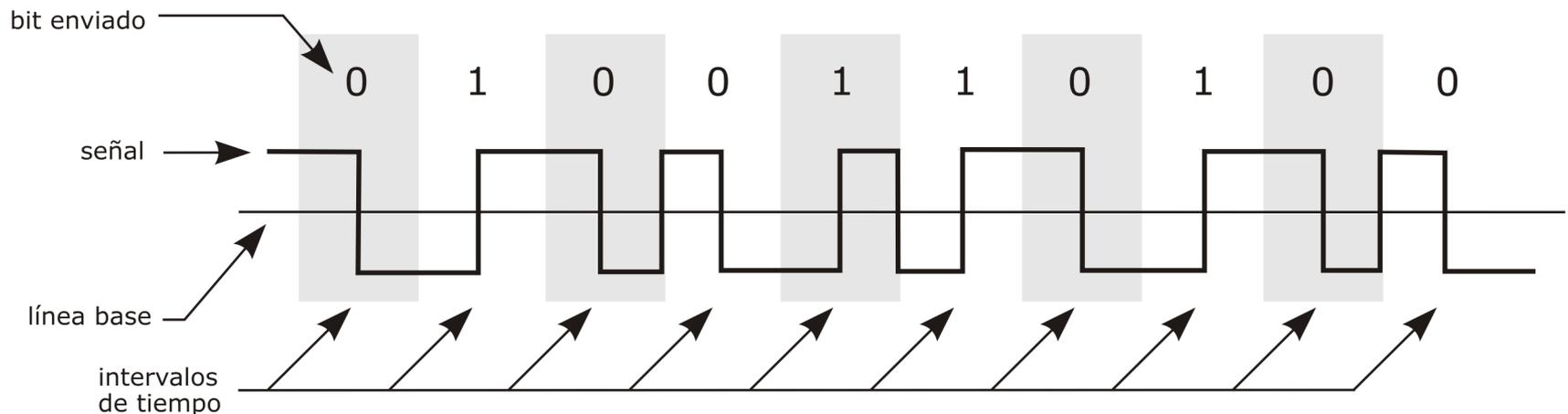
- No es tan eficaz como los códigos NRZ:
 - Cada elemento de señal sólo representa un bit.
 - La señal puede tomar tres posibles valores en cada elemento de señal, lo que representaría $\log_2 3 = 1,58$ bits de información.
 - El receptor de señales se ve obligado a distinguir entre tres niveles (+A, -A, 0).
 - Necesita aproximadamente 3 dB más de potencia que las señales bivaluadas para la misma probabilidad de error de bit.



Bifase

- **Manchester:**

- Transición en mitad del intervalo de duración del bit.
- La transición sirve como procedimiento de sincronización y de transmisión de datos.
- Una transición de bajo a alto representa un 1.
- Una transición de alto a bajo representa un 0.
- Utilizado por IEEE 802.3.

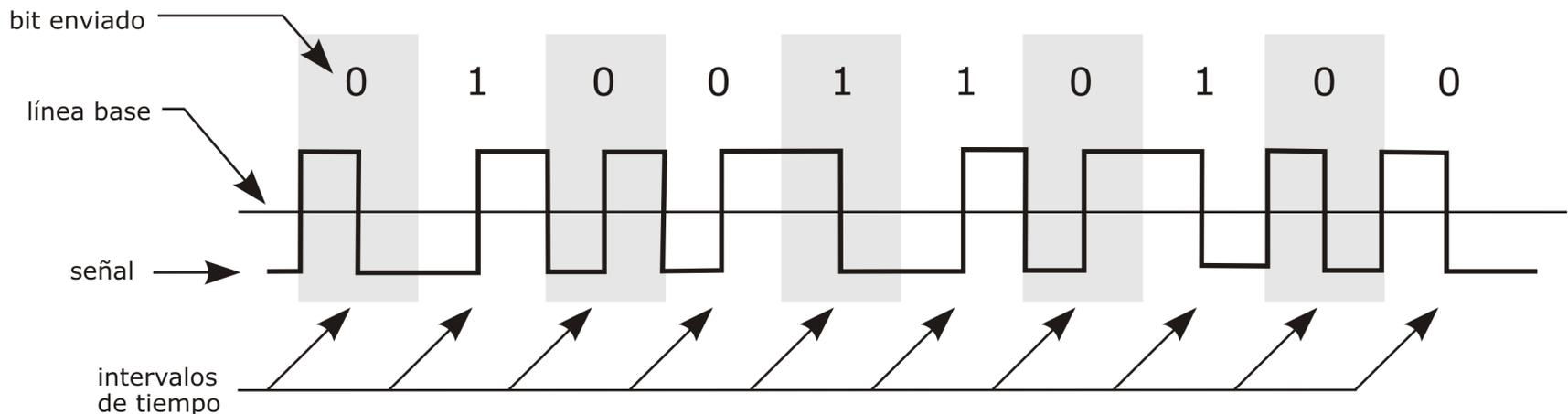




Bifase

- **Manchester diferencial:**

- La transmisión a mitad del intervalo se utiliza tan sólo para proporcionar sincronización.
- La transición al principio del intervalo del bit representa 0.
- La ausencia de transición al principio representa 1.
- Nota: es un esquema de codificación diferencial.
- Utilizado por IEEE 802.5.





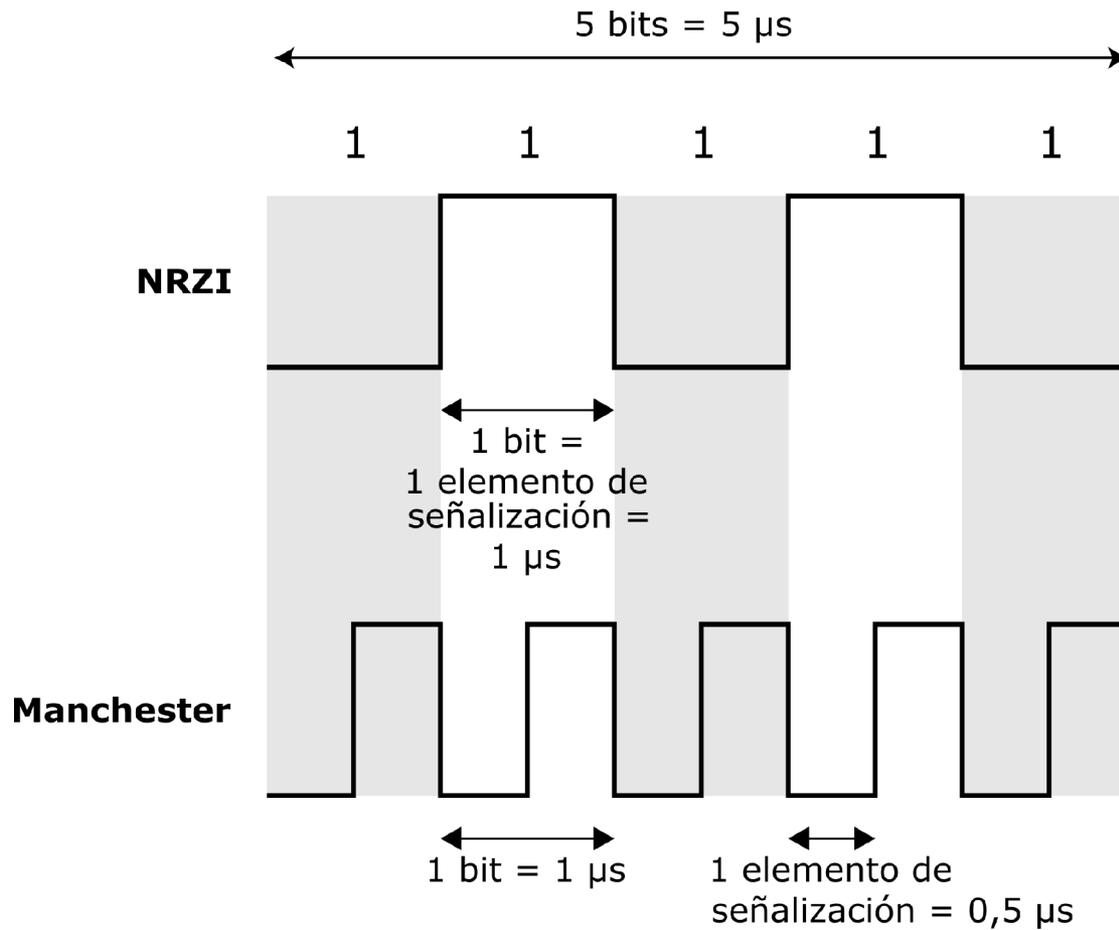
Ventajas e inconvenientes de la codificación bifase



- Ventajas:
 - Sincronización, debido a que la transición ocurre durante el intervalo de duración de un bit (códigos auto-sincronizados).
 - No tienen componente en continua.
 - Detección de errores:
 - Ausencia de la transición esperada.
- Inconvenientes:
 - Al menos una transición por cada bit, pudiendo tener hasta dos en ese mismo periodo.
 - La velocidad de modulación máxima es el doble que en los NRZ.
 - El ancho de banda necesario es, por tanto, mayor.



Velocidad de modulación



Una cadena de unos a 1 Mbps



Técnicas de "scrambling"



- Utilizar algún procedimiento o técnica de "scrambling" para reemplazar las secuencias de bits que den lugar a niveles de tensión constante.
- La secuencia reemplazada:
 - Debe proporcionar suficiente número de transiciones para que el reloj se mantenga sincronizado.
 - Debe ser reconocida por el receptor y sustituida por la secuencia original.
 - Debe tener la misma longitud que la original.
- Evitar la componente en continua.
- Evitar las secuencias largas que correspondan a señales de tensión nula.
- No reducir la velocidad de transmisión de los datos.
- Tener cierta capacidad para detectar errores.



B8ZS



- Bipolar con sustitución de 8 ceros (Bipolar With 8-Zeros Substitution).
- Se basa en un AMI bipolar:
 - Si aparece un octeto con todo ceros y el último valor de tensión anterior a dicho octeto fue positivo, codificar dicho octeto como 000+-0-+.
 - Si aparece un octeto con todo ceros y el último valor de tensión anterior a dicho octeto fue negativo, codificar dicho octeto como 000-+0+-.
- Se fuerzan dos violaciones del código AMI:
 - Probabilidad muy baja de haber sido causada por el ruido u otros defectos en la transmisión.
- El receptor identificará ese patrón y lo interpretará convenientemente como un octeto todo ceros.



HDB3



- High Density Bipolar-3 Zeros.
- Se basa en la codificación AMI.
- Se reemplazan las cadenas de cuatro ceros por cadenas que contienen uno o dos pulsos:
 - Se inserta un pulso V (pulso de violación) en la cuarta posición, manteniendo la alternancia de polaridad entre pulsos V consecutivos.
 - Si el pulso (V o B) que precede a la secuencia de ceros tiene polaridad inversa con respecto al nuevo pulso V, se inserta un pulso B en la primera posición de la secuencia (de los cuatro ceros), con polaridad igual a la del pulso de violación V a insertar.

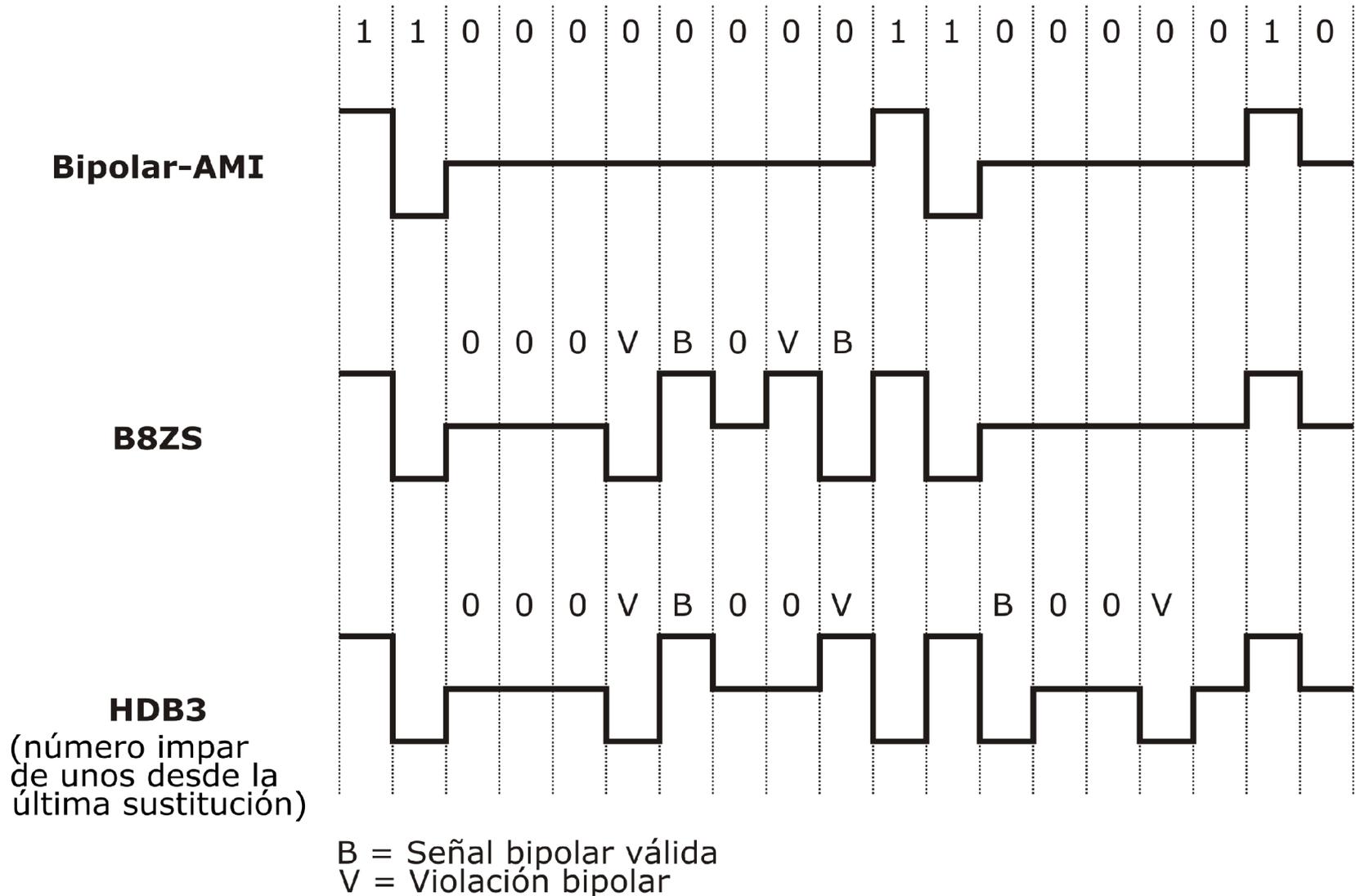
	Número de pulsos bipolares (unos) desde la última sustitución	
Polaridad del pulso anterior	Impar	Par
-	000-	+00+
+	000+	-00-



B8ZS y HDB3



Área de
Ingeniería Telemática





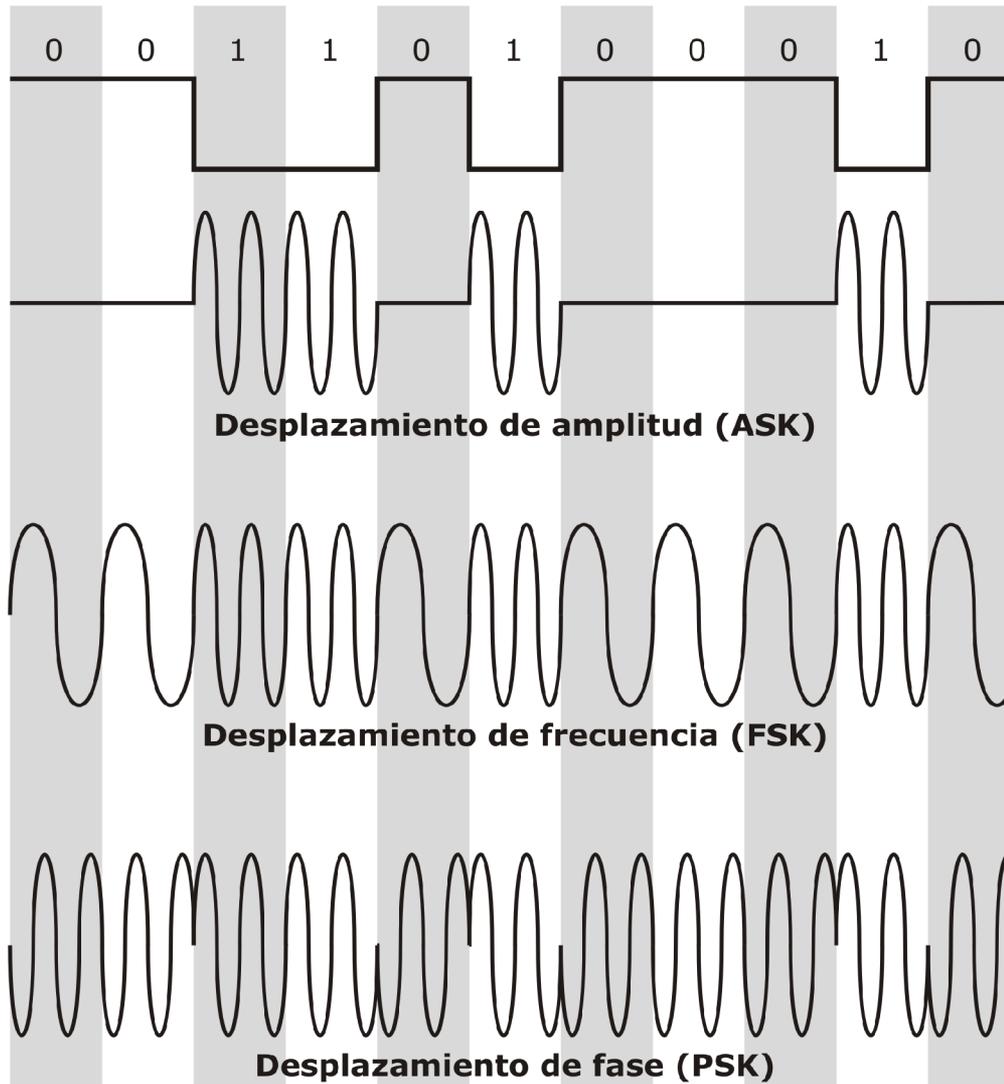
Datos digitales, señales analógicas



- Sistema de red telefónica:
 - El rango de frecuencias de la voz se encuentra entre 300 Hz y 3.400 Hz.
 - Se emplean dispositivos módem (modulador-demodulador).
- Técnicas de codificación básicas:
 - Desplazamiento de amplitud (ASK).
 - Modificación de la amplitud de la señal portadora.
 - Desplazamiento de frecuencia (FSK).
 - Modificación de la frecuencia de la señal portadora.
 - Desplazamiento de fase (PSK).
 - Modificación de la fase de la señal portadora.



Modulación de datos digitales





Desplazamiento de amplitud (ASK)



- Los valores binarios se representan mediante dos amplitudes diferentes de la portadora.
- Es normal que una de las amplitudes sea cero:
 - Es decir, se utiliza la presencia o ausencia de la portadora.
- Sensible a cambios repentinos de la ganancia.
- Ineficaz.
- Se usa típicamente hasta 1.200 bps, en líneas de calidad telefónica.
- Se usa en fibras ópticas.



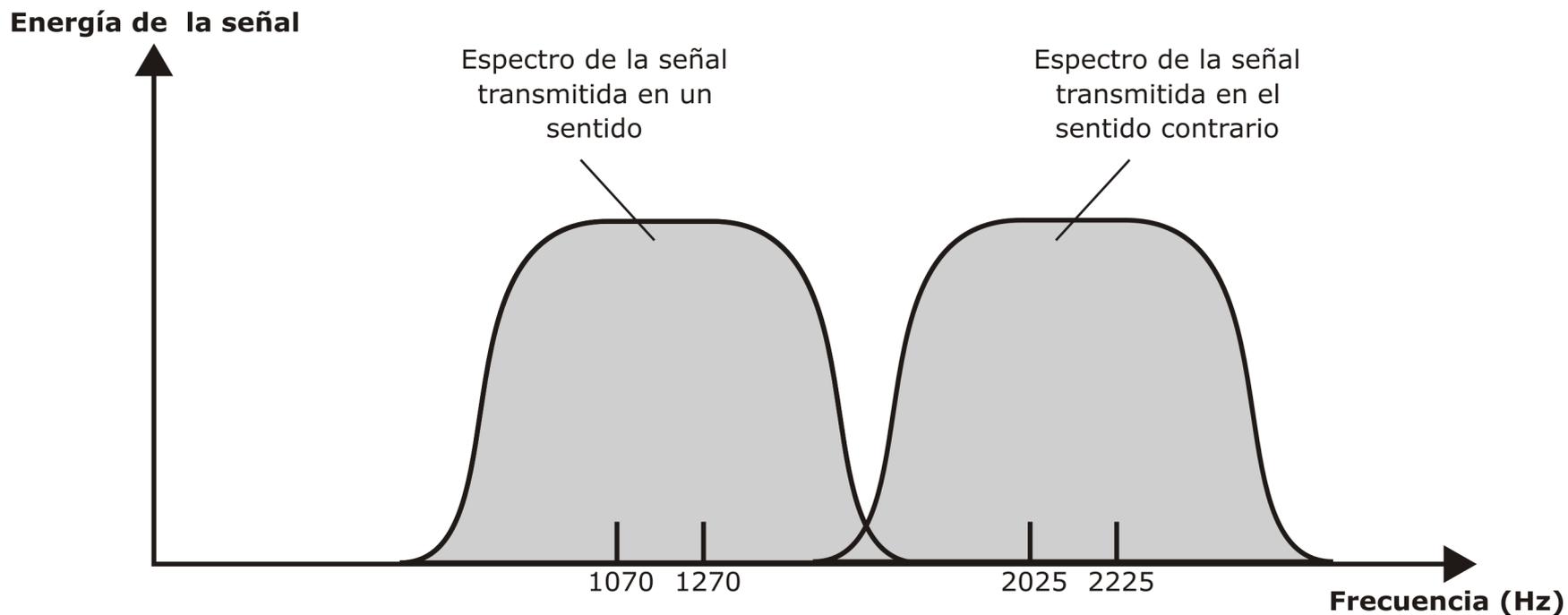
Desplazamiento de frecuencia (FSK)



- Los valores se representan mediante frecuencias diferentes, próximas a la frecuencia de la portadora.
- Menos sensible a errores que ASK.
- Se utiliza típicamente a velocidades de hasta 1.200 bps en líneas de alta calidad telefónica.
- Transmisión de radio a más altas frecuencias.
- También se puede usar a frecuencias superiores en redes de área local que utilicen cable coaxial.



Transmisión "full-duplex" FSK en una línea de calidad telefónica

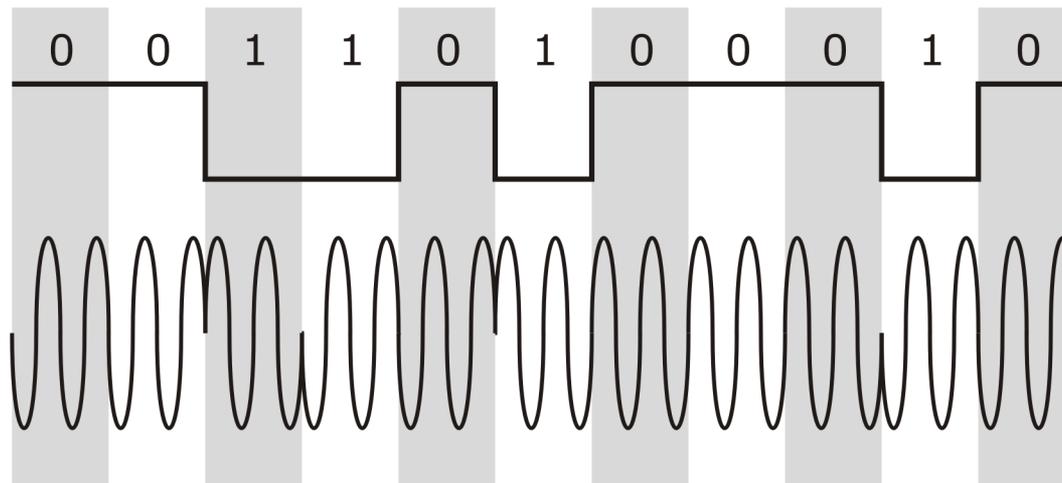




Desplazamiento de fase (PSK)



- La fase de la señal portadora se desplaza para representar los datos.
- PSK diferencial (DPSK):
 - El desplazamiento en fase es relativo a la fase correspondiente al último símbolo transmitido, en lugar de ser relativo a algún valor constante de referencia.





Desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK)



- PSK en cuadratura (QPSK)
 - Cada elemento representa más de un bit

$$S(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}) & \mathbf{11} \\ A \cos(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4}) & \mathbf{10} \\ A \cos(2\pi f_c t + \frac{5\pi}{4}) & \mathbf{00} \\ A \cos(2\pi f_c t + \frac{7\pi}{4}) & \mathbf{01} \end{cases}$$



Desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK)



- Se puede conseguir una utilización más eficaz del ancho de banda, si cada elemento de señalización representa a más de un bit:
 - Ejemplo: desplazamientos de fase correspondientes a múltiplos de $\pi/2$ (90°).
 - Cada elemento de señal representa dos bits.
 - Se pueden usar 8 ángulos de fase para tener varias amplitudes.
 - En un modem a 9.600 bps se utilizan 12 ángulos de fase, cuatro de los cuales tienen dos posibles amplitudes.



PSK multinivel



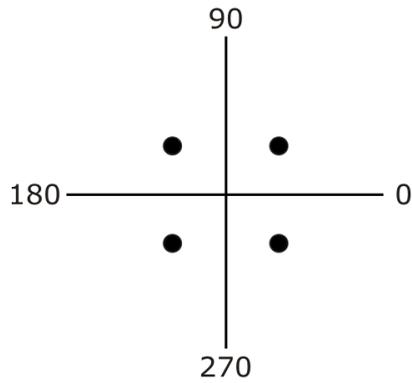
- Utilizando varios ángulos de fase y más de una amplitud para cada ángulo se pueden conseguir múltiples elementos de señalización:

$$D = \frac{R}{L} = \frac{R}{\log_2 M}$$

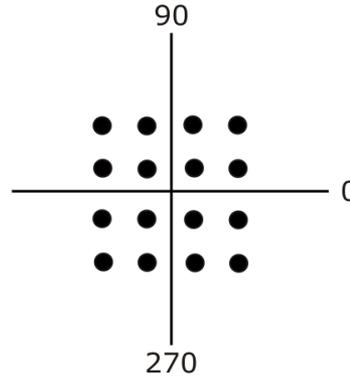
- **D** = velocidad de modulación (baudios)
- **R** = velocidad de transmisión de datos (bps)
- **M** = número de elementos de señalización distintos = 2^L
- **L** = número de bits por elemento de señalización



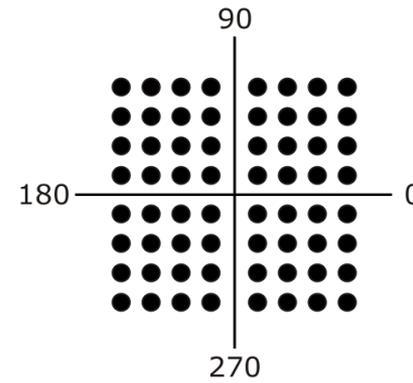
Ejemplos de PSK multinivel



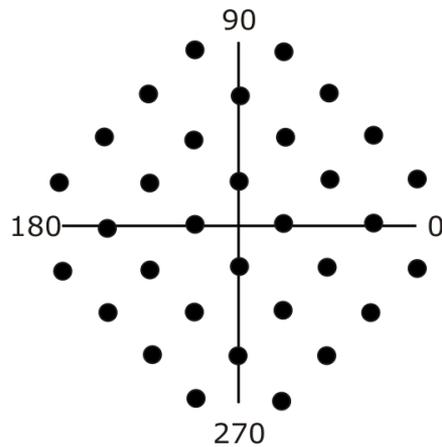
QPSK
2 bits por símbolo



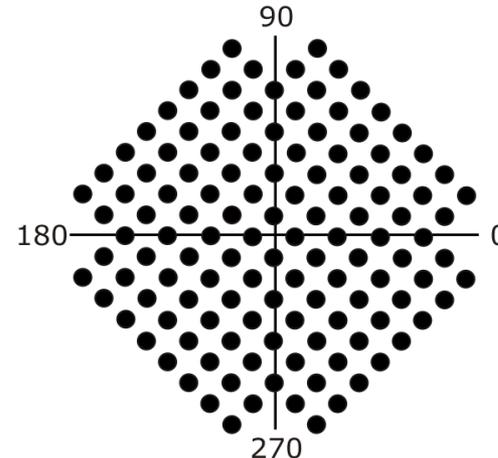
QAM-16
4 bits por símbolo



QAM-64
6 bits por símbolo



V32
(9600 bps)



V32 bis
(14400 bps)



Prestaciones de los distintos esquemas de modulación



- Ancho de banda:
 - El ancho de banda para ASK y PSK está directamente relacionado con la velocidad de transmisión.
 - El ancho de banda para FSK está directamente relacionado con la velocidad de transmisión de datos cuando se usan frecuencias muy bajas, excepto para el desplazamiento de la frecuencia modulada respecto de la portadora cuando se usan frecuencias muy altas.
- En presencia de ruido, las tasas de errores por bit de PSK y QPSK son aproximadamente 3 dB superiores a ASK y a FSK.



- Digitalización:
 - Transformación de datos analógicos en señales digitales. En primer lugar, los datos analógicos se convierten en datos digitales. Después de dicha conversión:
 - Los datos digitales se transmiten usando NRZ-L.
 - Los datos digitales se codifican usando un código diferente al NRZ-L.
 - Los datos digitales se convierten en señales analógicas.
 - La conversión de datos analógicos en señales digitales se realiza mediante un codec.
 - Modulación por codificación de impulsos.
 - Modulación delta.



Modulación por codificación de impulsos (PCM)



- Si una señal se muestrea a intervalos regulares de tiempo con una frecuencia mayor que el doble de la frecuencia más alta de la señal, las muestras obtenidas contienen toda la información de la señal original.
- Los datos de voz se limitan a frecuencias por debajo de 4.000 Hz.
- Se necesitan 8.000 muestras por segundo.
- Muestras analógicas, denominadas muestras PAM (Pulse Amplitude Modulation).
- Todas las muestras llevan asignado un código digital.



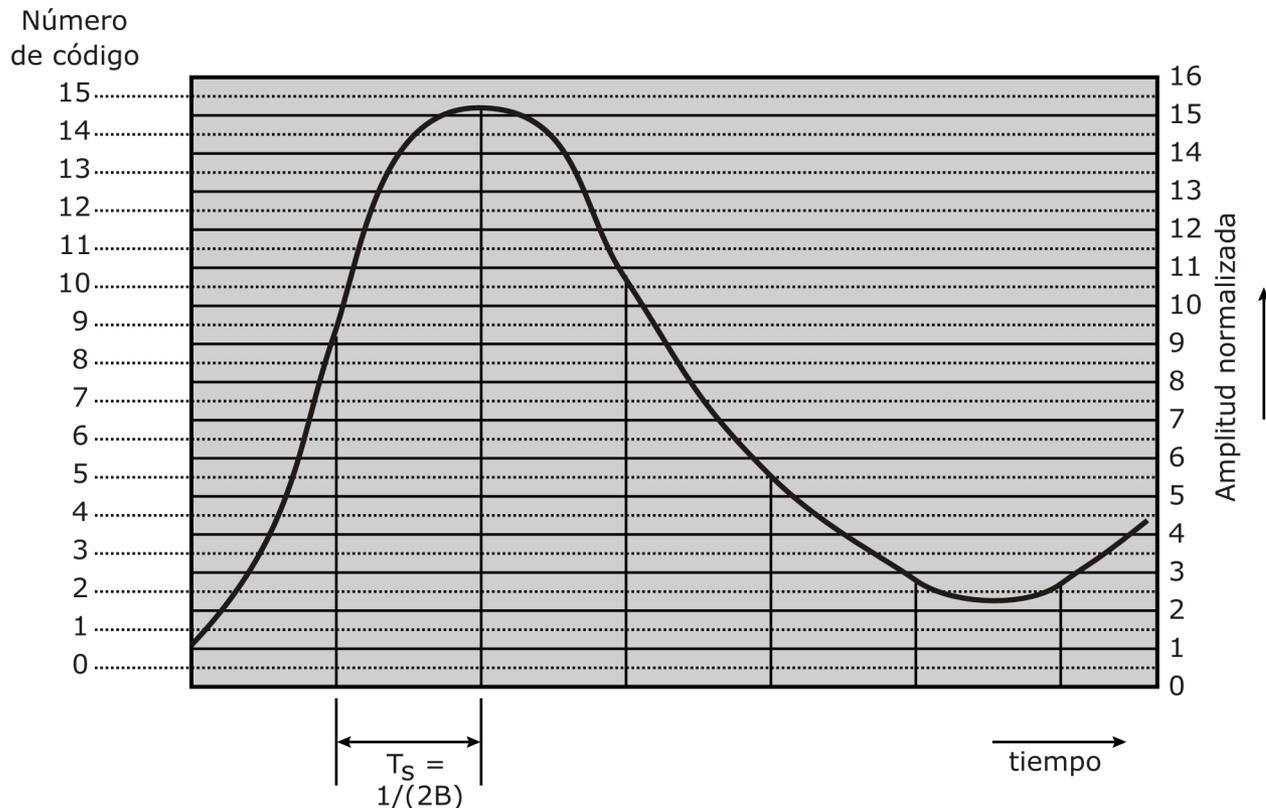
Modulación por codificación de impulsos (PCM)



- Un sistema de 4 bits permite 16 niveles.
- Cuantización:
 - Error o ruido de cuantización.
 - Las aproximaciones significan que la señal original no podrá ser recuperada con exactitud.
- Una muestra de 8 bits permite 256 niveles.
- La calidad es comparable a la que se consigue mediante transmisión analógica.
- 8.000 muestras por segundo x 8 bits por muestra = 64 Kbps.



Ejemplo de modulación por codificación de impulsos (PCM)

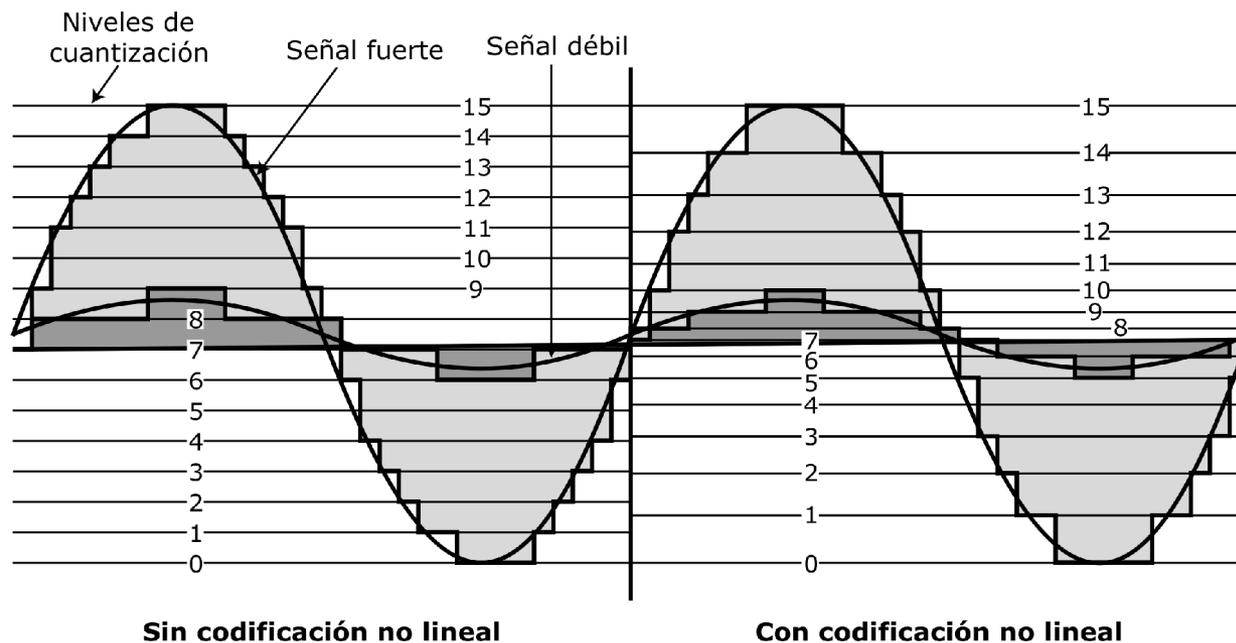


valor PAM	1.1	9.2	15.2	10.8	5.6	2.8	2.7
número de código cuantizado	1	9	15	10	5	2	2
código PCM	0001	1001	1111	1010	0101	0010	0010



Codificación no lineal

- Los niveles de cuantización no están igualmente separados.
- Reducción en la distorsión media de la señal.
- El mismo efecto se puede conseguir usando compresión-expansión.





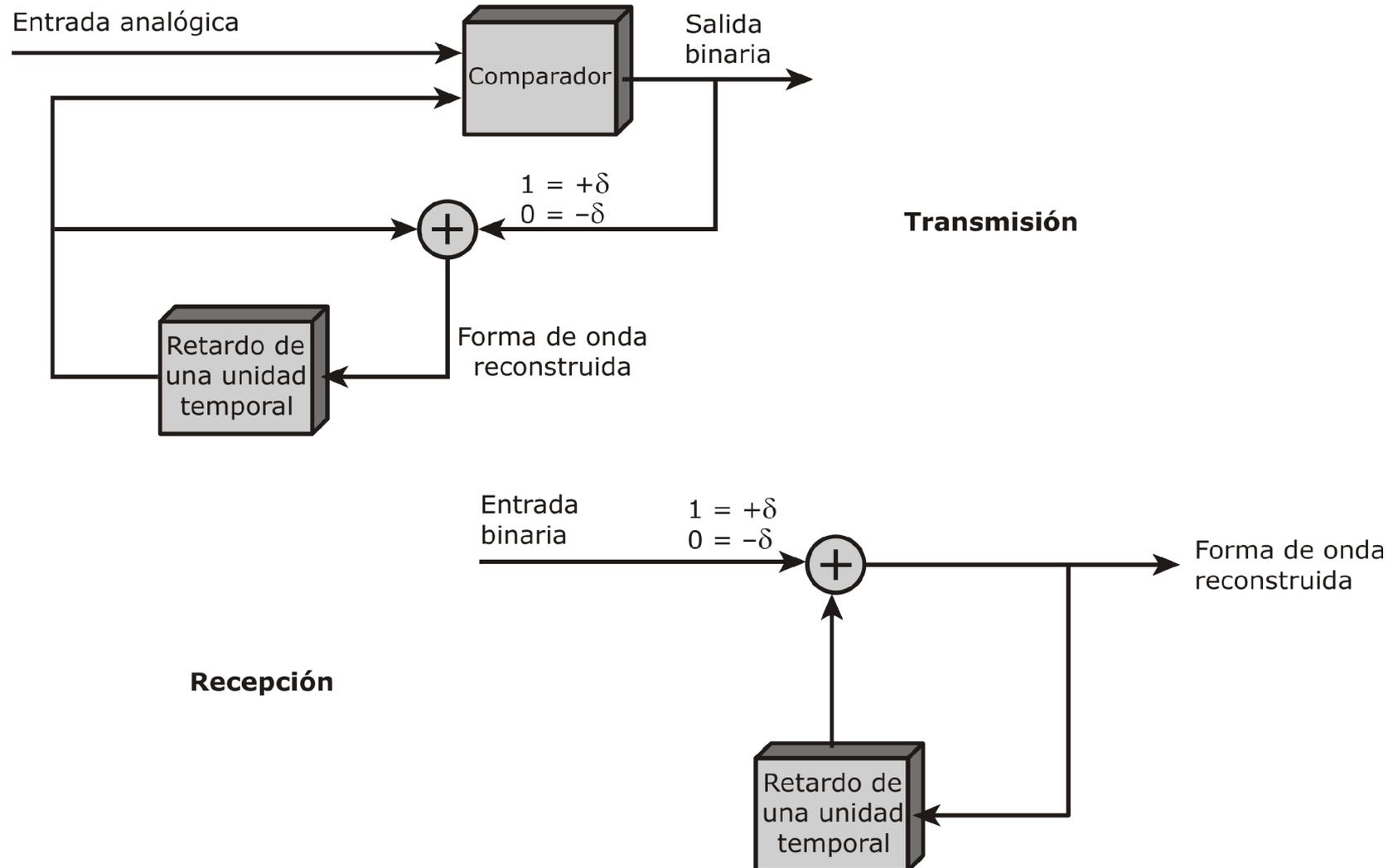
Modulación delta (DM)



- La entrada analógica se aproxima mediante una función escalera.
- En cada intervalo de muestreo sube o baja un nivel de cuantización (δ).
- Comportamiento binario:
 - En cada instante de muestreo la función sube o baja en cada intervalo de muestreo.

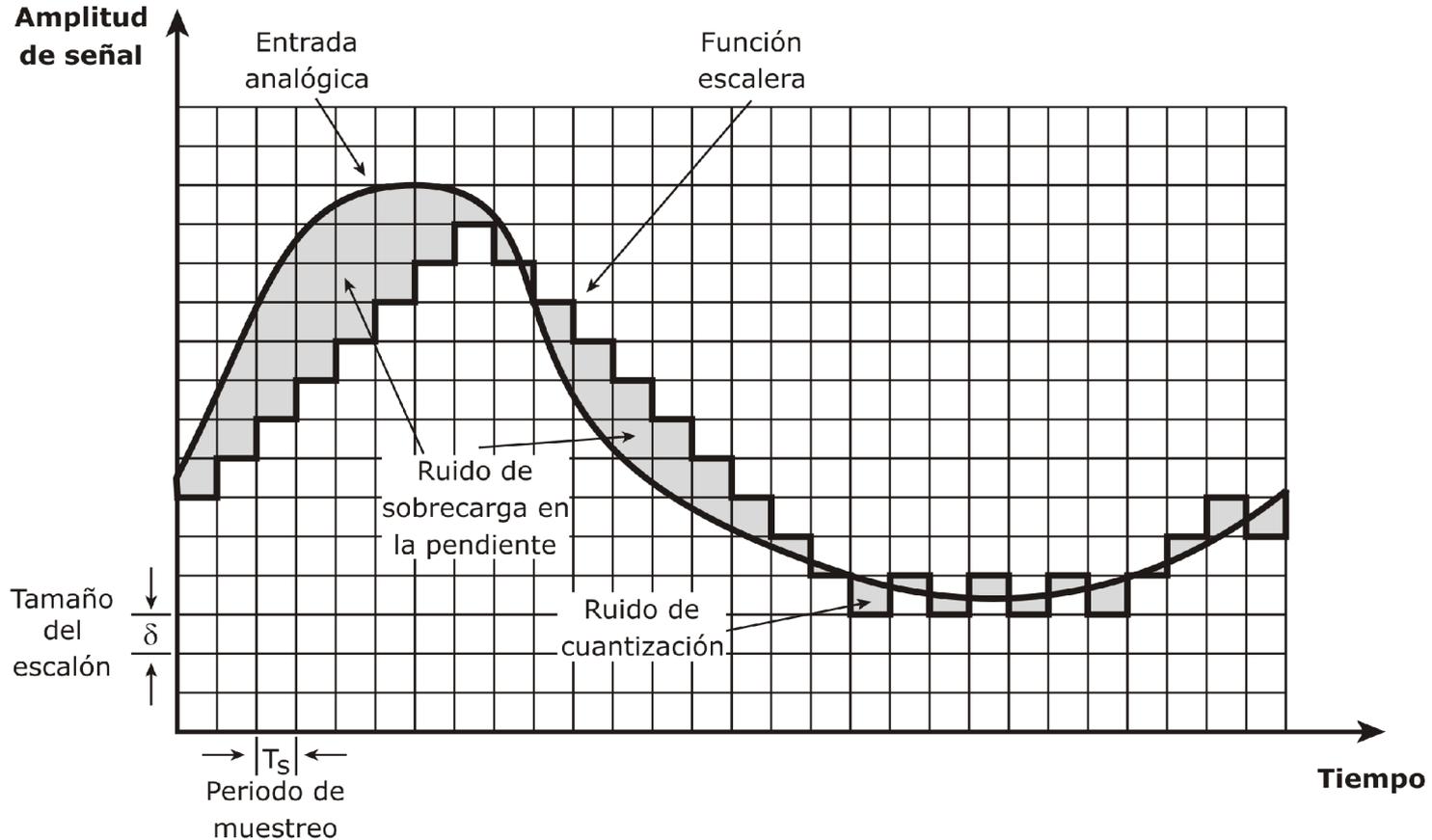


Modulación delta (DM)





Ejemplo de modulación delta





Prestaciones de la modulación delta



- Buena calidad de reproducción de voz:
 - PCM: 128 niveles (es decir, con 7 bits).
 - La señal de voz ocupa un ancho de banda de 4 KHz.
 - La velocidad de transmisión debería ser $8.000 \times 7 = 56$ Kbps para los datos codificados en PCM.
- La compresión de datos se puede mejorar:
 - Ejemplo: técnicas de codificación que aprovechan las dependencias existentes entre cuadros adyacentes, permiten reducir la velocidad de transmisión para la señal de vídeo.



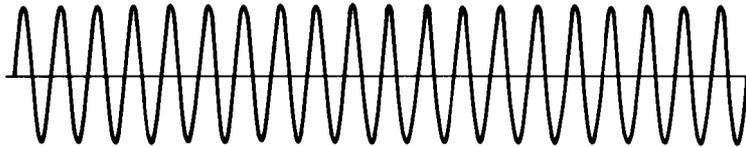
Datos analógicos, señales analógicas



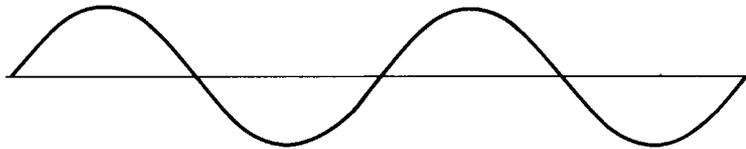
- Razones para la transmisión de señales analógicas mediante modulación:
 - Una frecuencia mayor permite una transmisión más efectiva.
 - Permite la multiplexación por división en frecuencias. Esta técnica se estudiará en el Capítulo 9.
- Tipos de modulación:
 - En amplitud.
 - En frecuencias.
 - En fase.



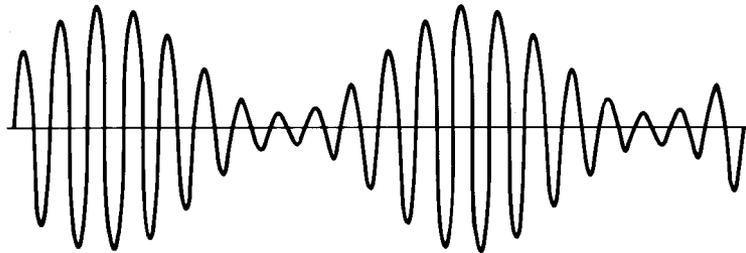
Modulación analógica



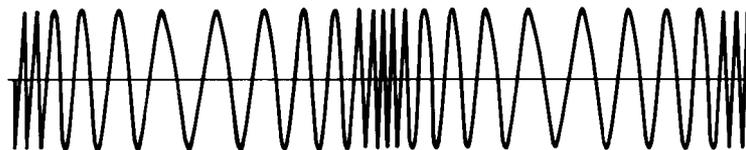
Portadora



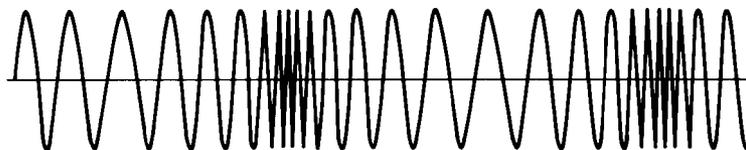
Señal sinusoidal moduladora



Onda de amplitud modulada



Onda modulada en fase



Onda de frecuencia modulada



Espectro expandido



- Se usa para transmitir tanto señales analógicas como digitales.
- Utiliza una señal analógica.
- Expandir la información de la señal sobre un ancho de banda mayor.
- Dificulta las interferencias y su interceptación.
- Salto en frecuencia:
 - La señal se emite sobre una serie de radiofrecuencias aparentemente aleatorias.
- Secuencia directa:
 - Cada bit se representa mediante varios bits de la señal transmitida.
 - Código de compartición.