

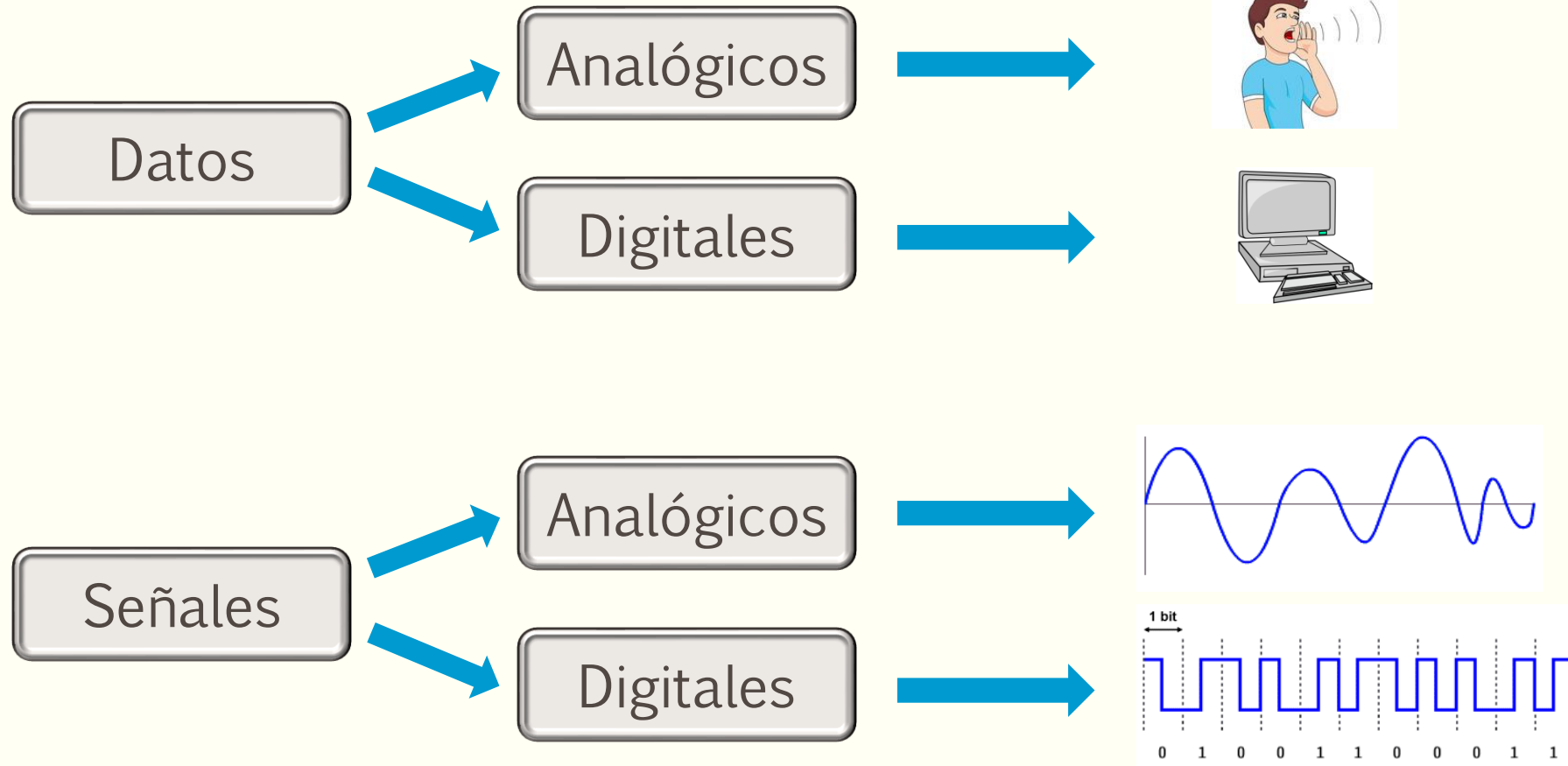
REDES DE DATOS I



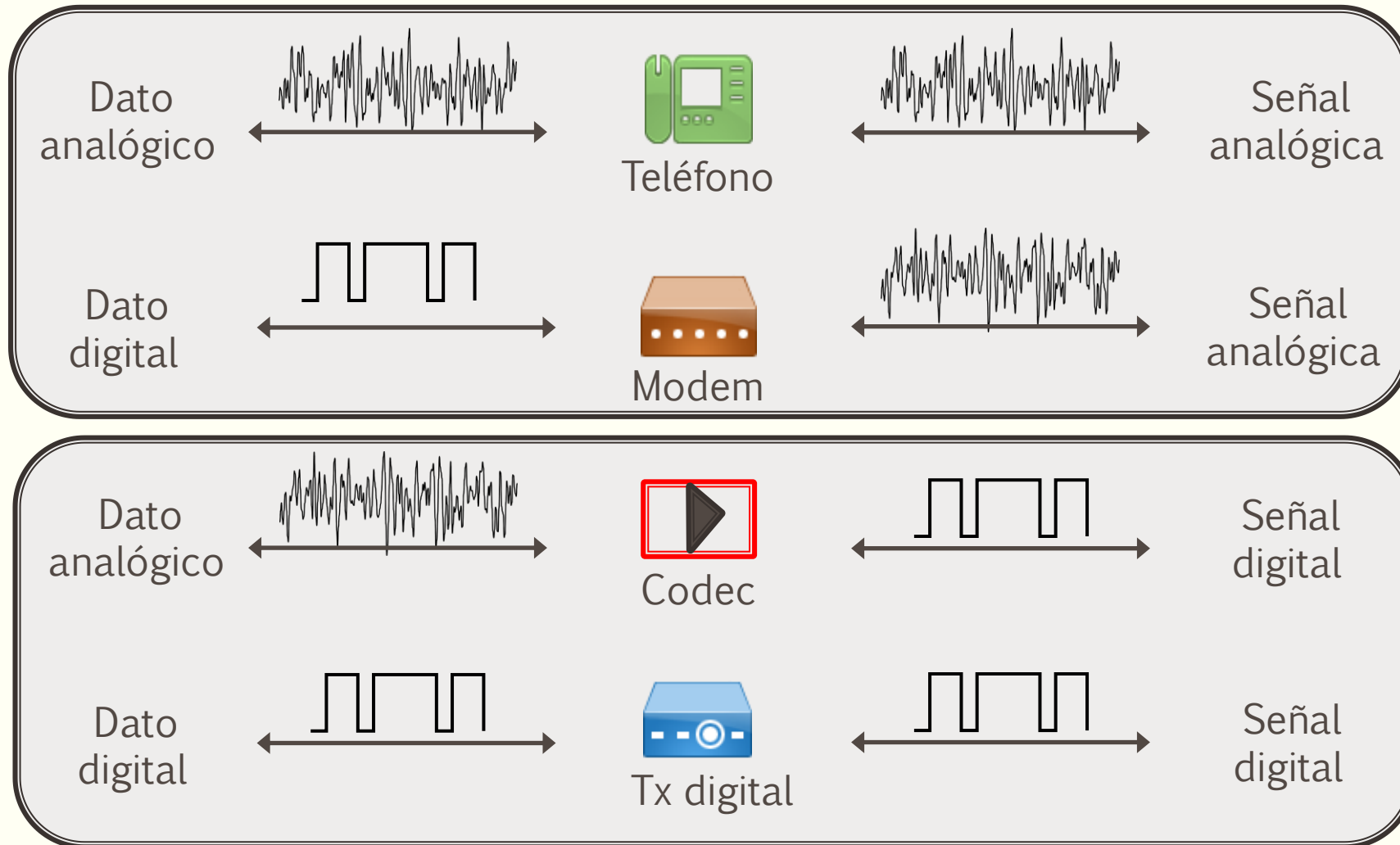
CODIFICACIÓN DE DATOS

- Generalidades
- Datos analógicos – señal analógica
- Datos digitales – señal analógica
- Datos analógicos – señal digital
- Datos digitales – señal digital

Generalidades



Generalidades



CODIFICACIÓN DE DATOS

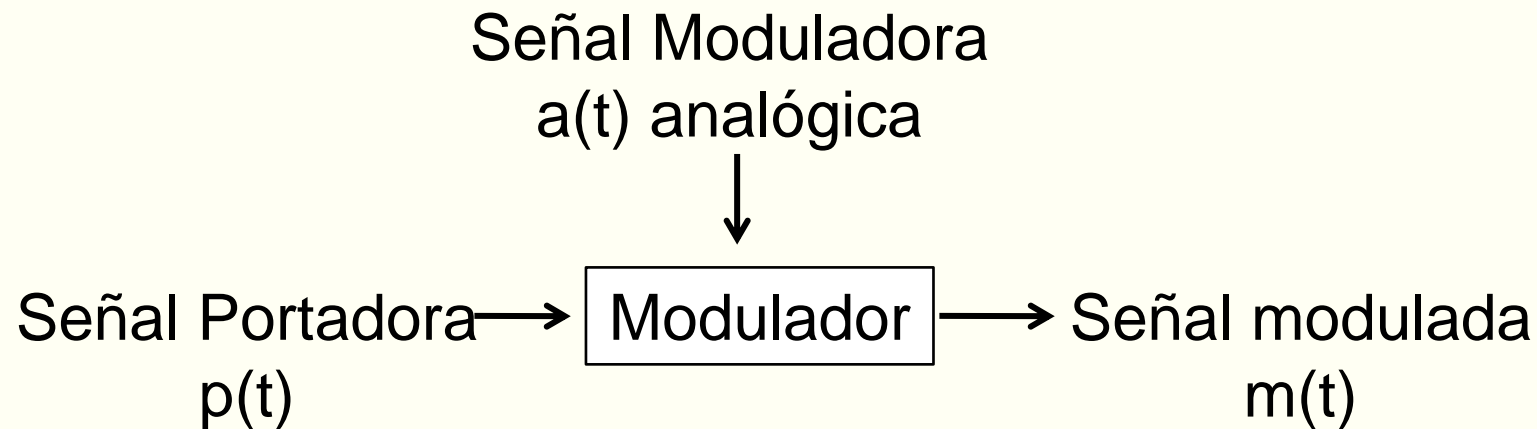
- Generalidades
- **Datos analógicos – señal analógica**
- Datos digitales – señal analógica
- Datos analógicos – señal digital
- Datos digitales – señal digital

Datos analógicos – señal analógica

Modulación:

Hay veces que la transmisión en banda base no es eficiente (por ejemplo, en medios no guiados): se recurre a una banda pasante.

Mediante la modulación se pueden multiplexar varias señales en el canal.



Datos analógicos – señal analógica

Modulación por onda continua: proceso por el cual se modifica alguno de los parámetros de una señal portadora mediante una señal moduladora, que es la que contiene la información

Amplitud

Fase

$$p(t) = A_p \operatorname{sen} (2\pi f_p t + \phi_p)$$

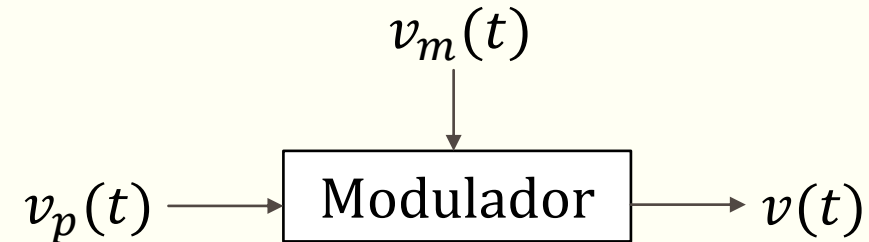
Frecuencia

Datos analógicos – señal analógica

Amplitud modulada

$$v_p(t) = V_p \text{sen}(2\pi f_p t)$$

$$v_m(t) = V_m \text{sen}(2\pi f_m t)$$



$$v(t) = (V_p + v_m(t)) \text{sen}(2\pi f_p t)$$

$$v(t) = V_p(1 + m \text{sen}(2\pi f_m t)) \text{sen}(2\pi f_p t)$$

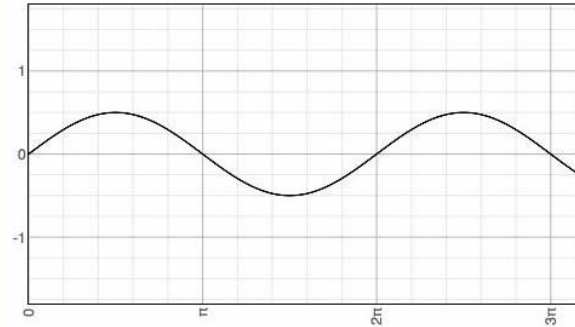
$$m = \frac{V_m}{V_p}$$

(índice de modulación)

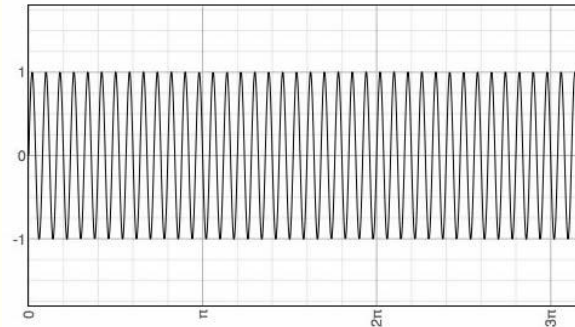
$$v(t) = V_p \text{sen}(2\pi f_p t) + \frac{mV_p}{2} \cos(2\pi(f_p - f_m)t) + \frac{mV_p}{2} \cos(2\pi(f_p + f_m)t)$$

Datos analógicos – señal analógica

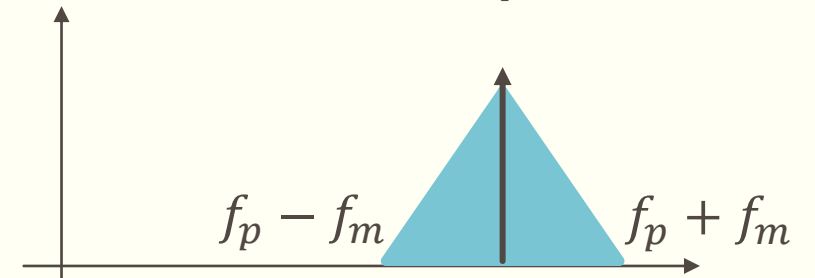
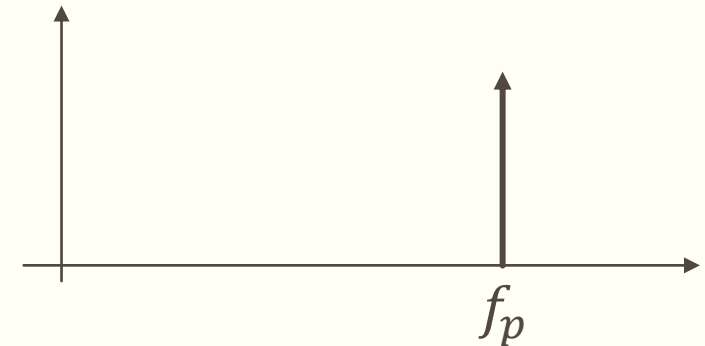
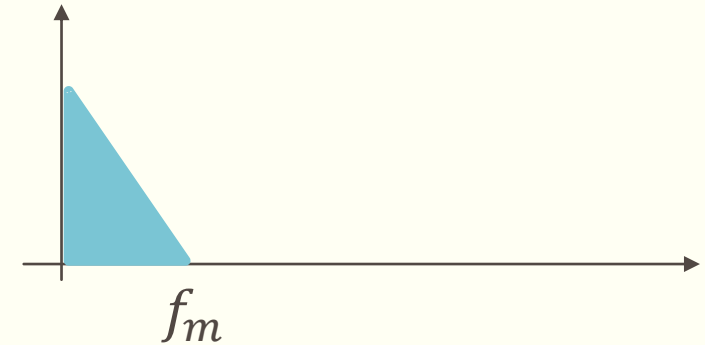
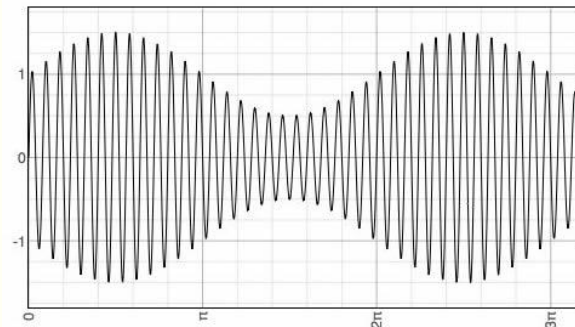
Señal
moduladora



Señal
portadora



Señal
resultante



Datos analógicos – señal analógica

Frecuencia modulada

$$v_p(t) = V_p \text{sen}(2\pi f_p t)$$

$$v_m(t) = V_m \text{sen}(2\pi f_m t)$$

$$v(t) = V_p \text{sen}[2\pi (f_p + \Delta f \text{sen}(2\pi f_m t)) t]$$

$$v(t) = V_p \text{sen}[2\pi f_p t + \frac{\Delta f}{f_m} \cos(2\pi f_m t)]$$

$$f = f_p + \Delta f \text{sen}(2\pi f_m t)$$

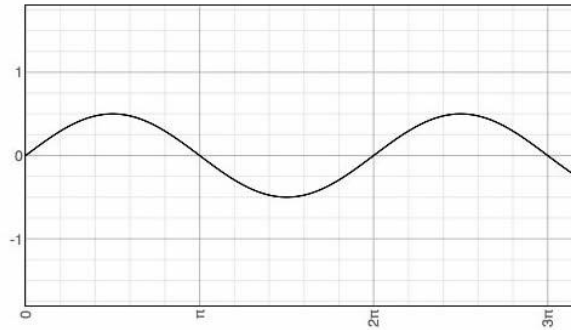
Δf es la desviación
de frecuencia

$$m = \frac{\Delta f}{f_m}$$

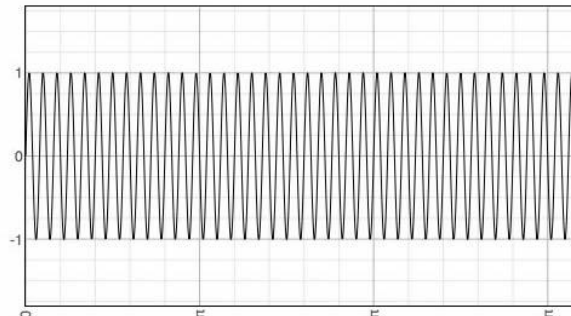
m es el índice de
modulación

Datos analógicos – señal analógica

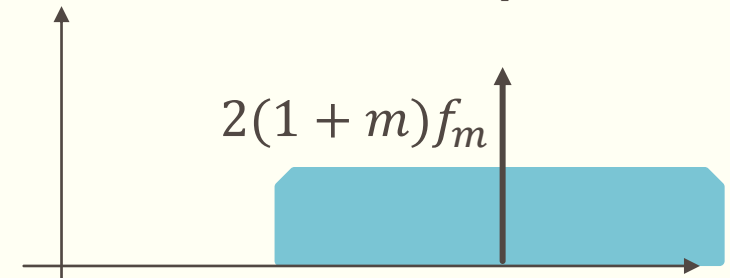
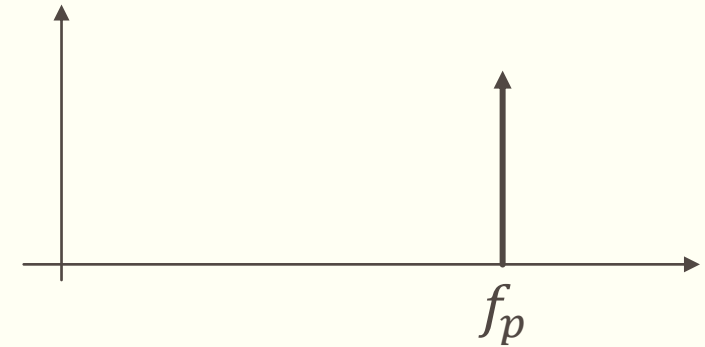
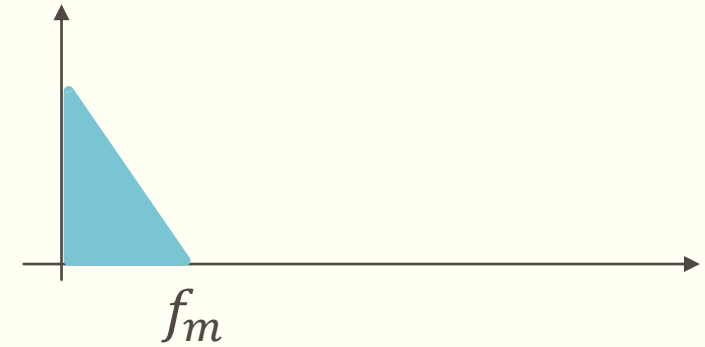
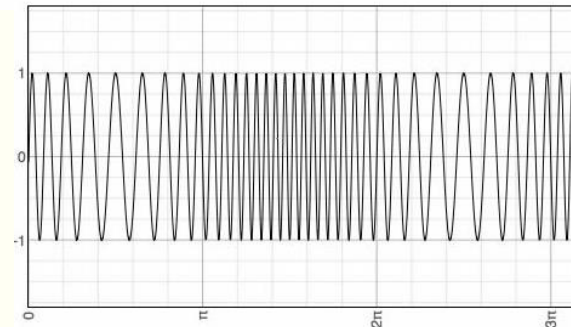
Señal
moduladora



Señal
portadora



Señal
resultante

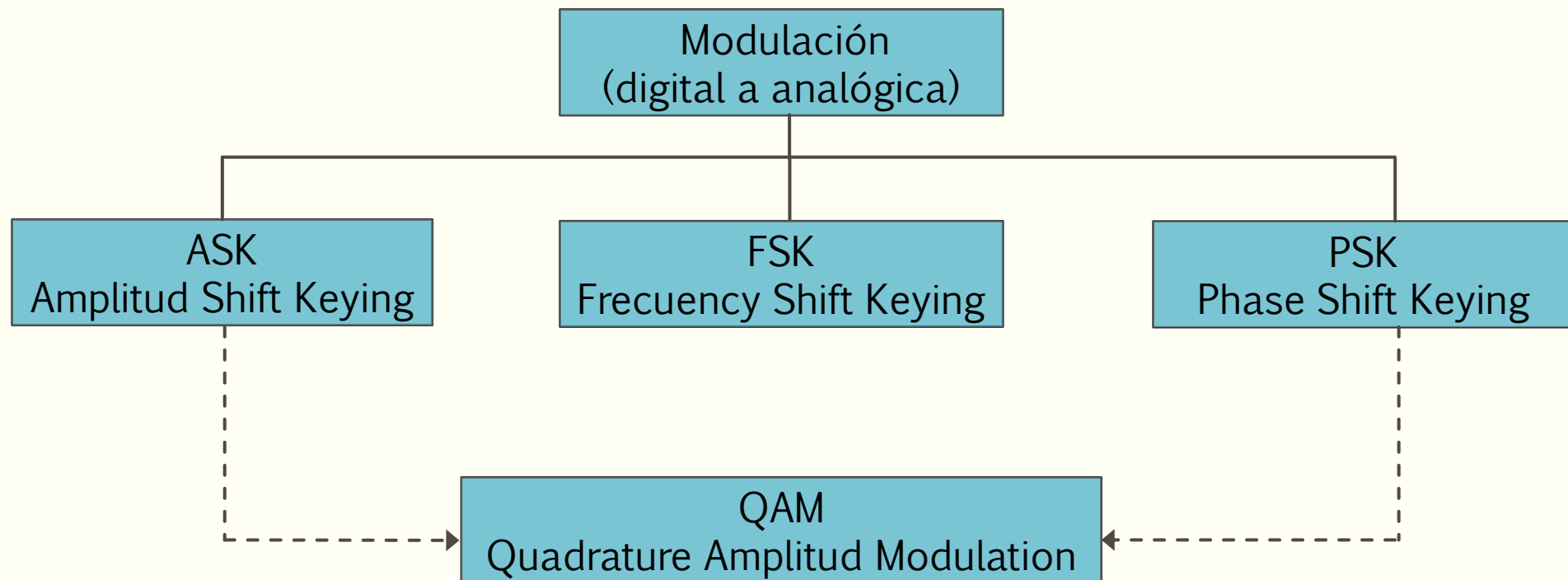


CODIFICACIÓN DE DATOS

- Generalidades
- Datos analógicos – señal analógica
- **Datos digitales – señal analógica**
- Datos analógicos – señal digital
- Datos digitales – señal digital

Datos digitales – señal analógica

La modulación implica variar uno o varios de los tres parámetros fundamentales característicos de la señal portadora: amplitud, frecuencia y fase



Datos digitales – señal analógica

ASK: Desplazamiento de amplitud

Señal
moduladora

$$v_m(t) = \begin{cases} 1 & \text{para un "1" binario} \\ 0 & \text{para un "0" binario} \end{cases}$$

Señal
portadora

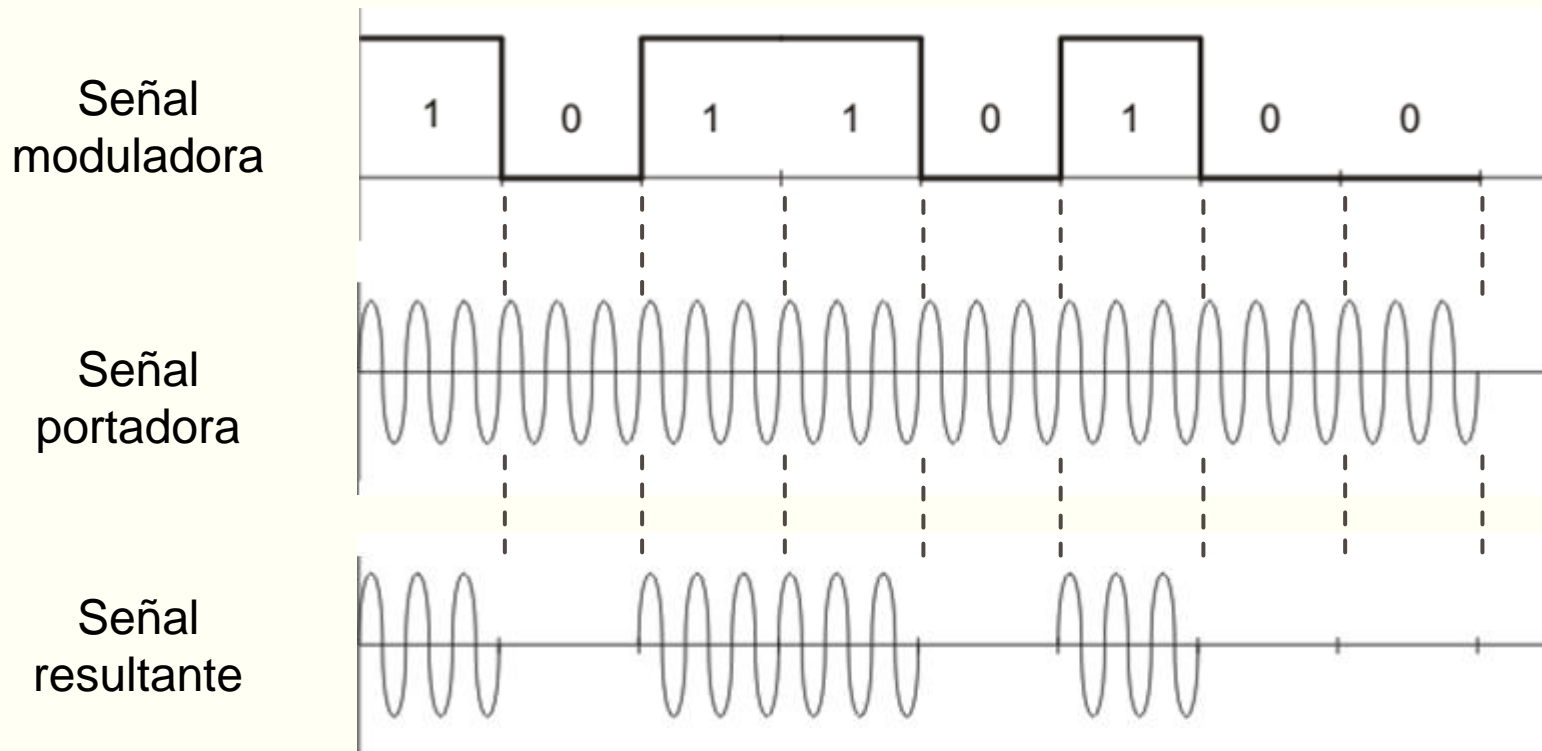
$$v_p(t) = V_p \sen(2\pi f_p t)$$

Señal
resultante

$$v(t) = \begin{cases} V_p \sen(2\pi f_p t) & \text{para un "1" binario} \\ 0 & \text{para un "0" binario} \end{cases}$$

Datos digitales – señal analógica

ASK: Desplazamiento de amplitud

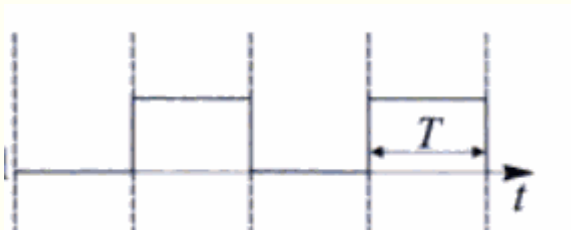


Datos digitales – señal analógica

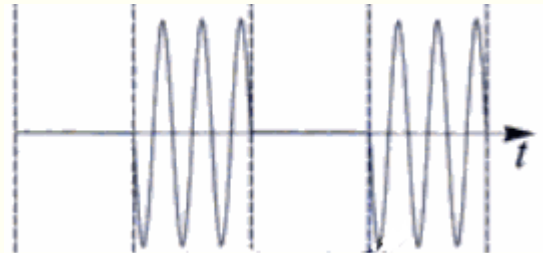
ASK: Desplazamiento de amplitud

Dominio del tiempo

Datos
digitales

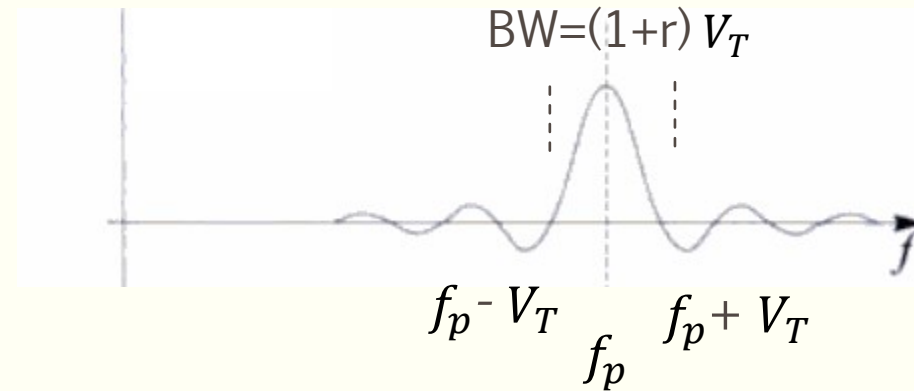
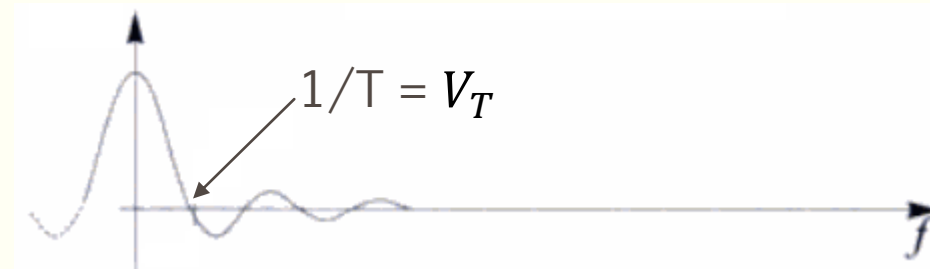


ASK



f_p

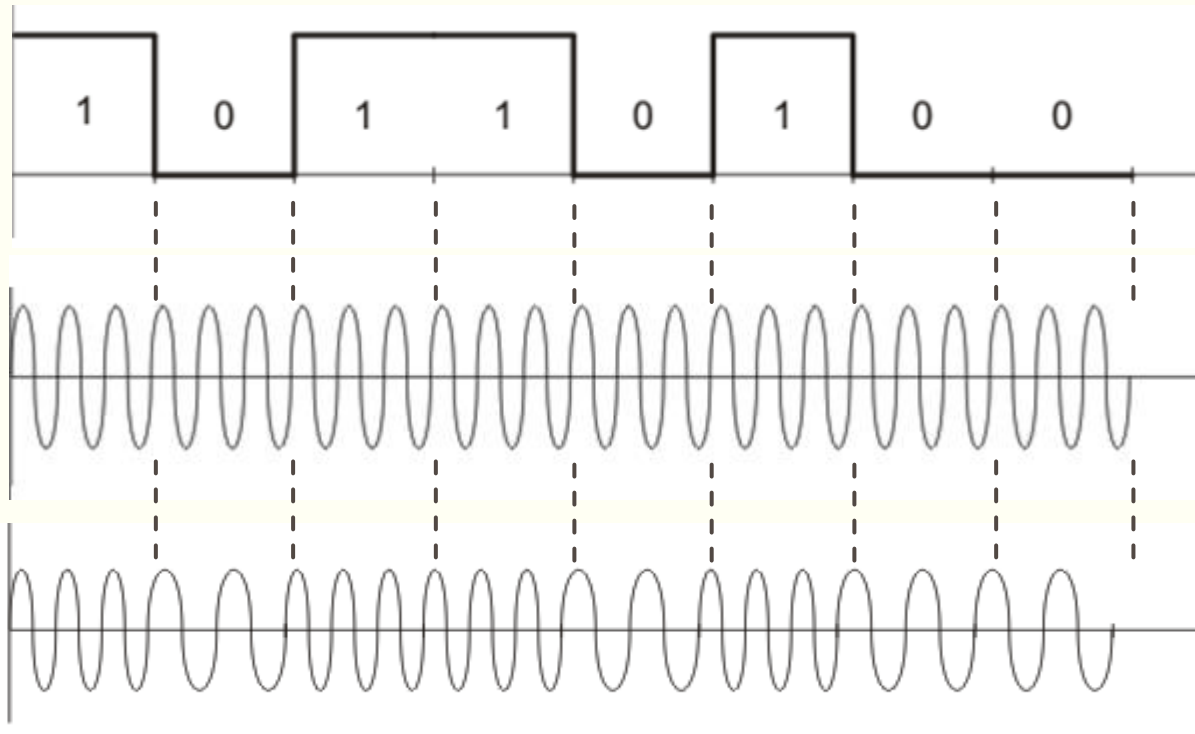
Dominio de la frecuencia



Datos digitales – señal analógica

FSK: Desplazamiento de frecuencia

Señal
moduladora



$$v(t) = \begin{cases} V_p \sin(2\pi f_1 t) & \text{para un "1" binario} \\ V_p \sin(2\pi f_2 t) & \text{para un "0" binario} \end{cases}$$

Datos digitales – señal analógica

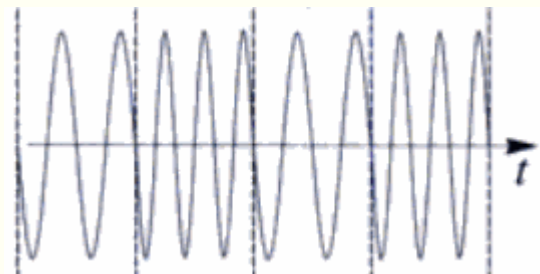
FSK: Desplazamiento de frecuencia

Dominio del tiempo

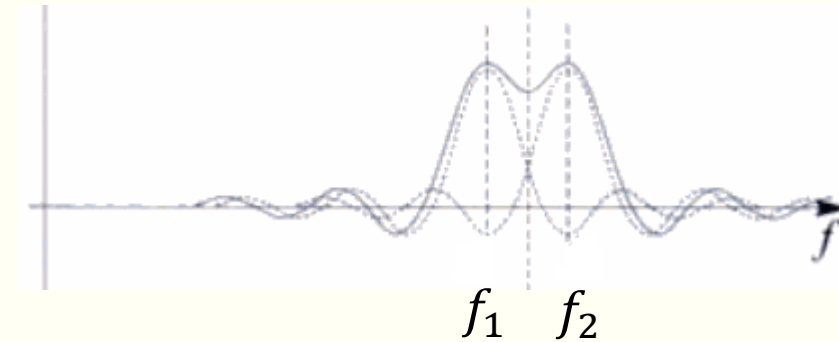
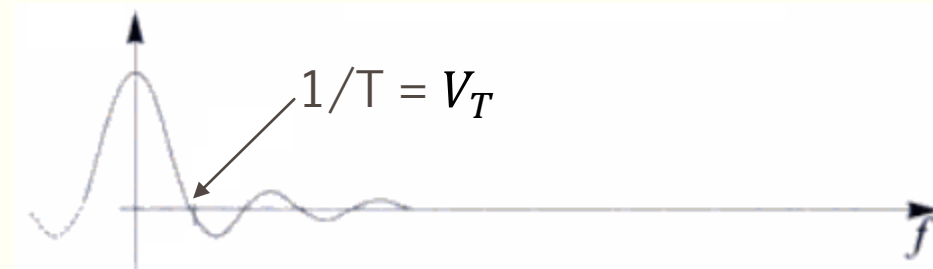
Datos
digitales



FSK



Dominio de la frecuencia



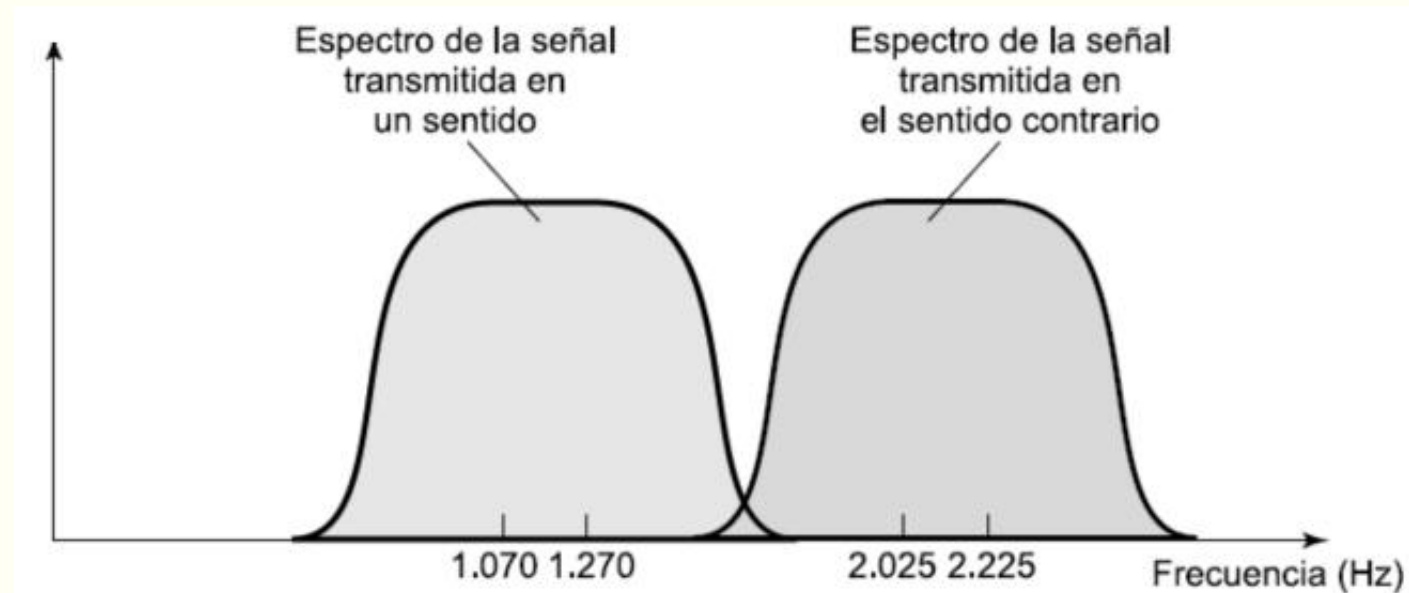
$$BW = \Delta f + (1+r) V_T \quad BW = (V_T / 2) + (1+r) V_T \quad (\text{mínimo})$$

Datos digitales – señal analógica

FSK: Desplazamiento de frecuencia

Especificación
Bell 103 (AT&T)
300 bps

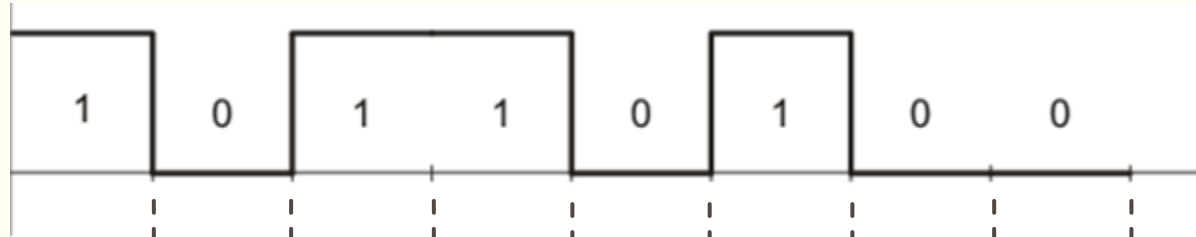
ITU V.21:
esquema
similar



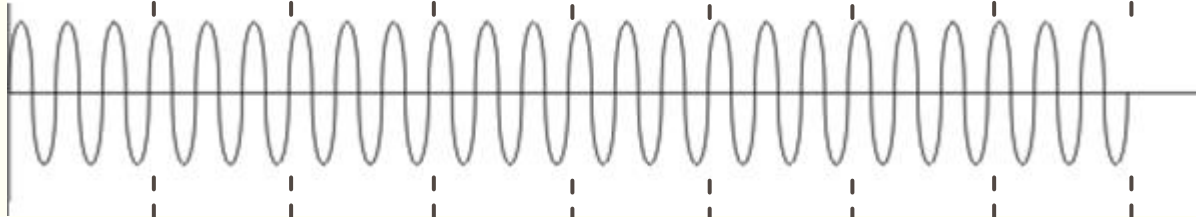
Datos digitales – señal analógica

PSK: Desplazamiento de fase

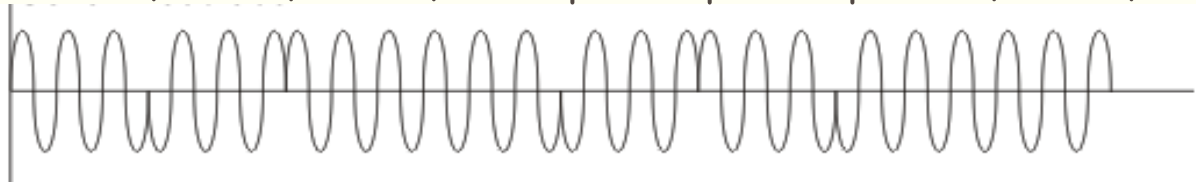
Señal
moduladora



Señal
portadora



Señal
resultante



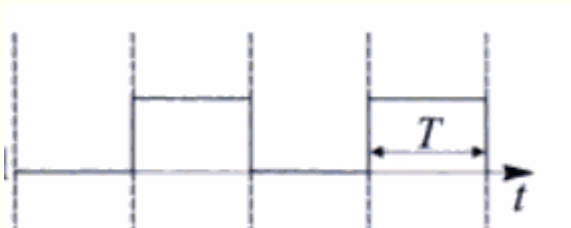
$$v(t) = \begin{cases} V_p \sin(2\pi f_p t) & \text{para un "1" binario} \\ -V_p \sin(2\pi f_p t) & \text{para un "0" binario} \end{cases}$$

Datos digitales – señal analógica

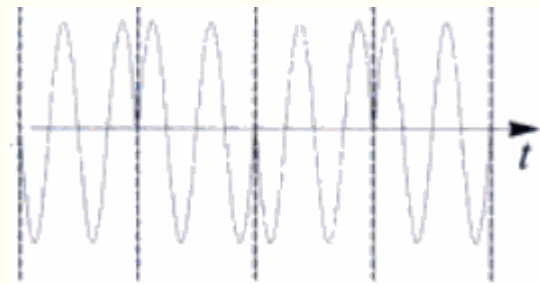
PSK: Desplazamiento de fase

Dominio del tiempo

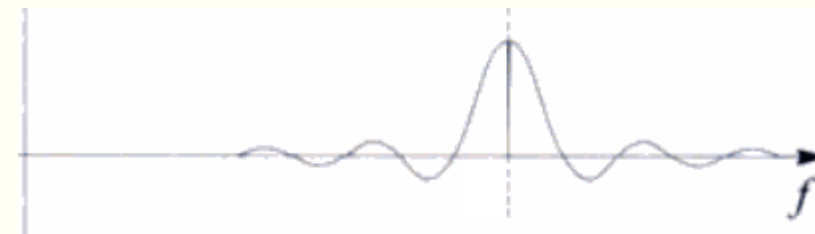
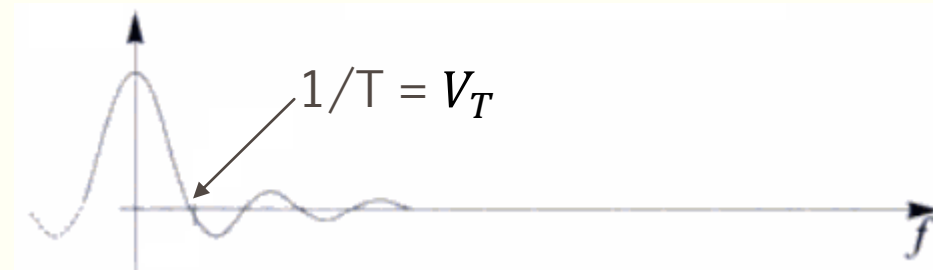
Datos
digitales



PSK



Dominio de la frecuencia

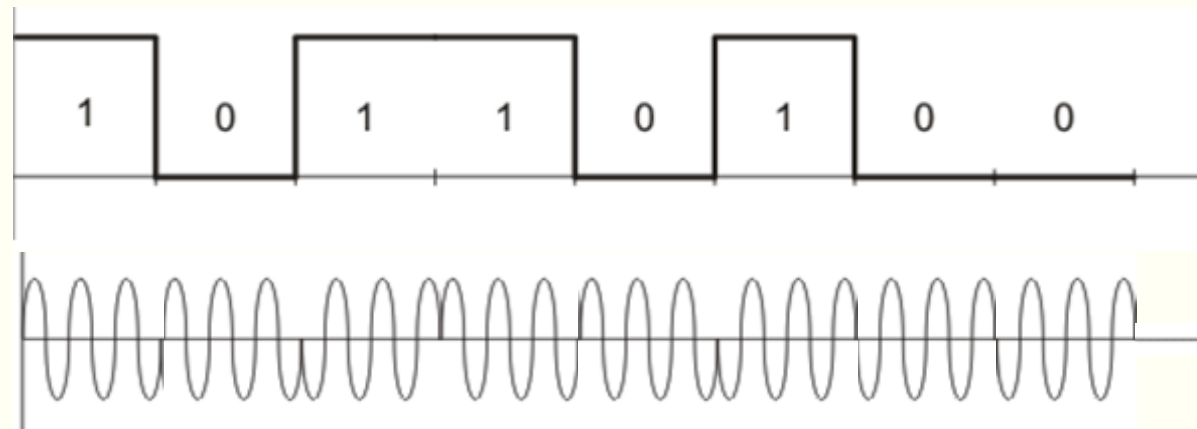


$$f_p$$
$$BW = (1+r) V_T$$

Datos digitales – señal analógica

DPSK: Desplazamiento de fase (diferencial)

- Para decodificar la señal PSK se requiere sincronizar el transmisor y receptor.
- Surge como variante DPSK (PSK diferencial)
- La información está contenida en las transiciones
- La referencia de fase se toma del intervalo inmediato anterior
- Decodifica la información en base a diferencias relativas de fase



1 cambio de fase
0 sin cambio

Datos digitales – señal analógica

M-PSK: Multi desplazamiento de fase

- La fase de la señal portadora puede tomar secuencialmente N valores posibles separados entre sí por un ángulo definido por:

$$\theta = \frac{2\pi}{N} \quad BW = \frac{(1+r) V_T}{\log_2(N)}$$

Dibit	Fase
00	0
01	$\pi/2$
10	π
11	$3\pi/4$

$$v(t) = \begin{cases} V_p \text{sen}(2\pi f_p t + \pi/4) & \text{para un "00" binario} \\ V_p \text{sen}(2\pi f_p t + 3\pi/4) & \text{para un "01" binario} \\ V_p \text{sen}(2\pi f_p t - 3\pi/4) & \text{para un "11" binario} \\ V_p \text{sen}(2\pi f_p t - \pi/4) & \text{para un "10" binario} \end{cases}$$

Datos digitales – señal analógica

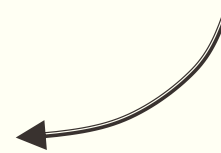
4-PSK o QPSK: Implementación

$$\text{sen}(\alpha + \beta) = \text{sen}(\alpha) \cos(\beta) + \cos(\alpha) \text{sen}(\beta)$$

$$\begin{cases} \text{sen}(\alpha + \pi/4) = \text{sen}(\alpha) \cos(\pi/4) + \cos(\alpha) \text{sen}(\pi/4) & = 0,7(\text{sen}(\alpha) + \cos(\alpha)) \\ \text{sen}(\alpha + 3\pi/4) = \text{sen}(\alpha) \cos(3\pi/4) + \cos(\alpha) \text{sen}(3\pi/4) & = 0,7(-\text{sen}(\alpha) + \cos(\alpha)) \\ \text{sen}(\alpha - 3\pi/4) = \text{sen}(\alpha) \cos(-3\pi/4) + \cos(\alpha) \text{sen}(-3\pi/4) & = 0,7(-\text{sen}(\alpha) - \cos(\alpha)) \\ \text{sen}(\alpha - \pi/4) = \text{sen}(\alpha) \cos(-\pi/4) + \cos(\alpha) \text{sen}(-\pi/4) & = 0,7(\text{sen}(\alpha) - \cos(\alpha)) \end{cases}$$

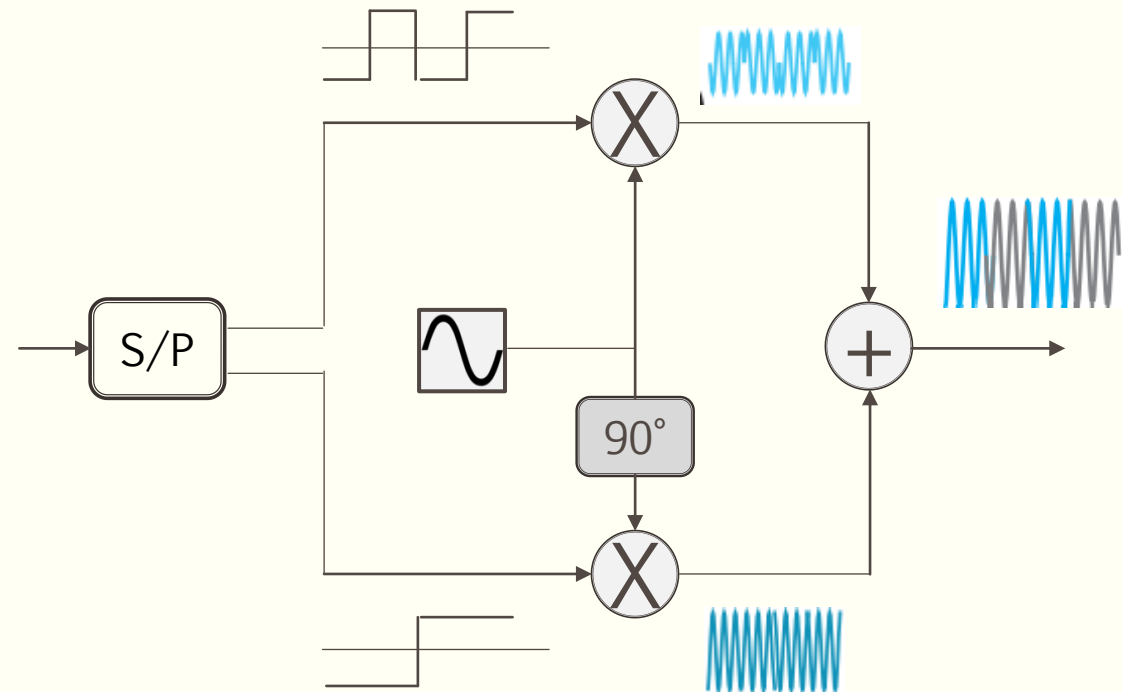
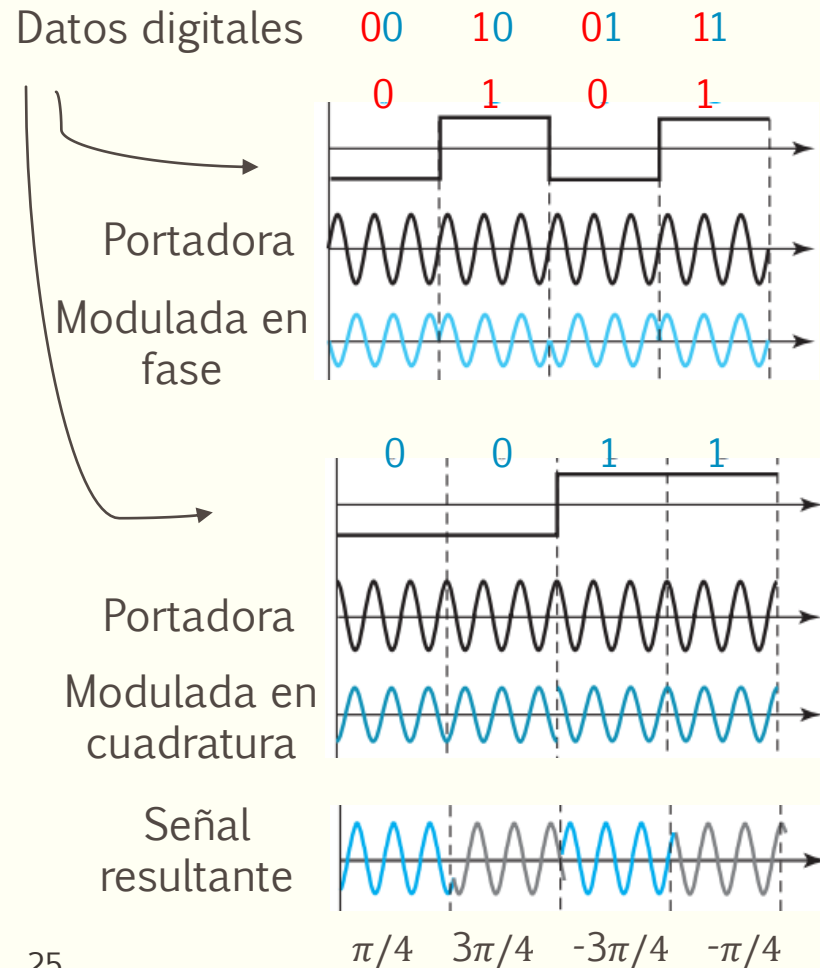
$$\begin{cases} \text{sen}(\alpha + \pi/4) = 0,7(\text{sen}(\alpha) + \text{sen}(\alpha + \pi/2)) \\ \text{sen}(\alpha + 3\pi/4) = 0,7(-\text{sen}(\alpha) + \text{sen}(\alpha + \pi/2)) \\ \text{sen}(\alpha - 3\pi/4) = 0,7(-\text{sen}(\alpha) - \text{sen}(\alpha + \pi/2)) \\ \text{sen}(\alpha - \pi/4) = 0,7(\text{sen}(\alpha) - \text{sen}(\alpha + \pi/2)) \end{cases}$$

$$\cos(\alpha) = \text{sen}(\alpha + \pi/2)$$



Datos digitales – señal analógica

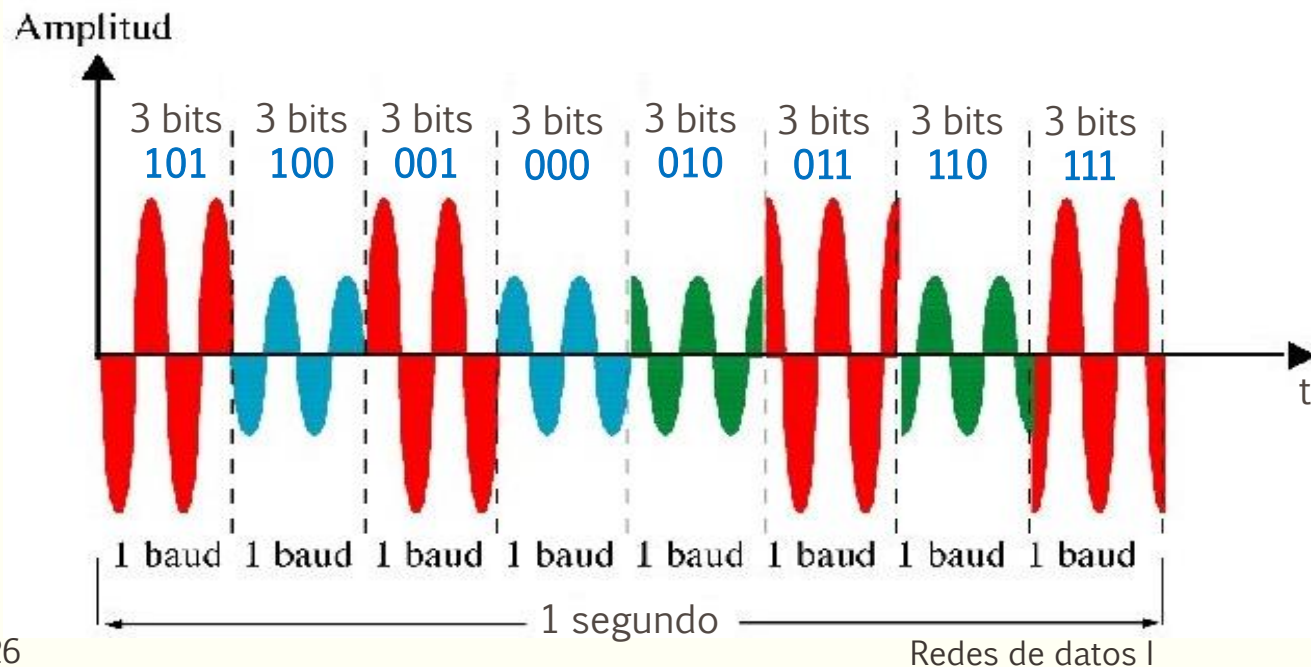
4-PSK o QPSK: Implementación



Datos digitales – señal analógica

QAM: Modulación de amplitud en cuadratura

- QAM es una combinación de ASK y PSK
- Dos portadoras, una en fase y otra en cuadratura, con diferentes niveles de amplitud para cada portadora (ASK en cada portadora)



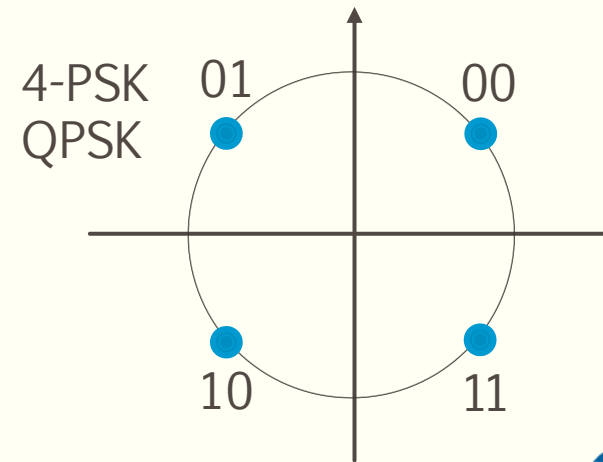
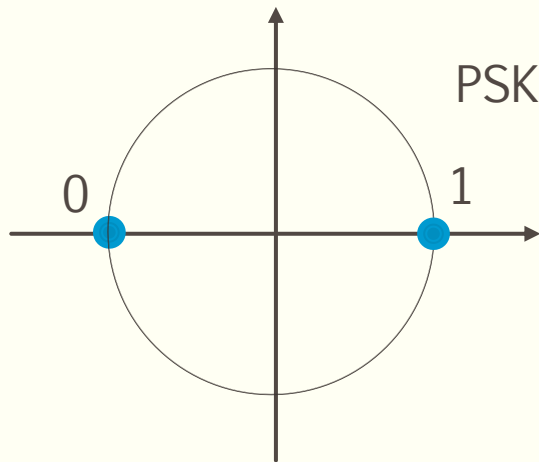
8-QAM

Bit rate: 24bps
Baud rate: 8

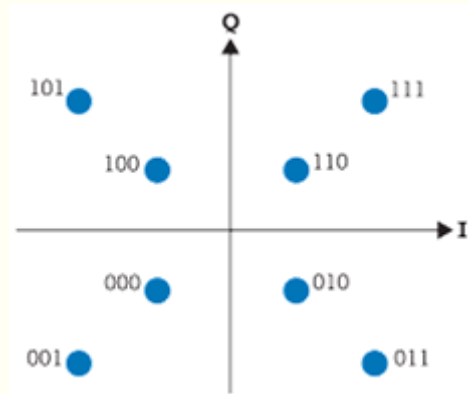
Datos digitales – señal analógica

Diagrama de constelación

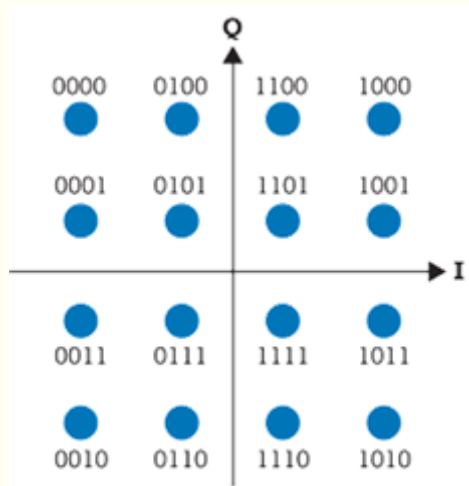
- Es una representación de un esquema de modulación en un plano complejo.
- Los puntos en la constelación representan los símbolos de la modulación.
- Los símbolos se representan en términos de su amplitud y fase.
- El eje horizontal representa la componente en fase con la frecuencia portadora, y el eje vertical representa la componente en cuadratura.



Datos digitales – señal analógica

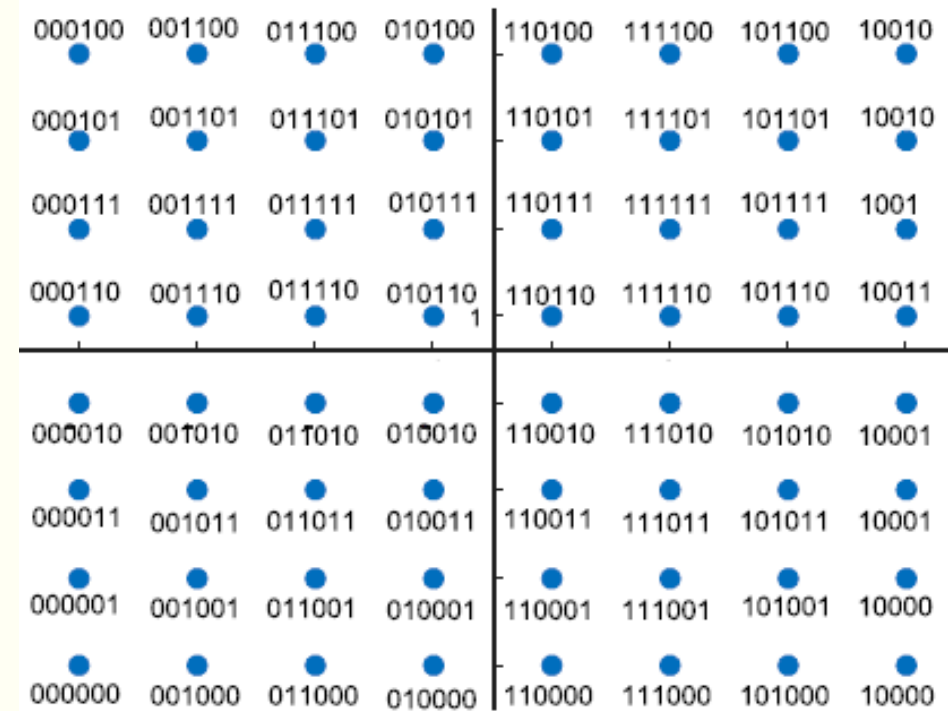


8-QAM



16-QAM

64-QAM



Datos digitales – señal analógica

Algunas recomendaciones de la ITU-T para módems telefónicos:

ITU-T	Baud Rate	Bit Rate	Modulación
V.21	300	300	FSK
V.22	600	1200	4-PSK
V.23	1200	1200	FSK
V.26	1200	2400	4-PSK
V.27	1600	4800	8-PSK
V.29	2400	9600	16-QAM



Surfboard SB5100 Cable-modem



GENERAL SPECIFICATIONS			
Downstream	Upstream	General	Environmental
Modulation: 64 or 256 QAM	Modulation: 8***, 16, 32***, 64***, 128*** QAM or QPSK	Cable Interface: F-connector, female, 75 Ω	Operating Temperature: 0° to 40° C
Maximum Data Rate:* 38 Mbps	Maximum Data Rate:** 30 Mbps	CPE Network Interface: USB, Ethernet 10/100Base-T	Storage Temperature: -30° to 80° C
Bandwidth: 6 MHz	Bandwidth: 200 kHz, 400 kHz, 800 kHz, 1.6 MHz, 3.2 MHz, 6.4*** MHz	Data Protocol: TCP/IP	Operating Humidity: 0 to 95% R.H. (non-condensing)
Symbol Rate: 5.069 Msym/s	Symbol Rates: 160, 320, 640, 1280, 2560 and 5120*** ksym/s	Dimensions: 6.2" H, 2.3"W, 6.0"L	
Symbol Rate: 256 QAM, 5.361 Msym/s		Power: 9 Watts (nominal)	
Operating Level Range: -15 to +15dBmV	Operating Level Range: A-TDMA: +8 to+54 dBmV (32QAM, 64QAM), +8 to+55 dBmV (8QAM, 16QAM), +8 to+58 dBmV (QPSK), S-CDMA: +8 to+53 dBmV (all modulations)	Input Power: North America: 105-125VAC, 60Hz, International: 100-240VAC, 50-60Hz	
Input Impedance: 75 Ω (nominal)			
Frequency Range: 88 to 860 MHz	Output Impedance: 75 Ω (nominal)		
	Frequency Range: 5 to 42 MHz (edge to edge)		

CODIFICACIÓN DE DATOS

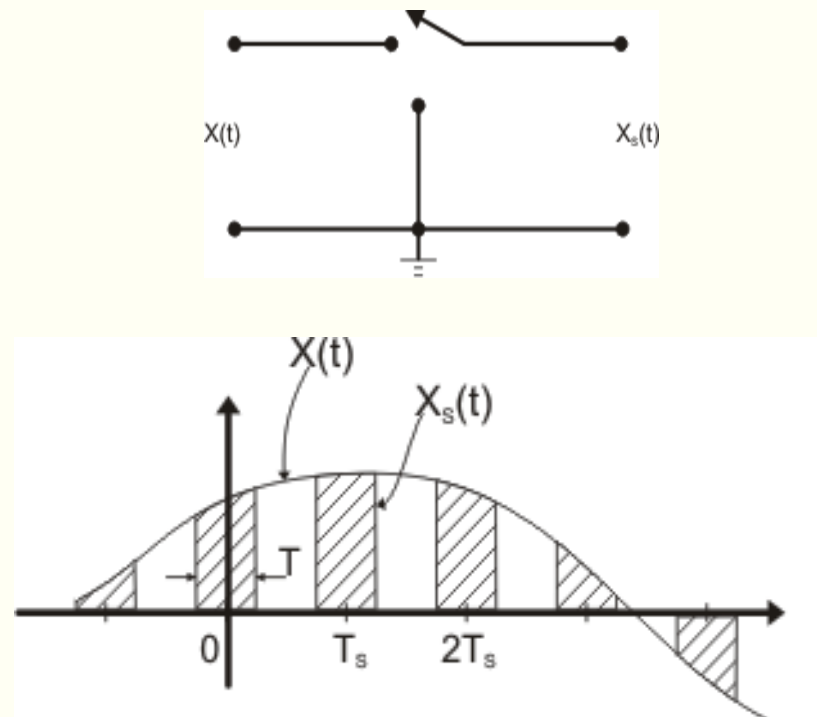
- Generalidades
- Datos analógicos – señal analógica
- Datos digitales – señal analógica
- **Datos analógicos – señal digital**
- Datos digitales – señal digital

Datos analógicos – señal digital

- Se transforman los datos analógicos en digitales, mediante un dispositivo llamado *codec*
- Los datos digitales pueden transmitirse:
 - En forma directa, sin procesamiento
 - Codificando los datos (Datos digitales – señal digital)
 - Convirtiendo los datos en señales analógicas, con algún tipo de modulación (Datos digitales – señal analógica)

Datos analógicos – señal digital

Modulación de pulsos: se muestrea la señal moduladora a intervalos regulares; el receptor reconstruye la señal original a partir de dichas muestras.



$$f_s = 1/T_s$$

frecuencia de
muestreo

Datos analógicos – señal digital

Teorema del muestreo

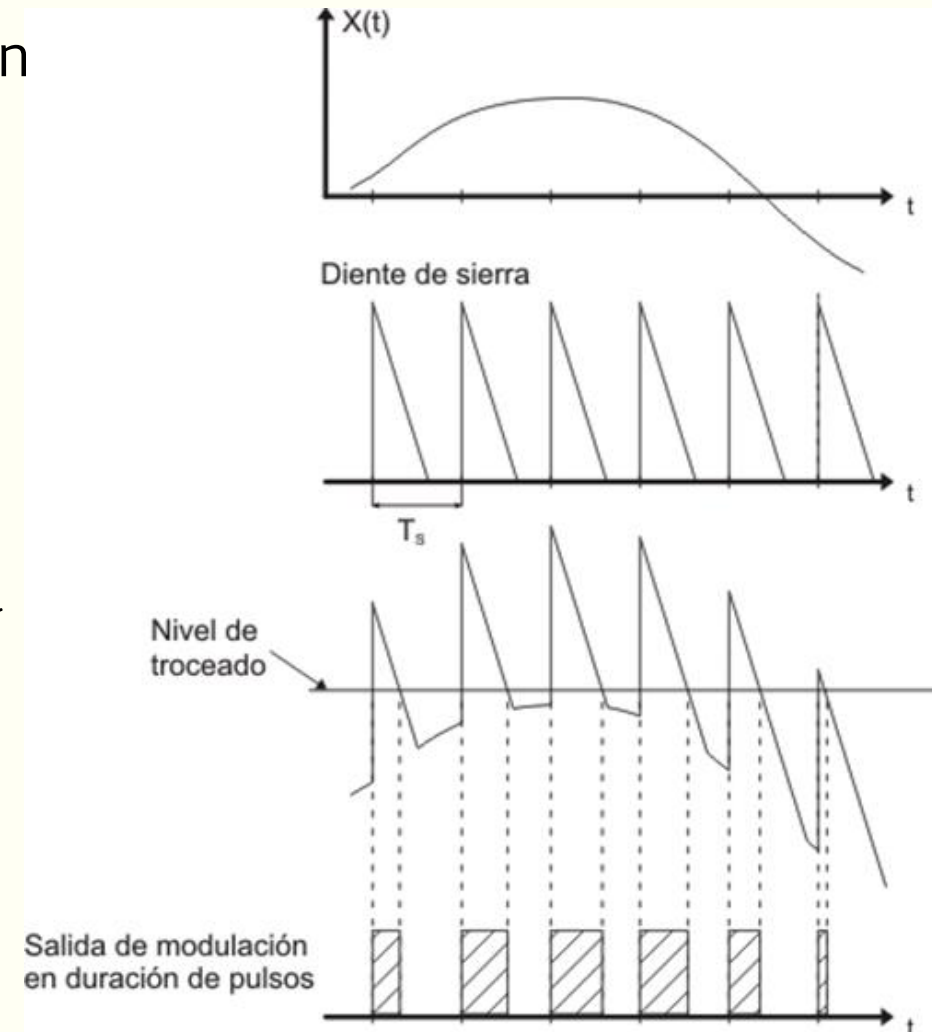
Si una señal es muestreada en el tiempo a intervalos regulares a una frecuencia superior a dos veces la máxima frecuencia de la señal, las muestras contienen toda la información de la señal original.

$$f_s \geq 2 f_{max}$$

Datos analógicos – señal digital

PDM: Modulación de pulsos en duración

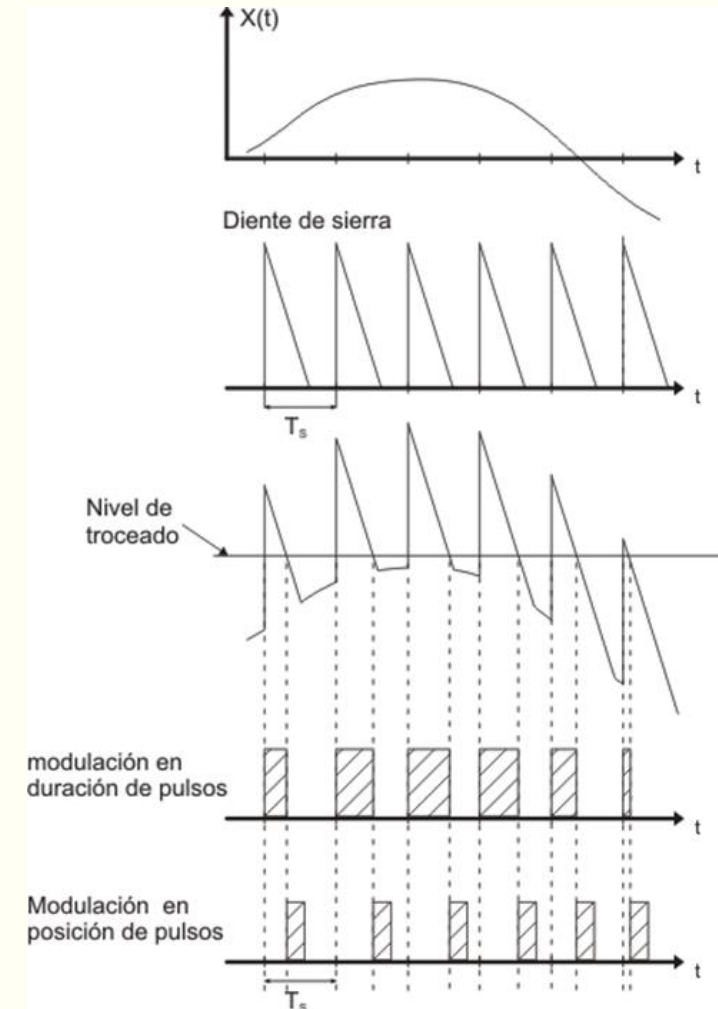
- La duración del pulso es proporcional a la amplitud de la muestra
- La duración de los pulsos de la señal modulada está dada por el tiempo que la señal diente de sierra supera el nivel de muestreo.
- Análisis espectral complicado



Datos analógicos – señal digital

PPM: Modulación de pulsos en posición

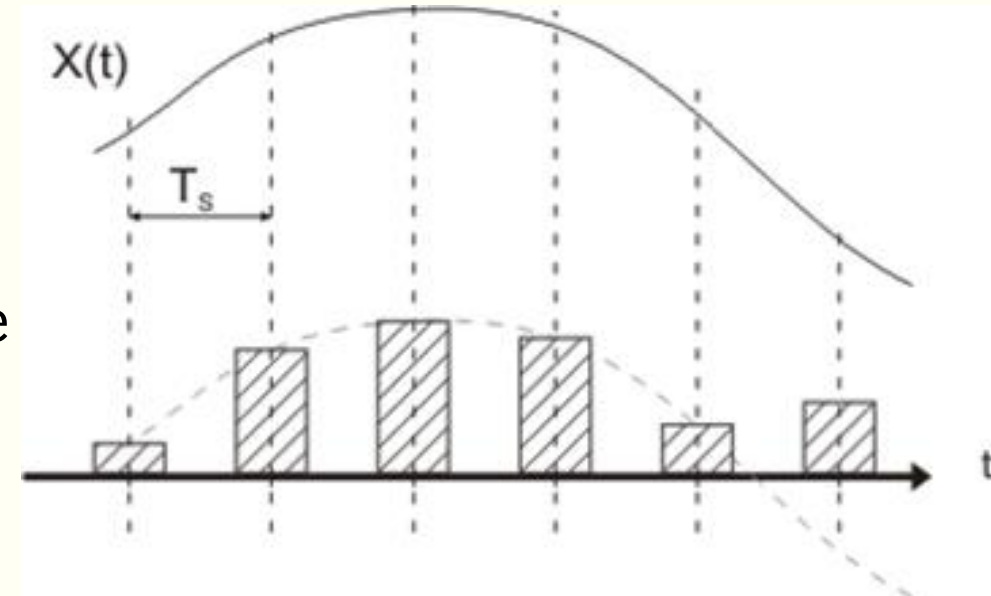
- Se obtiene a partir de PDM
- La duración de los pulsos de la señal modulada es fija
- La información está contenida en la posición del pulso .



Datos analógicos – señal digital

PAM: Modulación de pulsos en amplitud

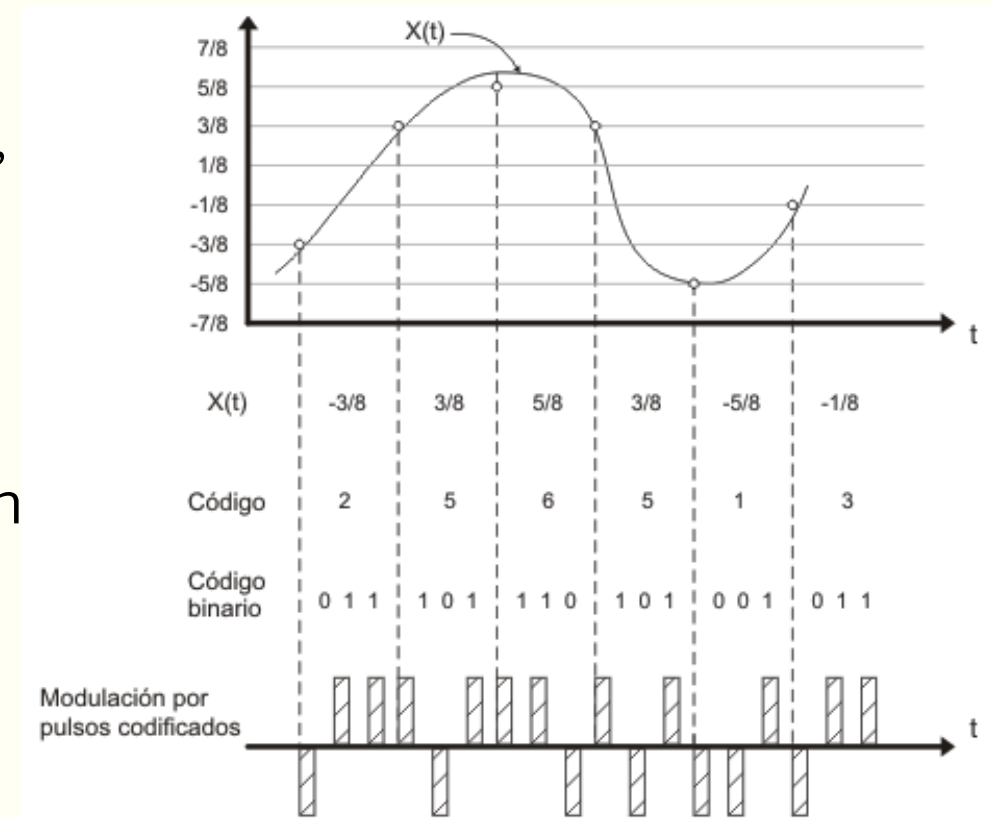
- Es una sucesión de pulsos unipolares, cuyas amplitudes son proporcionales a los valores (muestras) instantáneos del mensaje de datos.



Datos analógicos – señal digital

PCM: Modulación de pulsos codificados

- Se realiza un muestreo de la señal, se cuantifica la misma y se la codifica.
- La cantidad de niveles de cuantificación depende de la cantidad de bits que se empleen en la codificación



Datos analógicos – señal digital

PCM: Modulación de pulsos codificados

Pasos de la cuantificación:

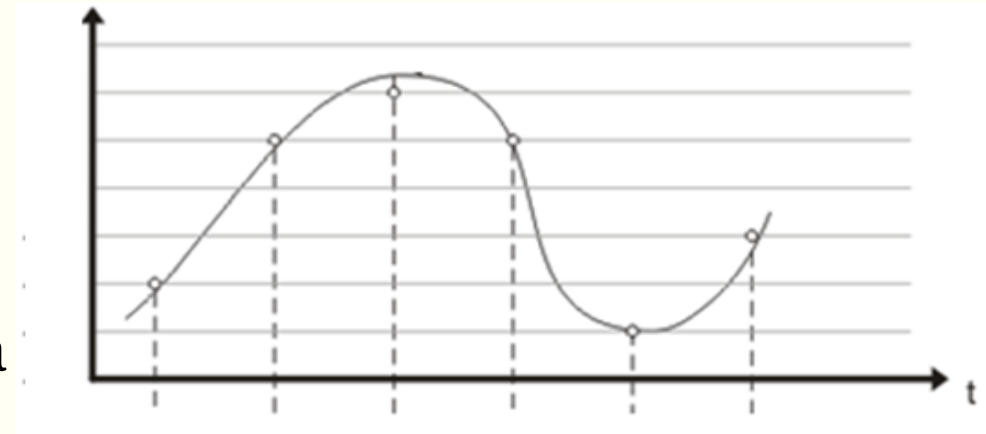
- Suponer que la señal varía entre V_{min} y V_{max}
- Se divide el rango en L zonas, cada una de amplitud Δ :

$$\Delta = \frac{V_{max} - V_{min}}{L}$$

- Se asignan valores cuantificados entre 0 y $L-1$ a cada zona
- Se aproxima el valor de la amplitud de la muestra a los valores cuantificados y se le asigna un código de $\log_2(L)$ bits

$L-1$

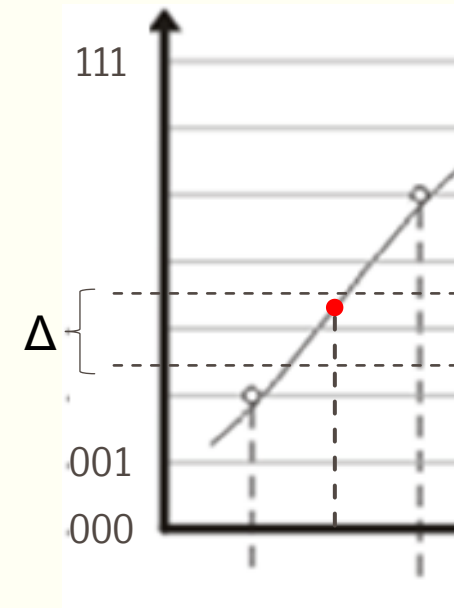
0



Datos analógicos – señal digital

PCM: Modulación de pulsos codificados

- La cuantificación es un proceso de aproximación
- Al muestrear, se elige el valor cuantificado más próximo.
- Error de cuantificación: es la diferencia entre el valor real de la señal y el valor cuantificado elegido:
 $\Delta/2 \leq \text{error} \leq \Delta/2$



$$SNR_{dB} = 6,02 n_b + 1,76 (dB)$$

donde n_b es el número de bits utilizados para codificar cada muestra

Datos analógicos – señal digital

- Ejemplo: ¿Cuál es la velocidad de transmisión de una comunicación telefónica digitalizada utilizando PCM?

Canal telefónico: $f_{max} = 4 \text{ kHz}$ $f_s \geq 2 f_{max} = 2 \times 4 \text{ kHz} = 8 \text{ ksimb/s}$

Si codifico con 8 bits por muestra: $V = 8 \text{ ksimb/s} * 8 \text{ bits/m} = 64 \text{ kbps}$

$$SNR_{dB} = 6,02 n_b + 1,76 (dB) = 6,02 \times 8 + 1,76 = 49,92 \text{ dB}$$

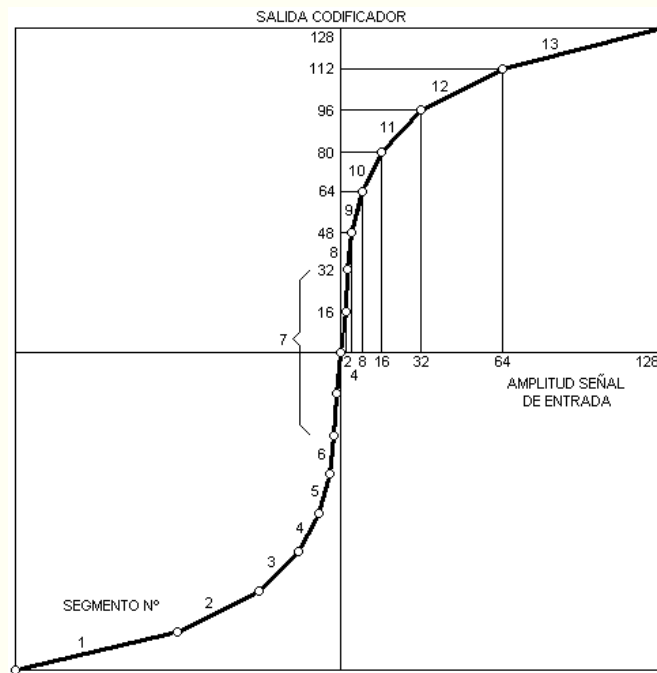
Si codifico con 7 bits por muestra: $V = 8 \text{ ksimb/s} * 7 \text{ bits/m} = 56 \text{ kbps}$

$$SNR_{dB} = 6,02 n_b + 1,76 (dB) = 6,02 \times 7 + 1,76 = 43,9 \text{ dB}$$

Datos analógicos – señal digital

PCM: cuantificación uniforme vs no uniforme

- Hay aplicaciones en que la distribución de la amplitud de la señal no es uniforme
- Por ej., hay señales con mayores variaciones en pequeñas amplitudes que en grandes
- Para esos casos se utilizan zonas no uniformes, Δ variable




G.711 { Ley μ : americana
Ley a: europea

Datos analógicos – señal digital

Teléfono IP: Grandstream GXP1405

Preferred Vocoder:
(in listed order)



choice 1: G.722 (wide band) ↑↓

choice 2: PCMA ↑↓

choice 3: PCMU ↑↓

choice 4: G.722 (wide band) ↑↓

choice 5: G.722 (wide band) ↑↓

choice 6: G.722 (wide band) ↑↓

choice 7: G.722 (wide band) ↑↓

The image shows a Grandstream GXP1405 IP phone on the left. To its right is a configuration menu for 'Preferred Vocoder'. The menu lists seven choices. Choices 2, 3, and 4 are highlighted with a red box. Choice 2 is 'PCMA', choice 3 is 'PCMU', and choice 4 is 'G.722 (wide band)'. All other choices are 'G.722 (wide band)'.

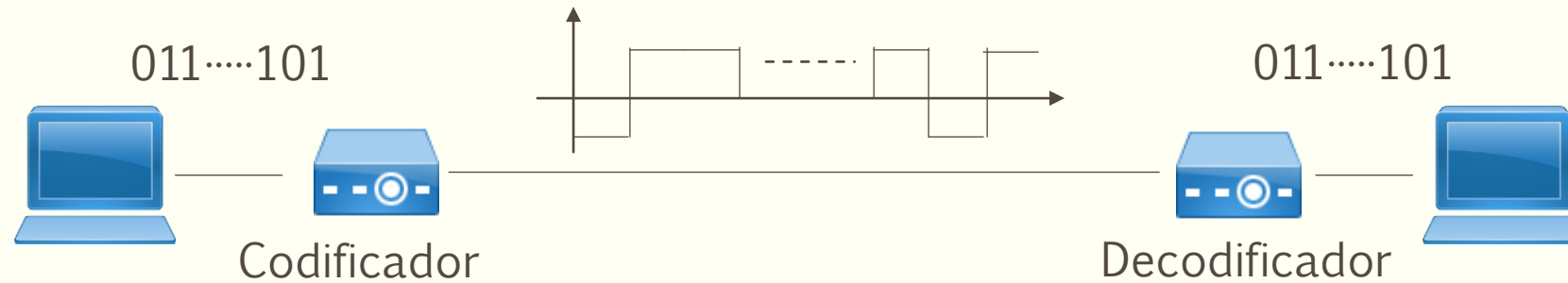
CODIFICACIÓN DE DATOS

- Generalidades
- Datos analógicos – señal analógica
- Datos digitales – señal analógica
- Datos analógicos – señal digital
- **Datos digitales – señal digital**

Datos digitales – señal digital

- Un aumento de la velocidad de transmisión de datos 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: asignación de bits de datos a elementos de señal

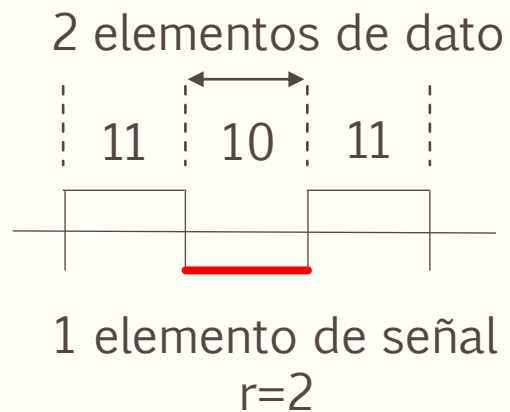
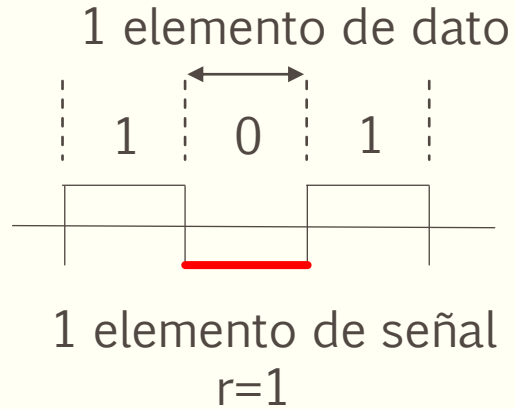
Datos digitales – señal digital



Factores a considerar en esquemas de codificación

- Espectro / componente de continua (DC)
- Reloj / sincronización
- Detección de errores
- Interferencias e inmunidad al ruido
- Costo y complejidad

Datos digitales – señal digital

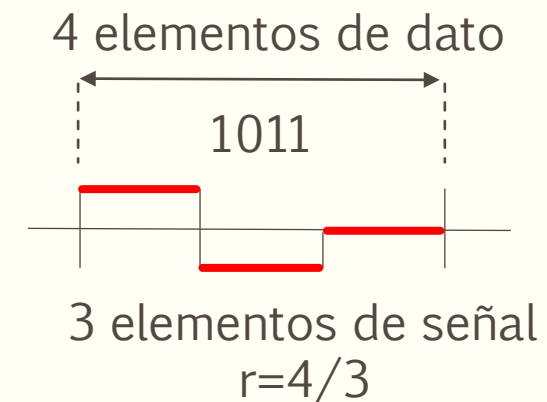
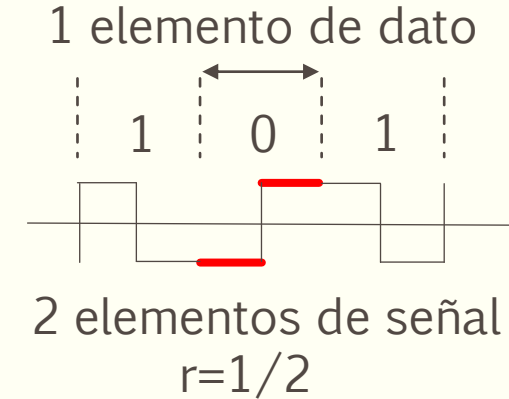


$$r = \frac{\text{elemento de dato}}{\text{elemento de señal}}$$

Esquema de codificación:
correspondencia entre
bits de datos y elementos
de señal

$$S = N/r$$

S: velocidad de señal
N: velocidad de datos



Datos digitales – señal digital

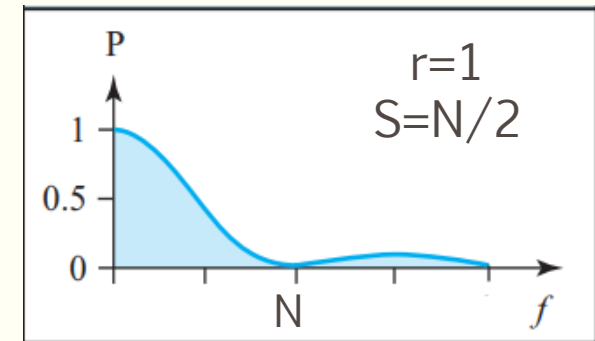
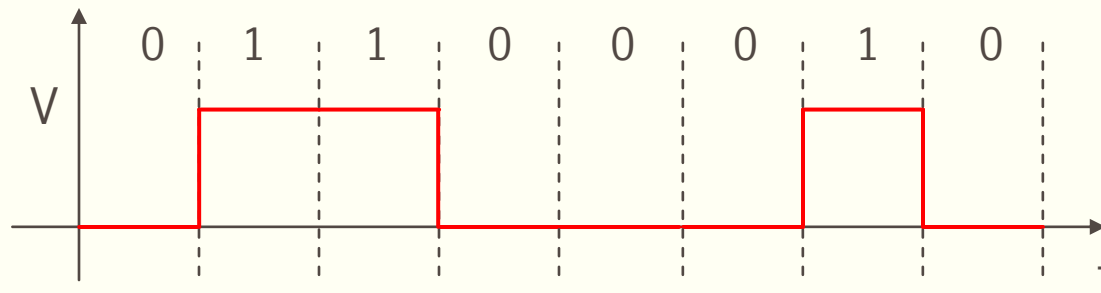
- Códigos de línea
 - Esquema unipolar (NRZ)
 - Esquema polar (NRZ-L, NRZ-I, RZ, Bifase)
 - Esquema bipolar o binario multinivel (AMI, Pseudoternario)
 - Esquema multinivel (2B1Q, 8B6T, 4D-PAM5)
 - Multitransición (MLT-3)
- Códigos de bloque
 - 4B/5B
 - 8B/10B
- Aleatorización
 - B8ZS
 - HDB3

Datos digitales – señal digital

No retorno a cero (NRZ)

- Un nivel de amplitud para cada dígito binario (0 y 1)
- Es sencillo de implementar. Tiene componente de continua y dificultad de sincronización.

NRZ
(unipolar)



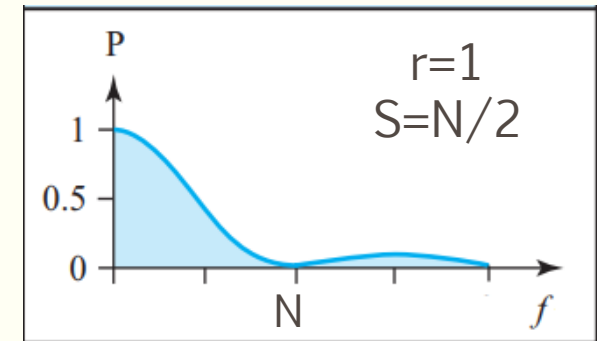
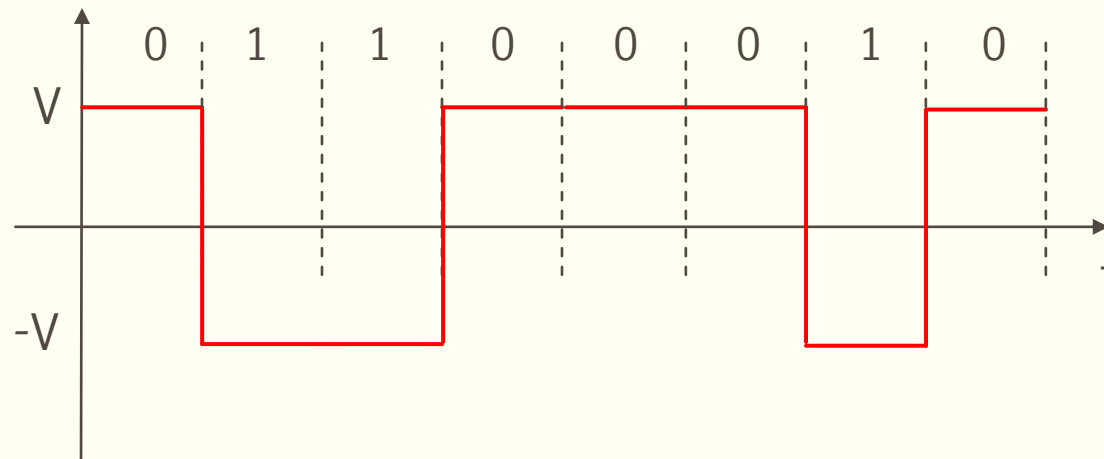
N: velocidad de
transmisión (bps)

Datos digitales – señal digital

No retorno a cero (NRZ-L)

- También se puede representar con un nivel de amplitud positivo para un dígito binario, y un nivel negativo para el otro dígito.
- Un cambio de polaridad genera error de secuencia.

NRZ-L
(bipolar)



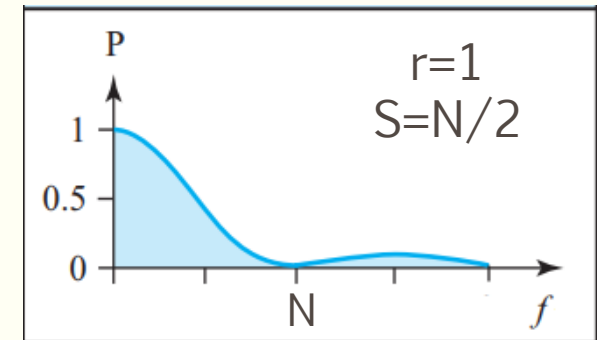
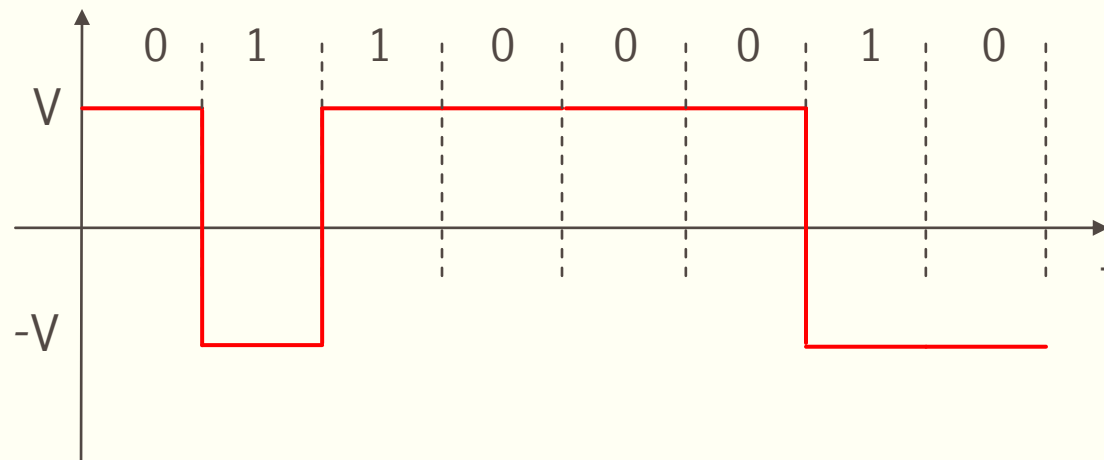
N : velocidad de
transmisión (bps)

Datos digitales – señal digital

No retorno a cero, invertir en unos (NRZ-I)

- Un 1 se codifica como una transición al inicio del bit, mientras que un 0 se codifica como ausencia de transición.
- Es un sistema de codificación diferencial.
- Problema para sincronizar largas cadenas de 0s
- Se utiliza en 100BASE-FX (fibra)

NRZ-I
(bipolar)



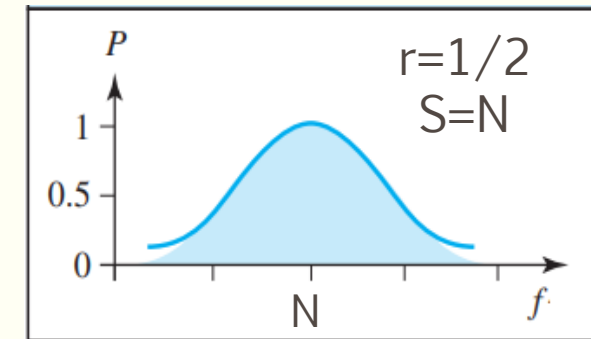
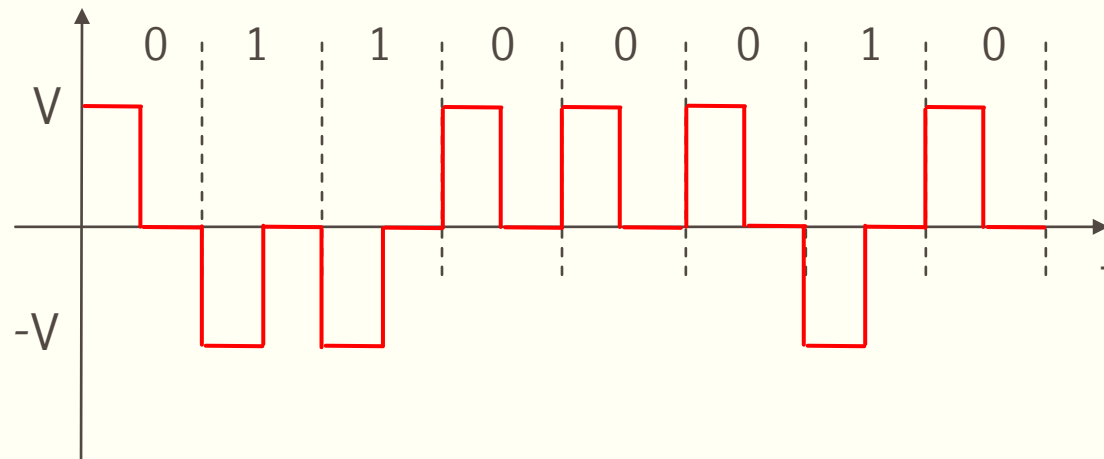
N: velocidad de
transmisión (bps)

Datos digitales – señal digital

Retorno a cero (RZ)

- El nivel de amplitud para cada dígito binario (0 y 1) vuelve a cero en la mitad de cada bit.
- Facilita la sincronización. No tiene componente de continua, pero duplica el ancho de banda. Necesita 3 niveles de amplitud.

RZ
(polar)



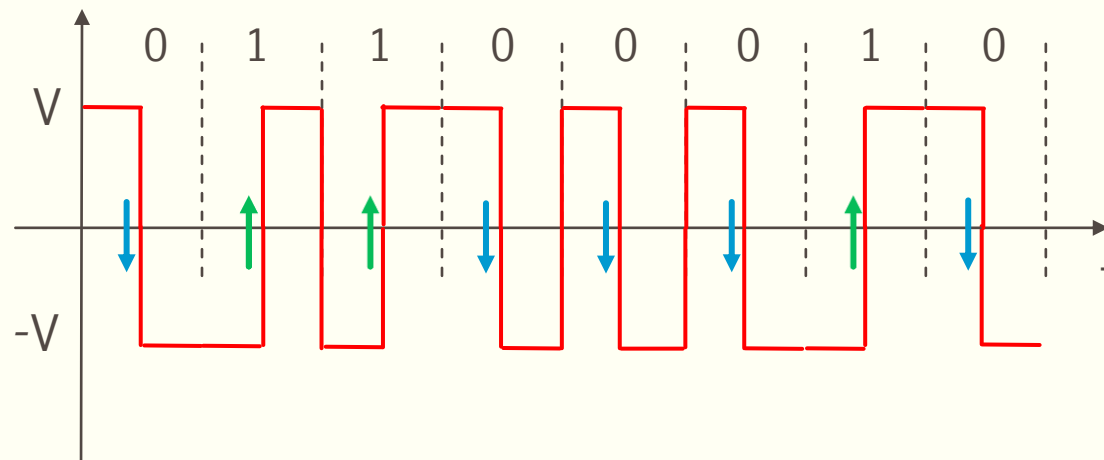
N : velocidad de
transmisión (bps)

Datos digitales – señal digital

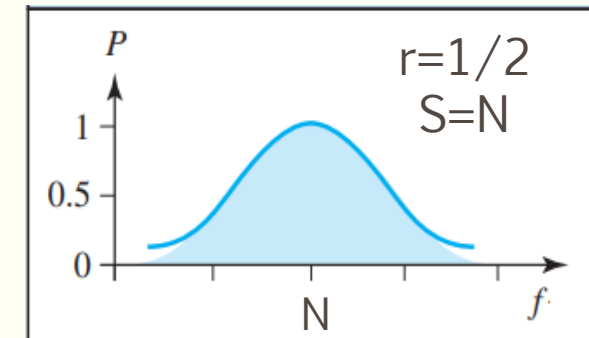
Manchester (bifase)

- Combina la idea de RZ y NRZ-L
- La transición al medio del intervalo determina el bit transmitido. Una transición de alto a bajo representa un 0 (y viceversa).
- Mejora la sincronización, a costa de ancho de banda

Manchester



IEEE 802.3



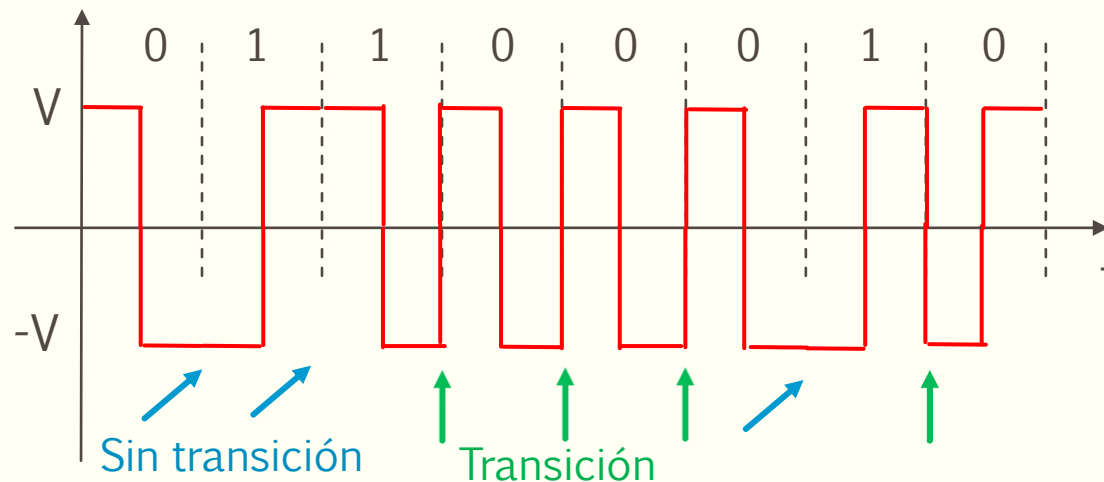
N: velocidad de transmisión (bps)

Datos digitales – señal digital

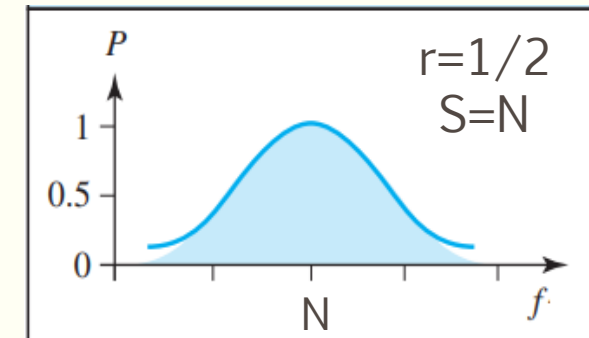
Manchester diferencial

- Combina la idea de RZ y NRZ-I
- La transición al medio del intervalo es sólo para sincronización.
- El dato está en la transición (o ausencia) al comienzo del bit.
- Independiente de la polaridad.

Manchester



IEEE 802.5

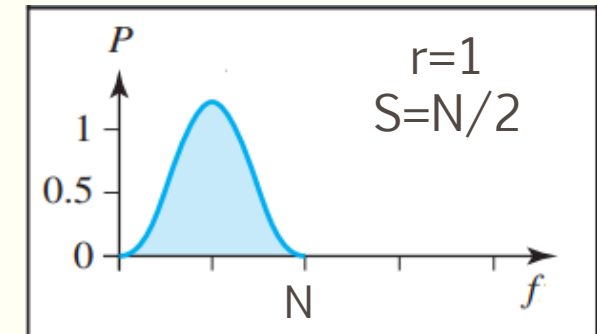
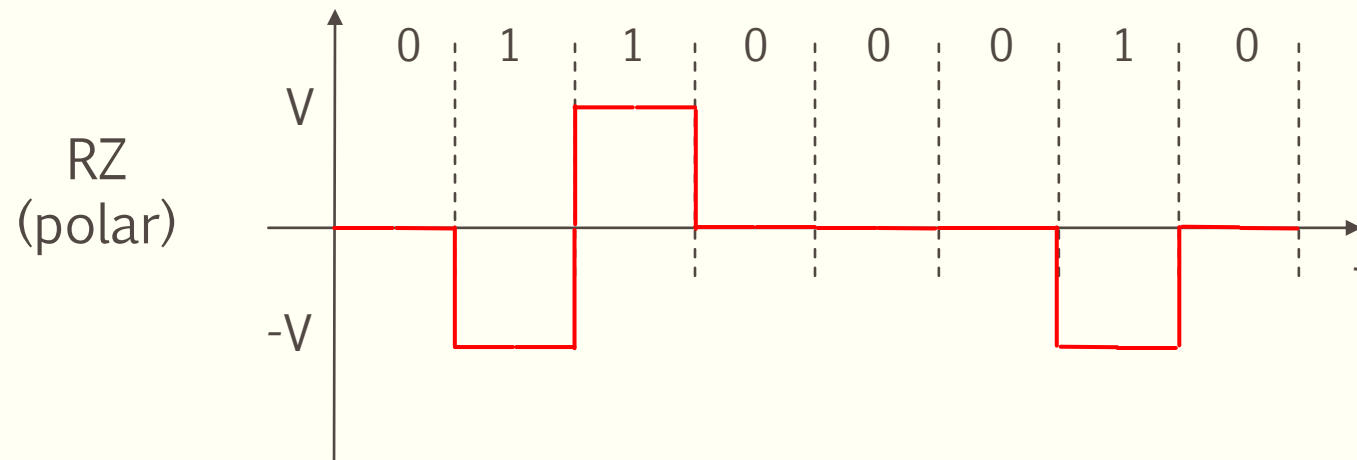


N : velocidad de transmisión (bps)

Datos digitales – señal digital

Inversión de marca alternada (AMI)

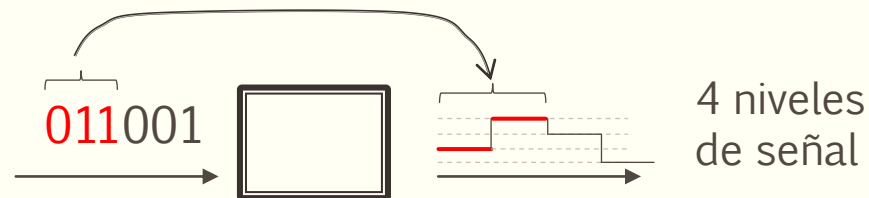
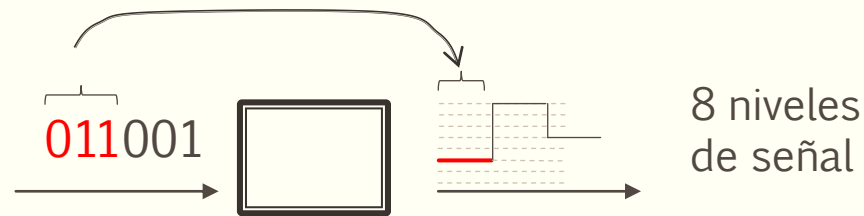
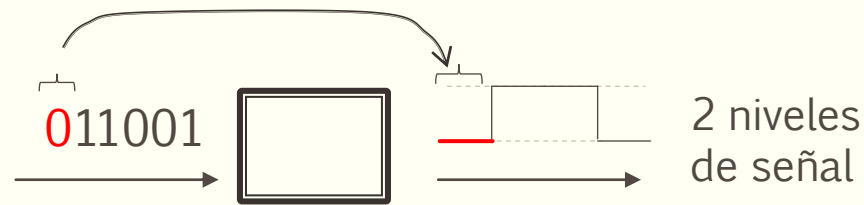
- Un 0 binario se representa como ausencia de señal y un 1 binario como una amplitud que alterna entre positiva y negativa.
- No tiene componente de continua y el ancho de banda es menor que NRZ.
- Problema de sincronización con cadena de 0s
- El pseudoternario invierte las asignaciones de 0 y 1s



N: velocidad de transmisión (bps)

Datos digitales – señal digital

Esquemas multinivel



- Se codifica un patrón de m elementos de datos en un patrón de n elementos de señal.

- Existen dos tipos de elementos de datos: 1 y 0. Así, un grupo de m elementos de datos puede generar 2^m patrones de datos.

- En los elementos de señal, si tenemos L niveles diferentes, entonces podemos producir L^n combinaciones de patrones de señal.

Datos digitales – señal digital

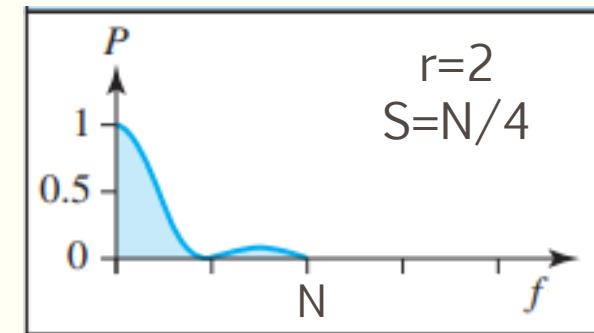
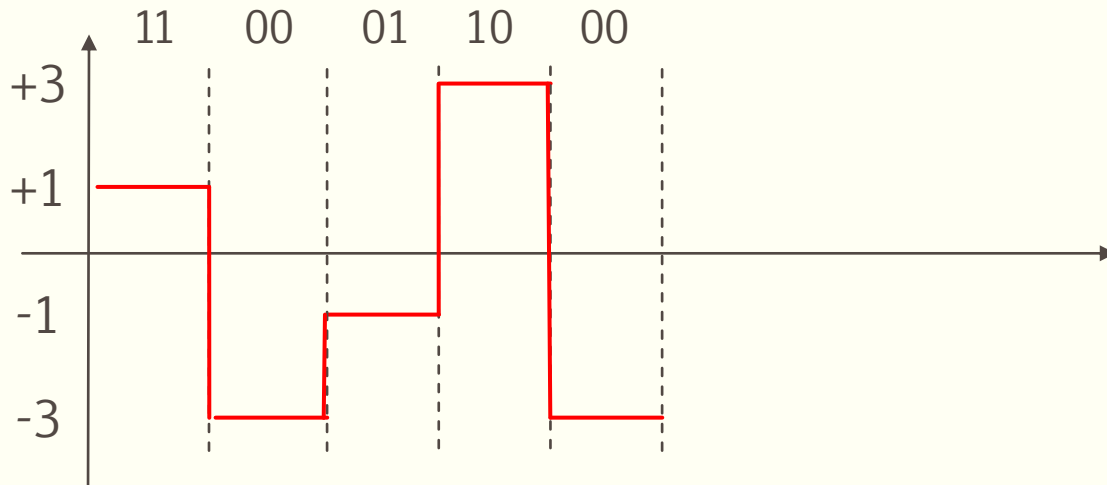
Esquemas multinivel

- Se pueden dar las siguientes posibilidades:
 - $2^m = L^n$: Cada patrón de datos es codificado con un patrón de señal
 - $2^m < L^n$: los patrones de datos son un subconjunto de patrones de señal. Puedo elegir los patrones de señal para conseguir algún beneficio (sincronización, balanceo de DC, robustez ante errores, etc)
 - $2^m > L^n$: no es posible codificar ya que algunos patrones de datos no podrán asignarse a un único patrón de señal
- Los códigos se designan como: mBnL
 - m : longitud del patrón de datos binario
 - B : datos binarios
 - n : longitud del patrón de señal
 - L : número de niveles de señal

	$\left\{ \begin{array}{l} B : \text{binario} \\ T : \text{ternario} \\ Q : \text{cuaternario} \end{array} \right.$
--	--

Datos digitales – señal digital

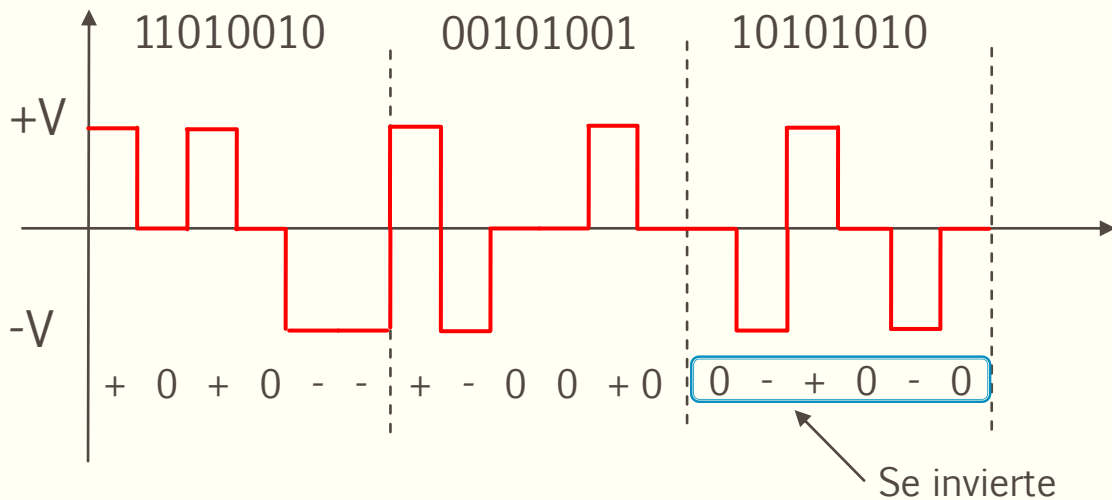
Multinivel 2B1Q



- Codifica 2 bits en un elemento de señal cuaternaria
- Se consigue el doble de velocidad respecto de NRZ-L
- No hay señales redundantes
- Se utiliza en HDSL

Datos digitales – señal digital

Multinivel 8B6T

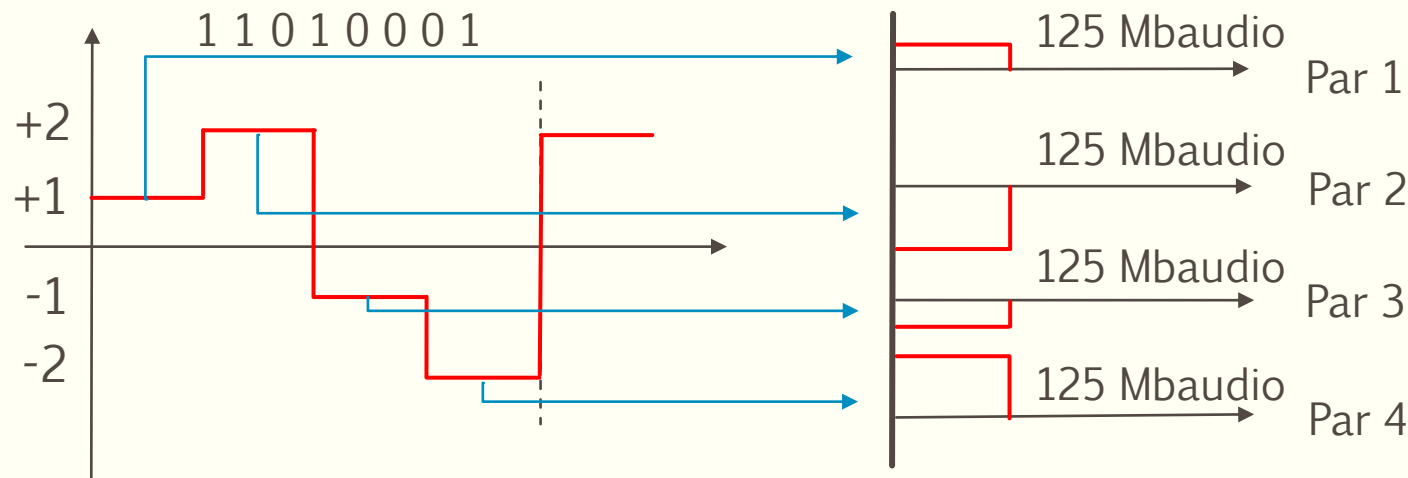


- Codifica 8 bits en 6 elementos de señal ternarios
- Hay $2^8 = 256$ patrones de datos y $3^6 = 729$ patrones de señal
- Provee sincronización, detección de errores y balanceo de DC
- El ancho de banda aprox. es $6N/8$
- Se utiliza en 100BASE-4T

- Cada elemento de señal tiene un peso de 0 o +1 (DC)
- Luego del envío de un grupo con peso +1, el próximo grupo con peso +1 se invierte

Datos digitales – señal digital

Multinivel 4D-PAM5

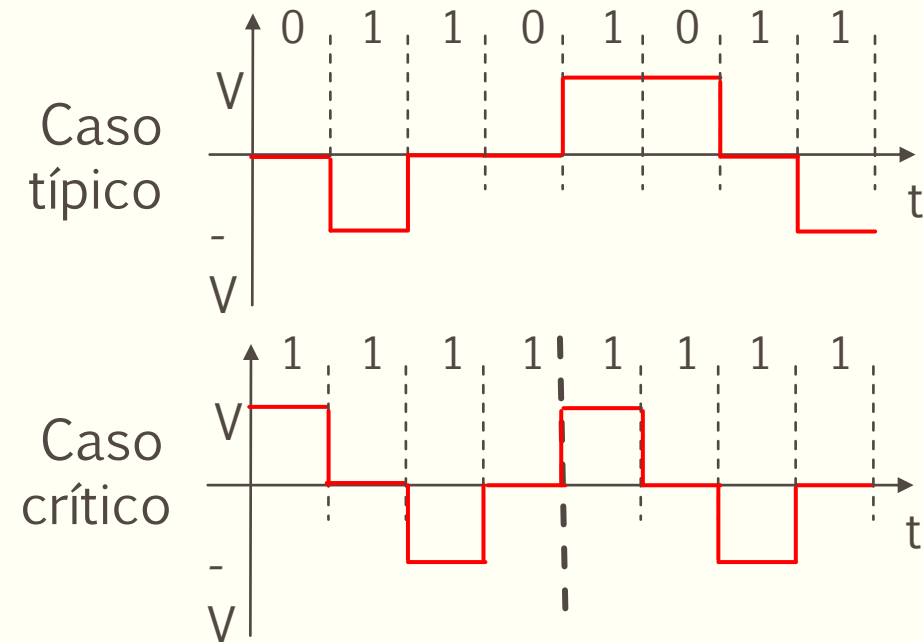
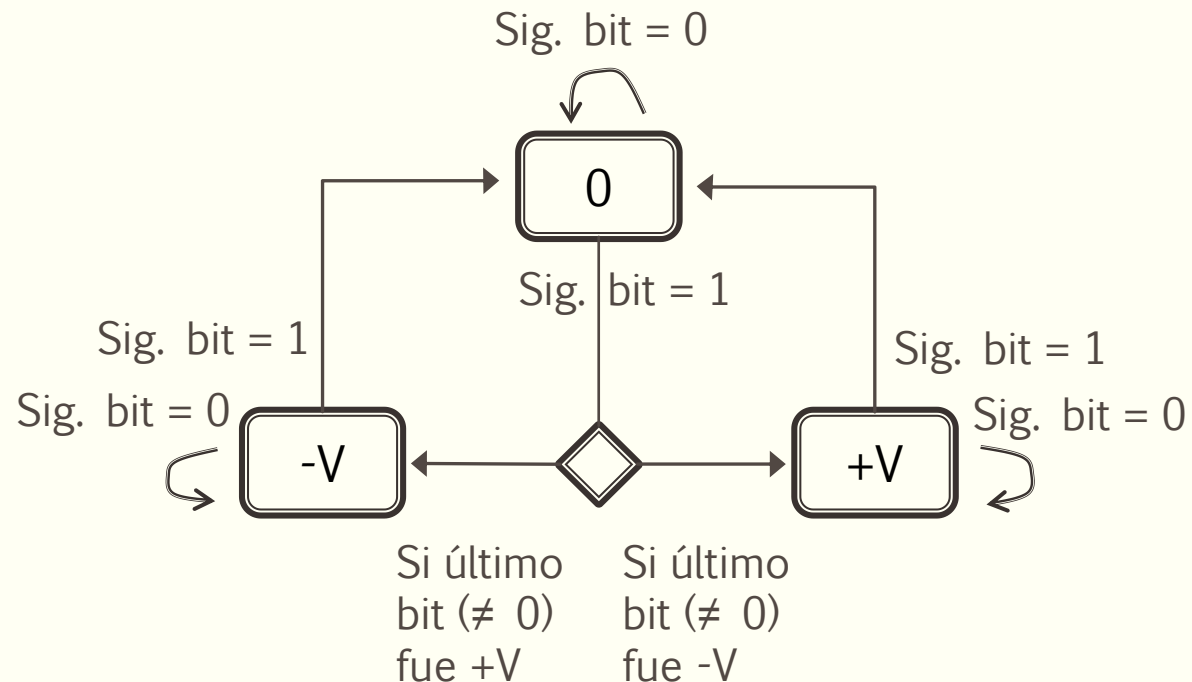


- 4 dimensiones – 5 PAM
- Uno de los niveles de PAM se utiliza sólo para control de errores.
- En una dimensión, se asemeja a un 8B4Q, que equivale a $N/2$ baudios
- Por cada par se puede enviar $N/8$ baudios
- Se utiliza en Gigabit Ethernet, donde 1 baudio = 2 bps, por lo que se transmite 250 Mbps por cada par

Datos digitales – señal digital

Multitransición MLT-3

- Utiliza 3 niveles y 3 transiciones



- Similar a NRZ-I
- Concentra la energía en $N/3$

Datos digitales – señal digital

Categoría	Esquema	BW	Características
Unipolar	NRZ	$N/2$	Sin sincronización ante cadena de 0s o 1s, DC
Polar	NRZ-L	$N/2$	Sin sincronización ante cadena de 0s o 1s, DC
	NRZ-I	$N/2$	Sin sincronización ante cadena de 0s, DC
	Bifase	N	Auto sincronizante, sin DC, alto BW
Bipolar	AMI	$N/2$	Sin sincronización ante cadena de 0s, DC
Multinivel	2B1Q	$N/4$	Sin sincronización ante cadena de mismo doble bit
	8B6T	$3N/4$	Auto sincronizante, sin DC
	4D-PAM5	$N/8$	Auto sincronizante, sin DC
Multitransición	MLT-3	$N/3$	Sin sincronización ante cadena de 0s

Datos digitales – señal digital

- Códigos de línea
 - Esquema unipolar (NRZ)
 - Esquema polar (NRZ-L, NRZ-I, RZ, Bifase)
 - Esquema bipolar o binario multinivel (AMI, Pseudoternario)
 - Esquema multinivel (2B1Q, 8B6T, 4D-PAM5)
 - Multitransición (MLT-3)
- Códigos de bloque
 - 4B/5B
 - 8B/10B
- Aleatorización
 - B8ZS
 - HDB3

Datos digitales – señal digital

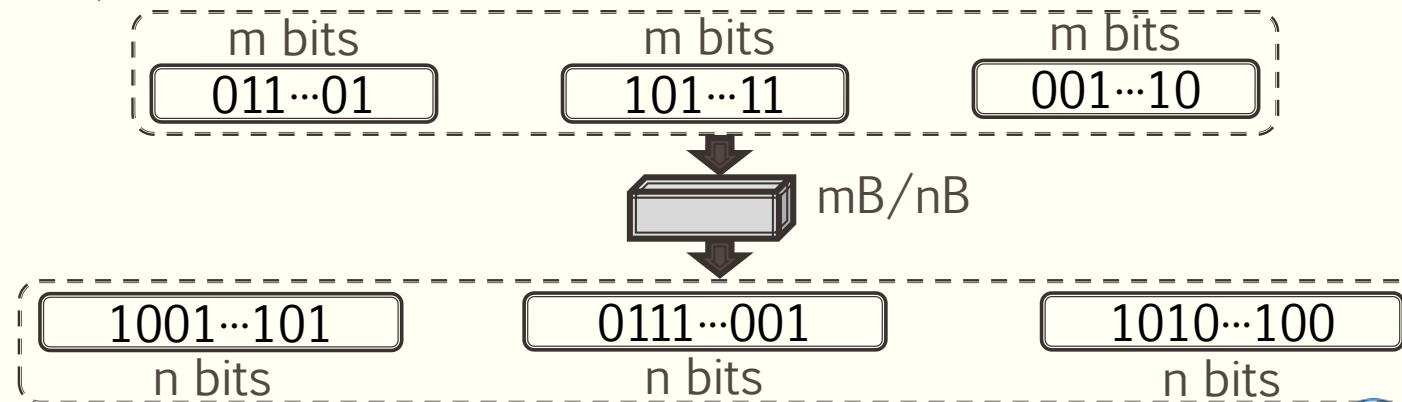
Códigos de bloque

Brindan redundancia que permite mejorar problemas como sincronismo, detección de errores y balanceo de DC.

Se pueden combinar con los códigos de línea para mejorar el desempeño.

Se cambia un bloque de m bits por otro bloque de n bits, donde $m < n$

La codificación por bloques se conoce como mB/nB (la / los distingue de los códigos multinivel)



Datos digitales – señal digital

4B/5B

Se diseñó para combinarse con NRZ-I, para solucionar problemas de sincronización (largas cadenas de 0s)

Los códigos de bloque no poseen mas de tres 0s consecutivos.

El código de salida de 5 bits no posee mas de un 0 al comienzo, ni dos al final.

Requiere una velocidad un 25% mayor, pero es menor a la bifase (Manchester).

No resuelve el problema de DC



Datos digitales – señal digital

4B/5B

<i>Data Sequence</i>	<i>Encoded Sequence</i>	<i>Control Sequence</i>	<i>Encoded Sequence</i>
0000	11110	Q (Quiet)	00000
0001	01001	I (Idle)	11111
0010	10100	H (Halt)	00100
0011	10101	J (Start delimiter)	11000
0100	01010	K (Start delimiter)	10001
0101	01011	T (End delimiter)	01101
0110	01110	S (Set)	11001
0111	01111	R (Reset)	00111
1000	10010		
1001	10011		
1010	10110		
1011	10111		
1100	11010		
1101	11011		
1110	11100		
1111	11101		

Datos digitales – señal digital

- Códigos de línea
 - Esquema unipolar (NRZ)
 - Esquema polar (NRZ-L, NRZ-I, RZ, Bifase)
 - Esquema bipolar o binario multinivel (AMI, Pseudoternario)
 - Esquema multinivel (2B1Q, 8B6T, 4D-PAM5)
 - Multitransición (MLT-3)
- Códigos de bloque
 - 4B/5B
 - 8B/10B
- Aleatorización
 - B8ZS
 - HDB3

Datos digitales – señal digital

Aleatorización

Los esquemas bifase son adecuados para redes LAN, pero no así para larga distancia, debido a su requerimiento de ancho de banda.

Los códigos de bloque combinados con NRZ tampoco son adecuados por su DC.

AMI tiene bajo ancho de banda y sin DC, pero no sincroniza ante larga cadena de 0s.

La idea es sustituir las largas cadenas de 0s con diferentes niveles para sincronizar.

Aleatorización: se realiza simultáneamente con la codificación; no agrega bits.

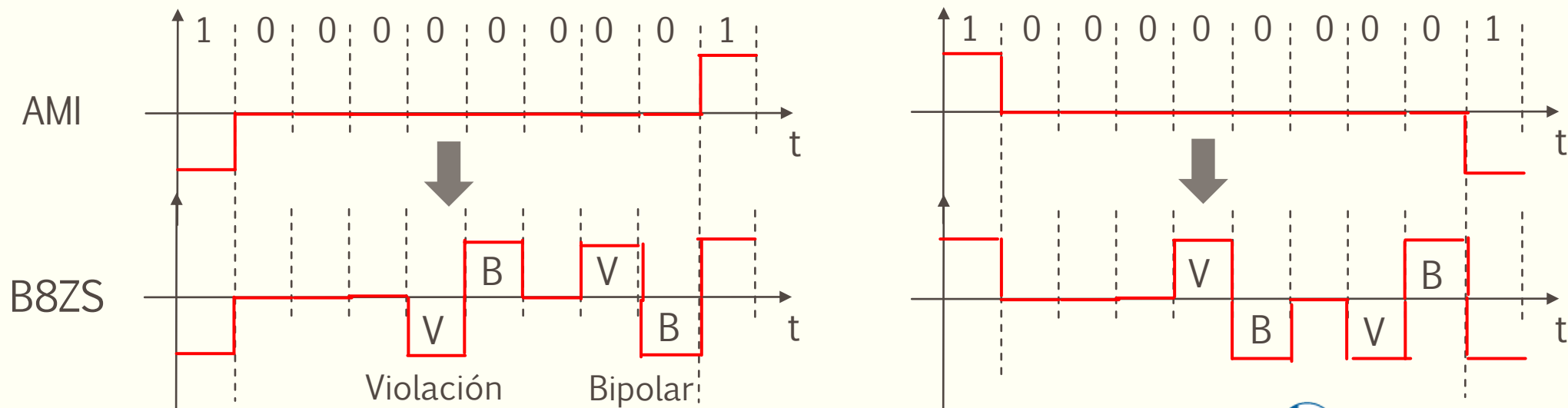
Datos digitales – señal digital

B8ZS

Bipolar con sustitución de 8 ceros (basado en AMI).

Se reemplaza una secuencia de 8 ceros con un código que depende del último valor de tensión distinto de cero; introduce dos violaciones al código y dos 1s en regla.

Mantiene el balance de DC



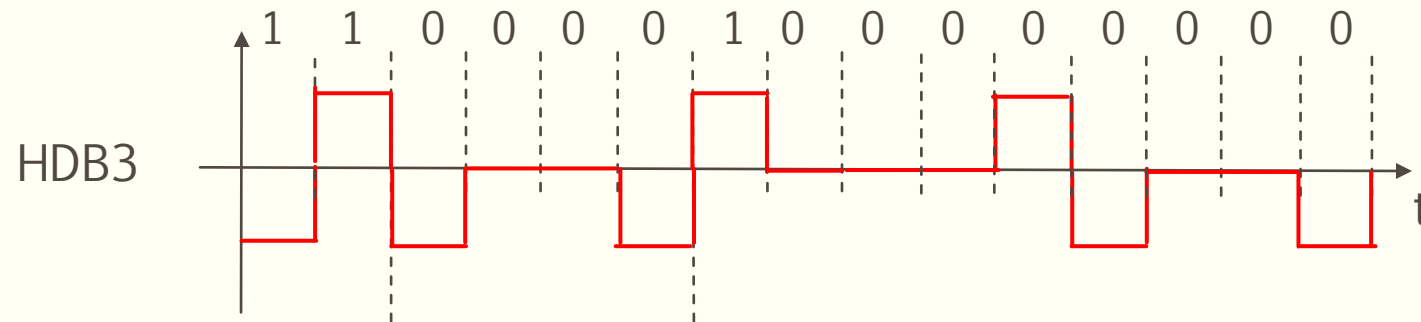
Datos digitales – señal digital

HDB3

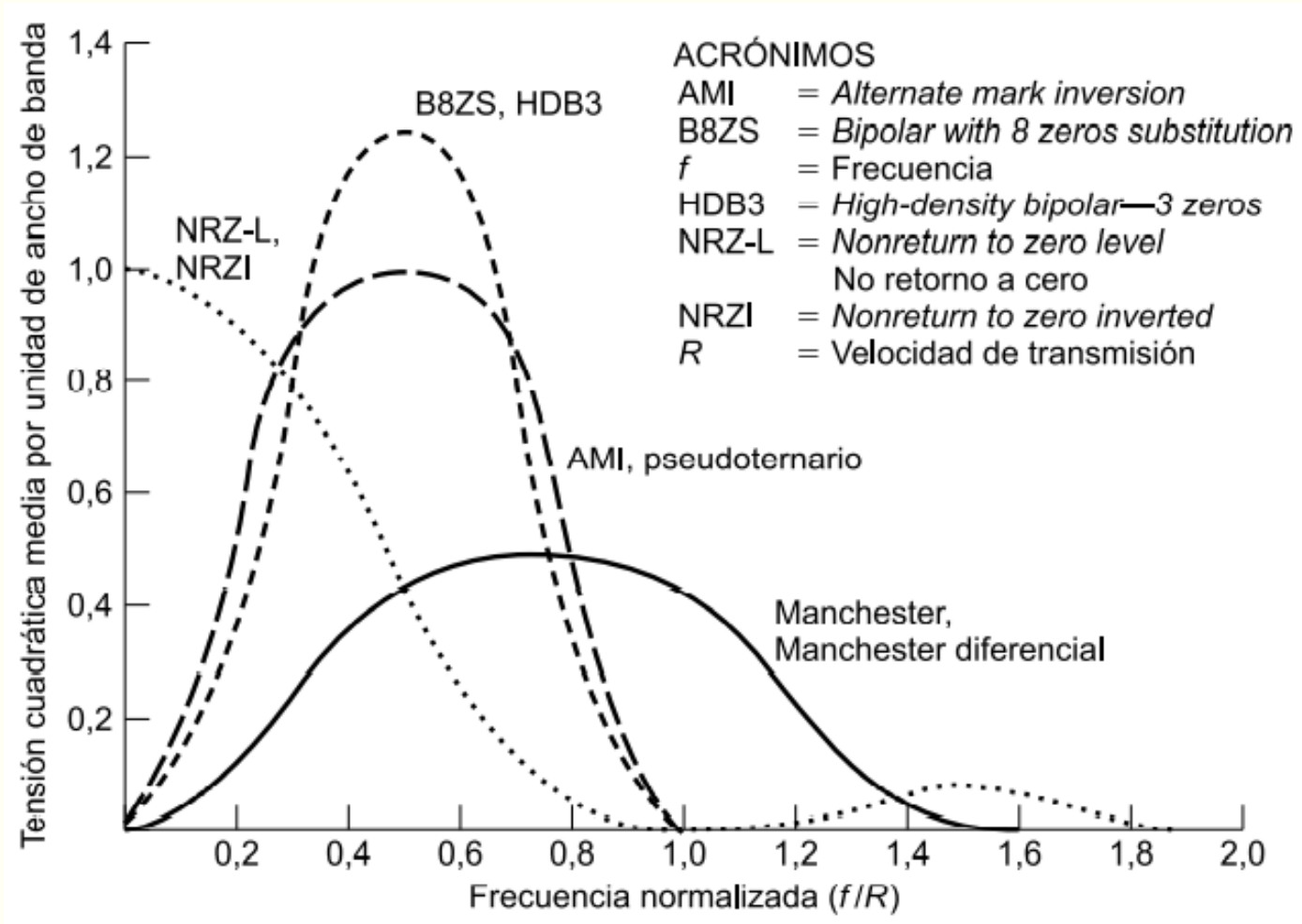
Bipolar de alta densidad de 3 ceros (basado en AMI).

Una secuencia de 4 ceros se reemplaza con un código:

- 000V si la cantidad de 1s desde la última sustitución es impar
- B00V si la cantidad de 1s desde la última sustitución es par



Datos digitales – señal digital



Datos digitales – señal digital

Medio	Veloc/canal	Codificación	Canales	Msimb/canal	Eficiencia	Cable
10BASE-T	10	Manchester	1	20	50%	Cat.3
100BASE-X	100	4B5B+MLT-3	1	125	80%	Cat.5
1000BASE-TX	250	PAM-5	4	125	200%	Cat.5e
10GBASE-T	2500	PAM-16	4	833	300%	Cat.6a
1000BASE-X	1000	8B/10B	1	1250	80%	F.O.
10GBASE-R	10000	64B/66B	1	10312	97%	F.O.
40GBASE-R4	10000	64B/66B	4	10312	97%	F.O.
100GBASE-R4	25000	64B/66B	4	25781	97%	F.O.