

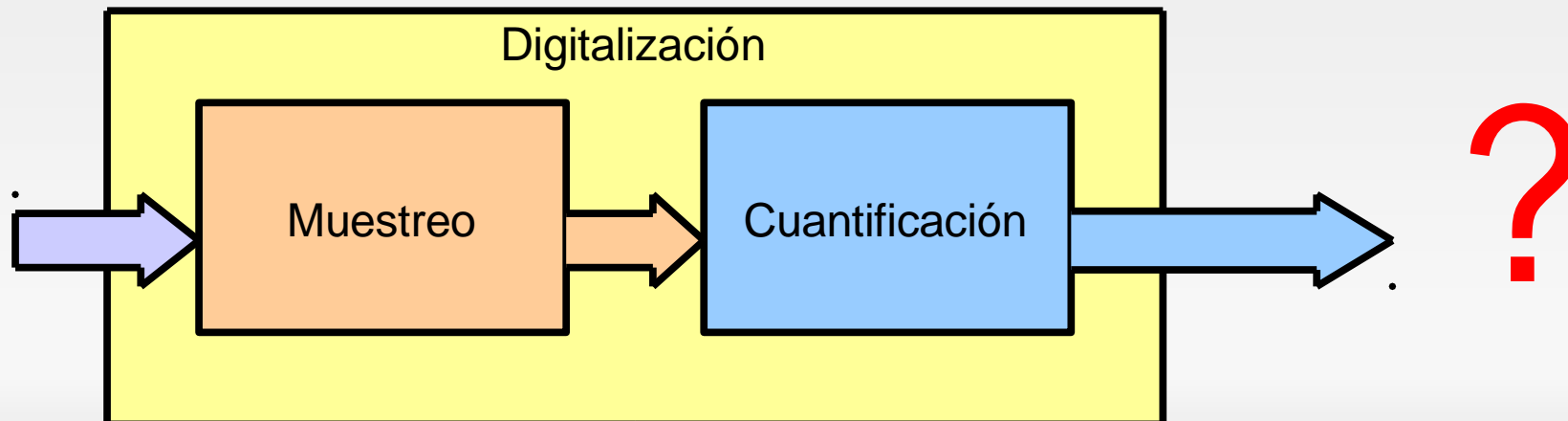
Sistemas de Comunicación Digital

INF2010

Clase 6:
Señalización Digital

Señalización Digital

- Una vez **digitalizada** una señal, el tratamiento pasa por cómo generar una señal que pueda transmitir esa información.
- La gran ventaja de digitalizar es la **cantidad finita de valores** posibles de salida
- Estos valores **conservan toda la información** que se quiere transmitir
- Y permiten **reconstruir** la señal a la salida.



Señalización Digital

- El objetivo ahora es **representar una forma de onda** de manera matemática en múltiples dimensiones.
- Se puede expresar una onda como la **composición** a partir de una serie ortogonal con un número finito de términos (N):

$$w(t) = \sum_{k=1}^N w_k \cdot \phi_k(t), 0 < t < T_0$$

- Con w_k = datos digitales y $\phi_k(t)$, $k=1..N$ como las funciones **ortogonales**.
- Hacen falta, entonces, **N dimensiones** para describir una forma de onda.

Señalización Digital

- Para una fuente binaria de un caracter ASCII, por ejemplo, la tecla X, el código es 0001101.
- N es 7, y $w_1=0$, $w_2=0$, $w_3=0$, $w_4=1$, $w_5=1$, $w_6=0$, $w_7=1$
- Este mensaje se envía en un tiempo T_0 y podemos calcular la velocidad en baudios (símbolos/segundo) como:

$$D = \frac{N}{T_0}$$

donde N es el número de dimensiones utilizadas en el tiempo T_0 segundos.

Señalización Digital

- Ahora, la **velocidad de bit** es:

$$R = \frac{n}{T_0} \left[\frac{\text{bits}}{s} \right]$$

donde n es el número de bits enviados en el tiempo T_0 segundos.

- Cuando los w_k son binarios, $n=N$ y $w(t)$ es una **señal binaria**.
- Cuando los w_k tienen más de dos valores posibles, entonces $w(t)$ es una **señal multinivel**.

Señalización Digital

- Cómo se realiza la **detección de esta señal en el receptor?**
- Como $w(t)$ es una serie ortogonal, se **debe encontrar el coeficiente de cada una de las componentes**, usando Fourier:

$$w_k = \frac{1}{K} \int_0^{T_0} w(t) \phi_k(t) dt, k = 1..N$$

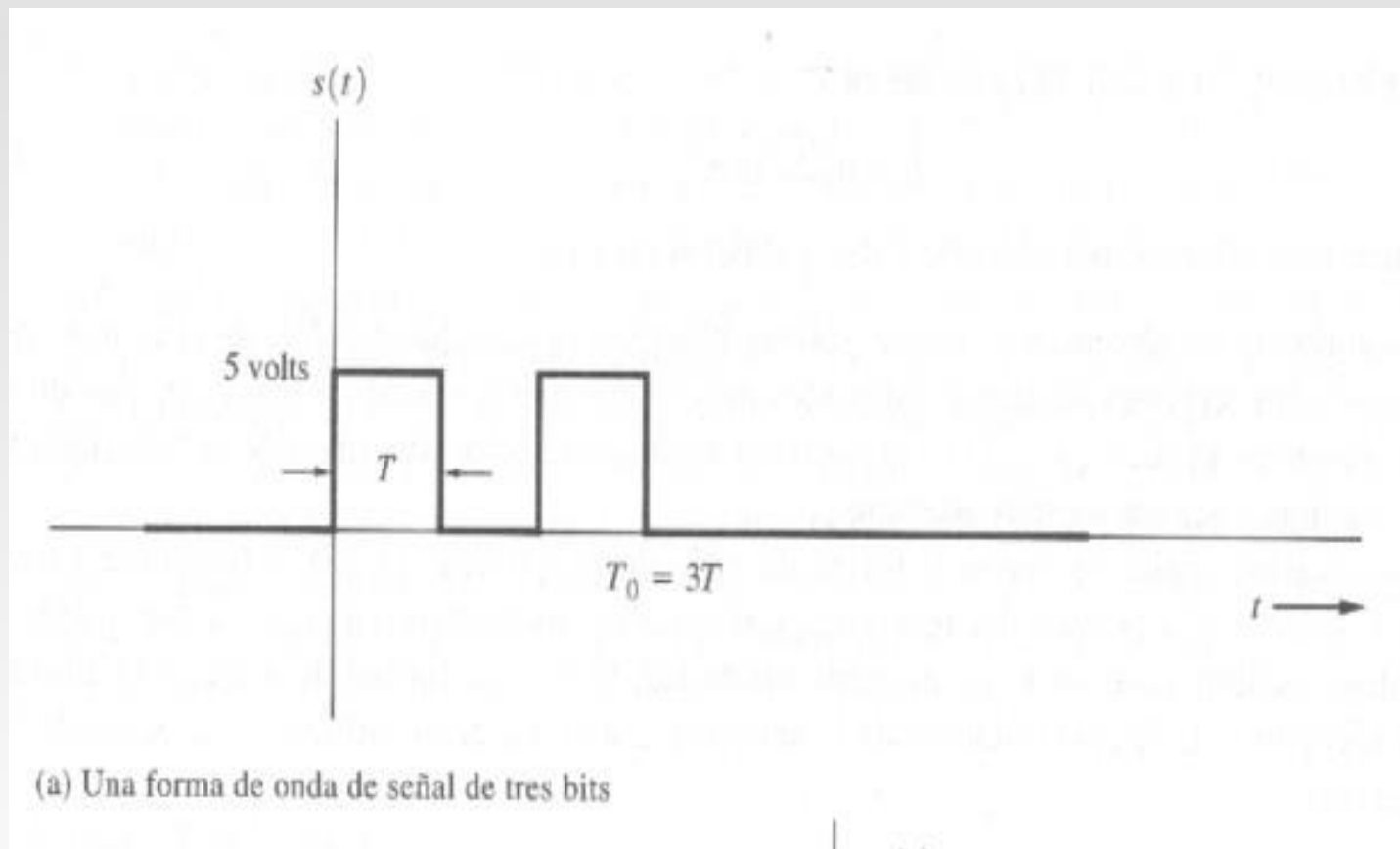
- Para una representación vectorial:

$$\mathbf{w} = \sum_{j=1}^N w_j \phi_j$$

- Donde \mathbf{w} es un **vector de N dimensiones** y ϕ_j es un conjunto **ortogonal de vectores** de N dimensiones.

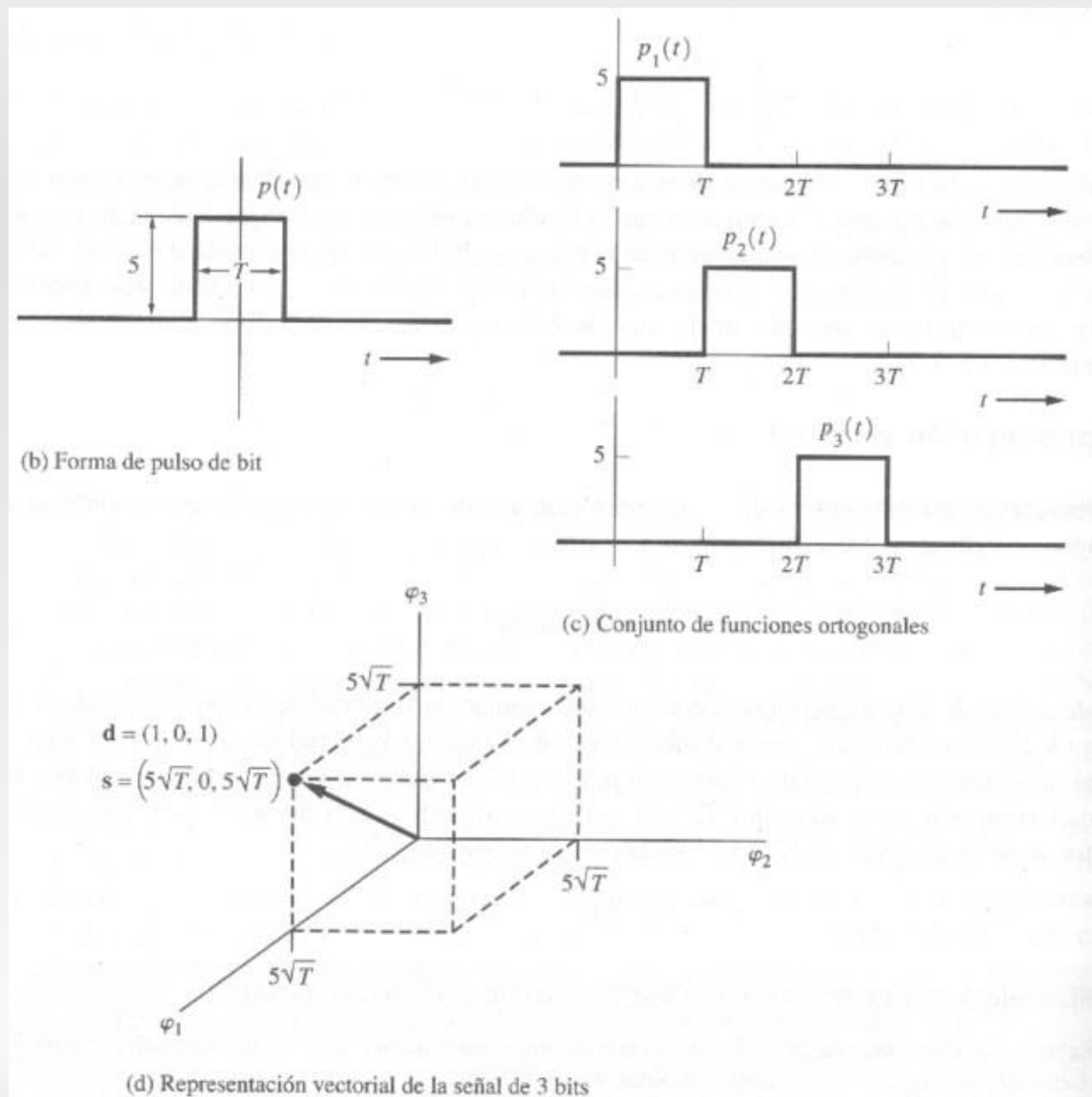
Señalización Digital

- Ejemplo: Supongamos la siguiente forma de onda:



Señalización Digital

- Ejemplo: Nos daría la descomposición:



Estimación de ancho de banda

- Una relación importante de capacidad de los sistemas de comunicación es el producto del **ancho de banda** por el intervalo de **tiempo**:

$$N = 2.B.T_0$$

- Donde N nos da la **cantidad de muestras obtenidas en ese período**.
- Entonces, el ancho de banda de $w(t)$ es:

$$B \geq \frac{N}{2T_0} = \frac{1}{2} D [Hz]$$

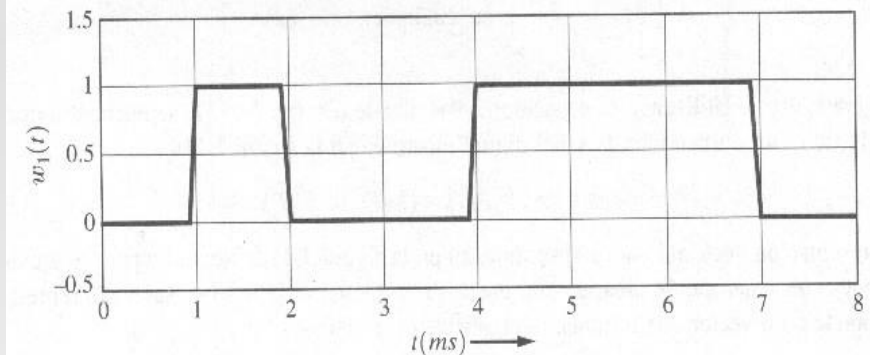
- Y se usa esta ecuación para estimar el **límite inferior de ancho de banda de las señales digitales**.

Señalización Binaria

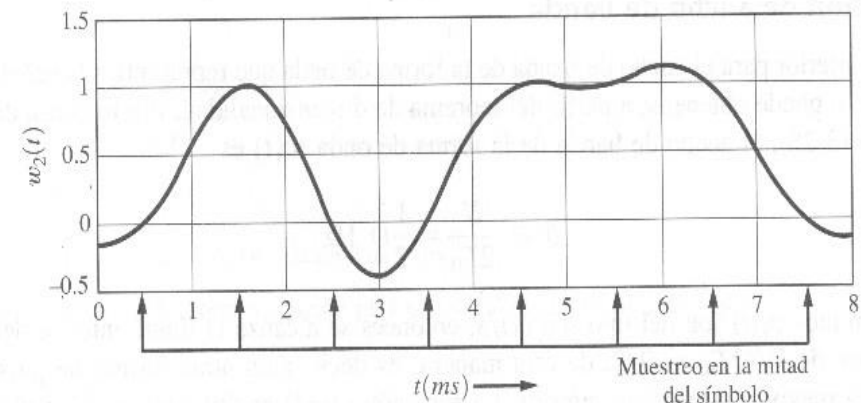
- Ejemplo: Para acercarse al límite inferior del ancho de banda, se utilizan señales del tipo $\text{sen}(x)/x$:

$$\varphi_k(t) = \frac{\text{sen}\left\{\frac{\pi}{T_s}(t - kT_s)\right\}}{\frac{\pi}{T_s}(t - kT_s)}$$

- Y la señal puede recuperarse muestreando en el punto medio de cada intervalo de símbolo.



(a) Forma de pulso rectangular, $T_b = 1 \text{ ms}$



(b) Forma de pulso de $\text{sen}(x)/x$, $T_b = 1 \text{ ms}$

Figura 3-12 Señalización binaria (calculada).

Señalización Multinivel

- Pero el objetivo es reducir el uso del ancho de banda:

- Digitalizando hemos aumentado el ancho de banda utilizado respecto de la señal original.

- Se necesita reducir aún más el ancho de banda. Entonces se puede probar reducir N .

$$B \geq \frac{N}{2T_0} = \frac{1}{2} D [Hz]$$

- Hagamos que los w_k sean $L > 2$ valores posibles.

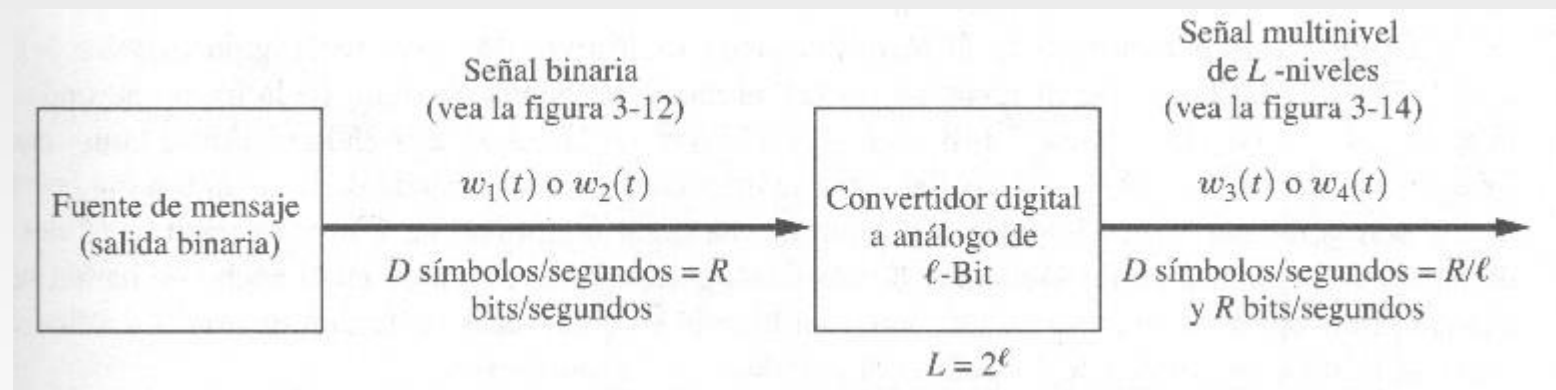
$$\mathbf{w} = \sum_{j=1}^N w_j \phi_j$$

Señalización Multinivel

- Ejemplo: Usando un DAC (Digital->Analog converter); y suponiendo 2 niveles posibles, se puede lograr:

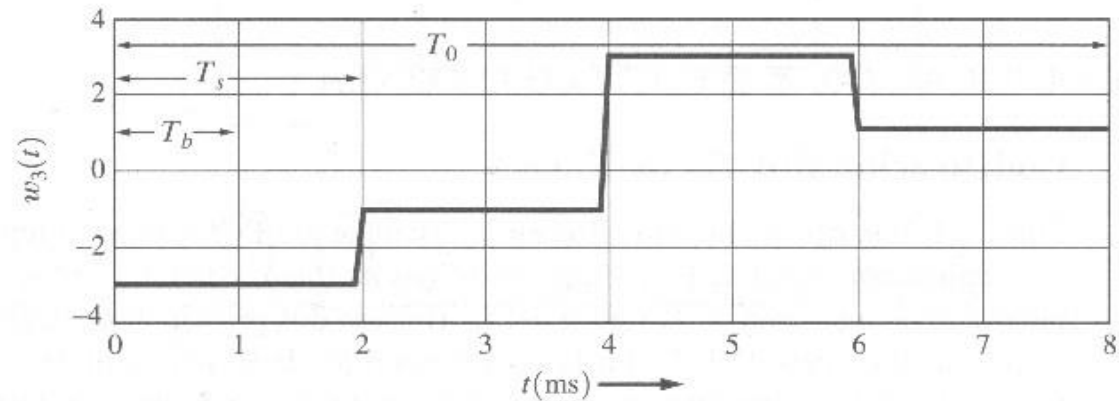
Entrada Binaria	Salida (V)
11	+3
10	+1
00	-1
01	-3

- Por lo tanto, para la palabra de codificación binaria 01001110, Y los niveles son $w_1=-3$, $w_2=-1$, $w_3=+3$ y $w_4=+1$

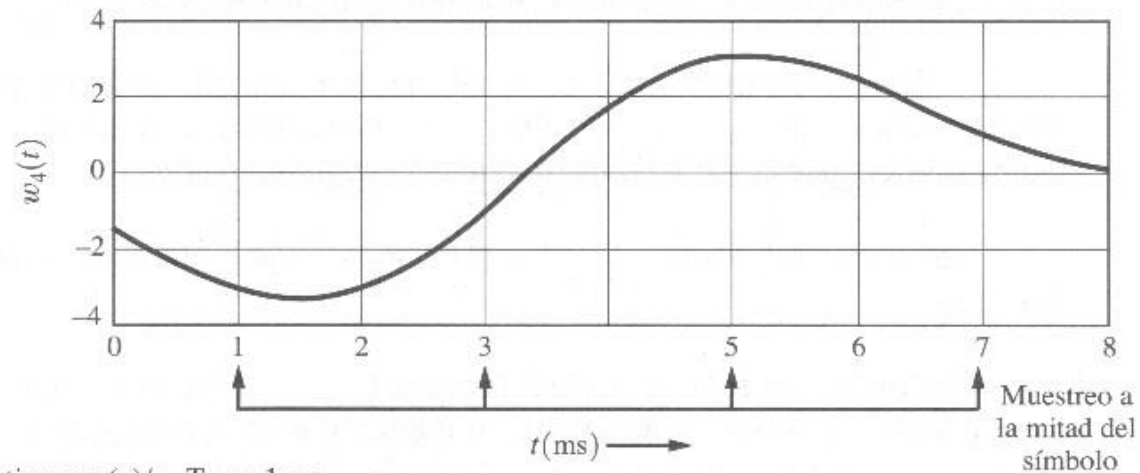


Señalización Multinivel

- Lo que nos da:



(a) Forma de pulso rectangular $T_b = 1$ ms



(b) Forma de pulso de tipo $\text{sen}(x)/x$, $T_b = 1$ ms

Señalización Multinivel

- Entonces, con una señalización multinivel de $\ell=2$ bits por símbolo, dando $L=4$ niveles y $T_s=2\text{ms}$, podemos deducir que la velocidad de bit (R) es:

$$R = \frac{n}{T_0} = \frac{\ell}{T_s} = 1 \text{ [kbit /s]}$$

- Pero ahora la velocidad en baudios (D) es distinta:

$$D = \frac{N}{T_0} = \frac{1}{T_s} = 0.5 \text{ [kbauds]}$$

- Y la relación queda, con $\ell=\log_2(L)$, el número de bits leídos por ciclo de reloj:

$$R = \ell \cdot D$$

Señalización Multinivel

- El ancho de banda de la forma de onda multinivel de pulso rectangular entonces queda:

$$B = \frac{1}{T_s} = D = 500 [Hz]$$

- Y el ancho de banda absoluto de la forma de onda multinivel para pulsos tipo $\sin(x)/x$:

$$B = \frac{N}{2 \cdot T_0} = \frac{1}{2 \cdot T_s} = \frac{D}{2} = 250 [Hz]$$

Señalización Multinivel

- Entonces, con una señalización multinivel de $\ell=2$ bits por símbolo, dando $L=4$ niveles, podemos deducir que:

$$R = \frac{n}{T_0} = \frac{l}{T_s} = 1 \text{ [kbit /s]}$$

- Pero ahora la velocidad en baudios es distinta:

$$D = \frac{N}{T_0} = \frac{1}{T_s} = 0.5 \text{ [kbauds]}$$

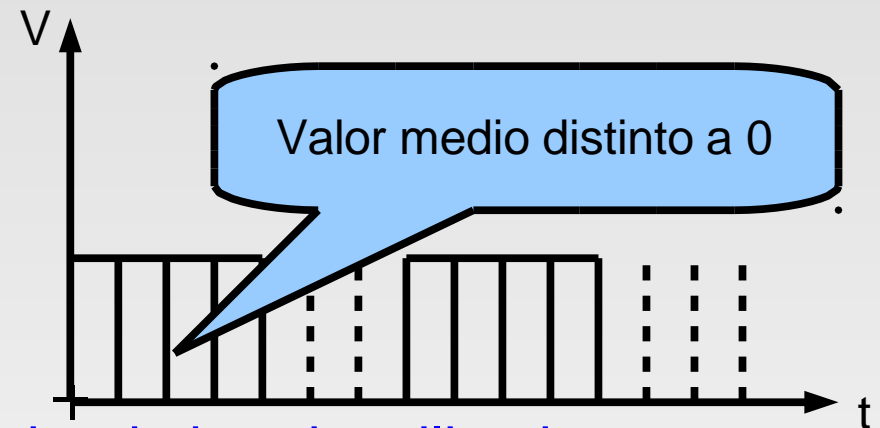
- Y la relación queda, con $\ell=\log_2(L)$, el número de bits leídos por ciclo de reloj:

$$R = l \cdot D$$

Codificación de línea

- Existen dos problemas importantes que hay que resolver con una señal digital para recuperar los bits:

- Pérdida de sincronización
- Consumo de energía



- Pero debemos intentar **reducir el ancho de banda utilizado**
- Tratando de **maximizar la información transmitida**

- Para esto usamos los **Códigos de Línea**

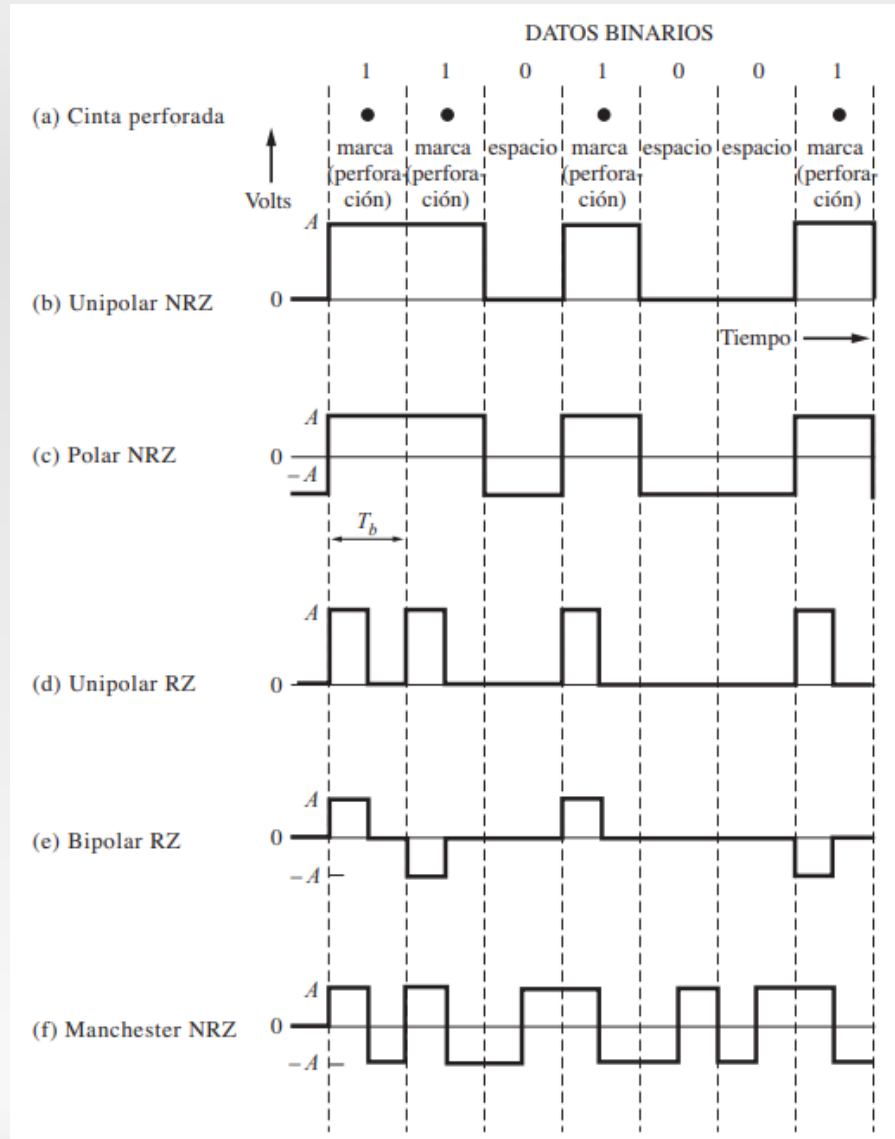
Los 1 y 0 binarios, como aquellos en la señalización PCM, pueden representarse en varios formatos de señalización serial de bit llamados códigos de línea

Codificación de línea

- Un **código de línea es el formato de señalización** con el que se presentan las señales PCM.
- Se pueden clasificar, si éstos **retornan a 0V a mitad de bit (RZ)** o **(NRZ)**.
(RZ: retorno a cero).
- Las formas de onda para los códigos de línea pueden clasificarse aún más de acuerdo a la regla empleada para asignar niveles de voltaje para representar los datos binarios. Algunos ejemplos se presentan a continuación:
- **Unipolar**: Un nivel para el 1 binario (+A [V]) y para el 0 binario, el valor 0 [V], también llamada OOK. (modulación de encendido-apagado).
- **Polar**: Los niveles binarios son niveles de tensión positivos y negativos iguales.
- **Bipolar**: El valor de 1 binario se representa por un valor alternado negativo y positivo. El 0 binario es 0 V. Se denomina también AMI (Altered Mark Inversion)
- **Manchester**: Cada 1 binario es representado por $\frac{1}{2}$ período de bit positivo y $\frac{1}{2}$ período de bit negativo. Para el 0 binario es inverso.

Codificación de línea

- Codificaciones de línea típicas:



Codificación de línea

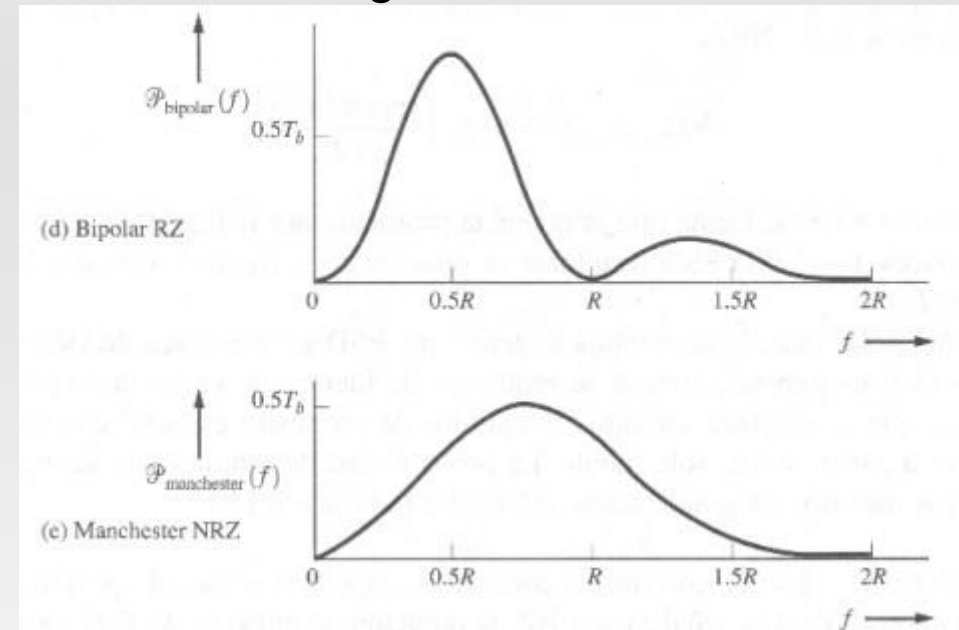
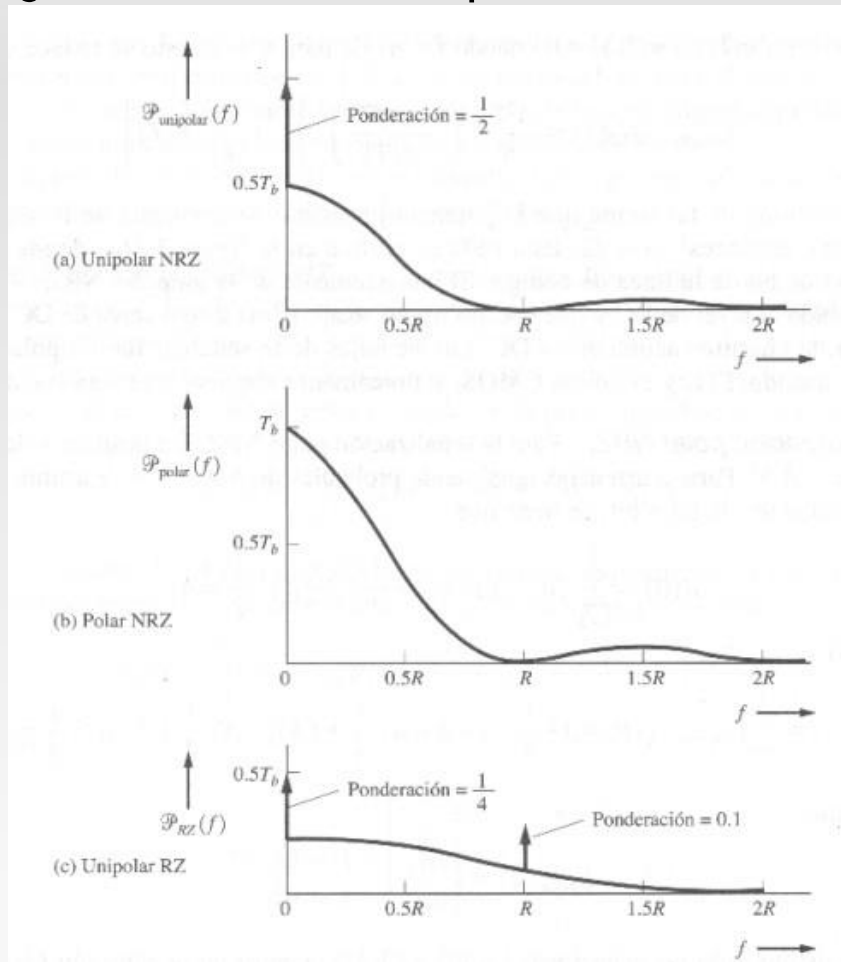
- Existen ventajas y desventajas de cada uno de ellos:
 - Un código NRZ es práctico cuando se alimenta el circuito con una **tensión de alimentación única** (ej: 5[V]) pero **tiene valor de continua**.
 - Un código RZ es práctico cuando se tiene un circuito donde **no se puede enviar señal a frecuencia 0[Hz]**, siempre que sea **balanceada la cantidad de 1s y 0s**.
 - Pero los códigos **RZ requieren que haya una fuente de tensión negativa**, además de la positiva.
 - El **Manchester** sería el ideal, se mantiene un balance de 0[V], pero usa **el doble de ancho de banda que NRZ**.

Codificación de línea

- ¿Qué queremos de los códigos de línea? (Propiedades deseables)
 - **Autosincronización:** Se puede extraer de la misma señal la sincronización de bit.
 - **Baja BER:** Existen ventajas de un codificador a otro cuando se recupera la señal luego de haber sido afectada por el ruido o por interferencia de símbolos consecutivos.
 - **Espectro ajustado al canal:** Si no tiene valores de tensión continua (DC), no hará falta la frecuencia 0[Hz]. Si el ancho de banda es menor al del canal, la interferencia entre símbolos consecutivos será menor.
 - **Ancho de banda:** El mínimo posible.
 - **Capacidad de detección de errores:** Mediante codificadores y decodificadores de canal.
 - **Transparencia:** Que no se envíen caracteres de control en el mismo canal que el de datos, o cuando una secuencia lleva a la pérdida de clock.

Codificación de línea

- ¿Cuáles son los espectros de frecuencia de los códigos de línea?



PSD (Densidad espectral de potencia) para los códigos de línea (se muestran las frecuencias positivas).

PSD: Describe cómo los contenidos de potencia de señales y de ruido se ven afectados por los filtros y otros dispositivos en los sistemas de comunicación.

Codificación de línea

Resumen:

- Una vez digitalizadas las señales, se codifican y se agrupan los bits para aumentar la eficiencia espectral. Esta técnica se denomina *codificación multinivel*
- Se puede determinar así el mínimo ancho de banda requerido para transmitir una señal codificada con forma de onda rectangular
- La codificación de línea permite:
 - Recuperar los bits en el receptor, mejorando la sincronización con la fuente, manteniendo una mínima alternancia en la señal codificada.
 - Y además, minimizar la energía disipada en la línea, reduciendo el ancho de banda utilizado.