

TEMA 3: Sistemas de comunicación



TEMA 3: Sistemas de comunicación

Contenido:

1. Digitalización de señales
2. Sistemas de comunicación digital

Digitalización de señales



Digitalización de señales

Contenido:

1. Representación digital de señales analógicas
2. Concepto de muestreo
3. Teorema de muestreo
4. Ejemplo de muestreo de la señal coseno
5. Cuantificación
6. Codificación



Ejemplo de muestreo de la señal coseno

Muestreo en tiempo

Representación
de la operación
de muestreo en
el dominio del
tiempo

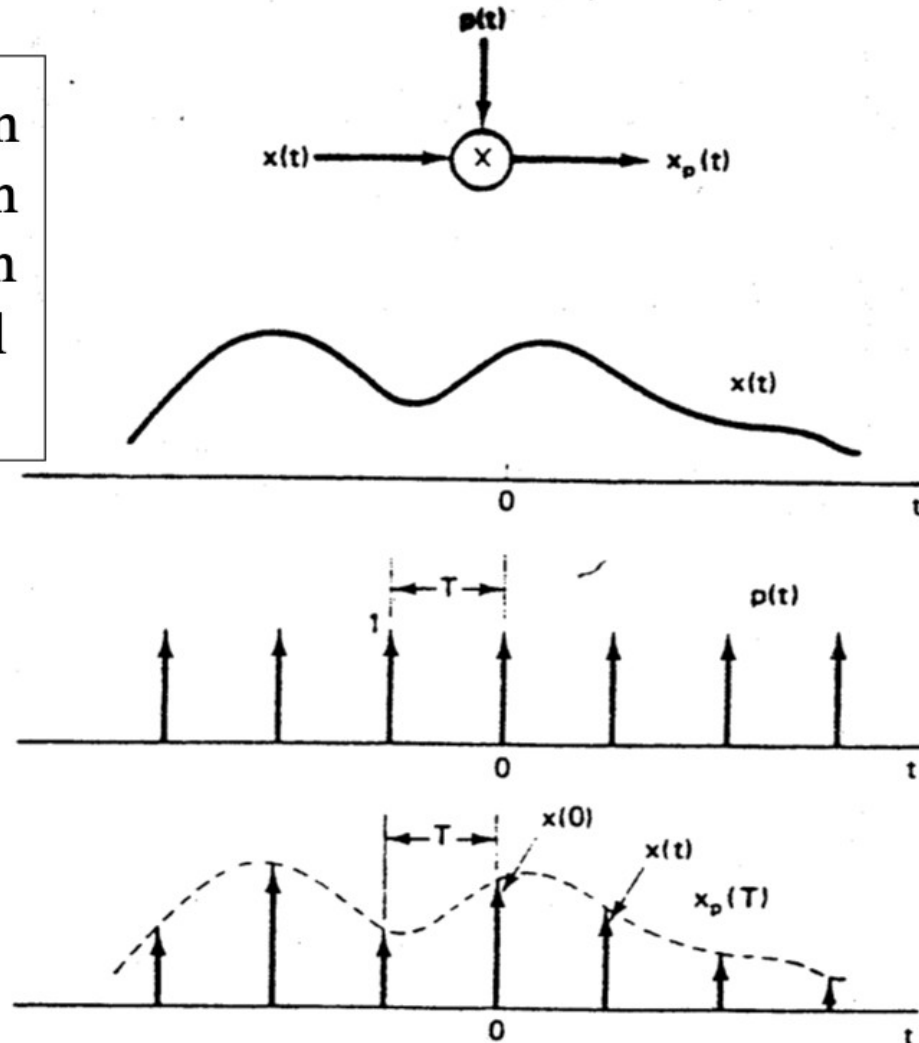
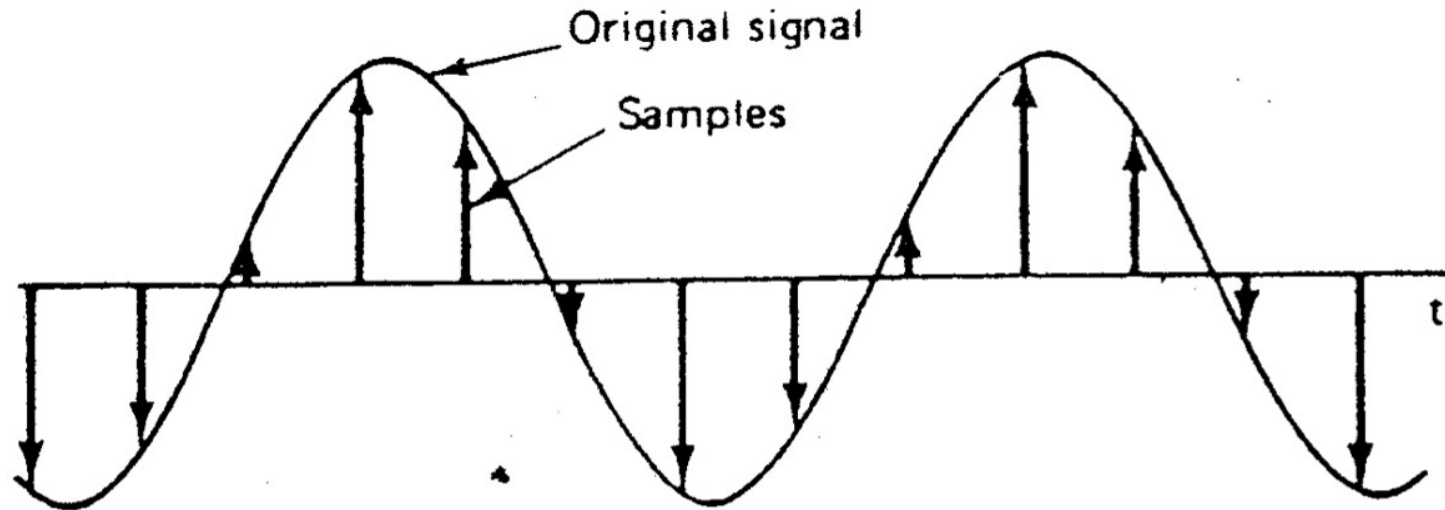
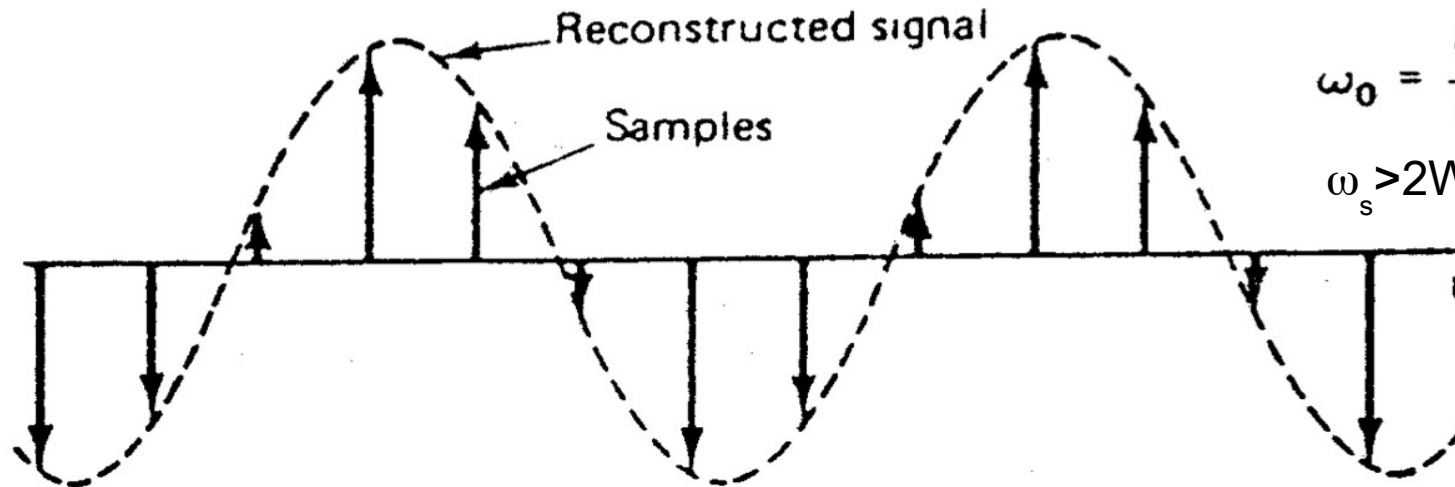


Figure 8.3 Pulse amplitude modulation with an impulse train.

Muestreo en tiempo

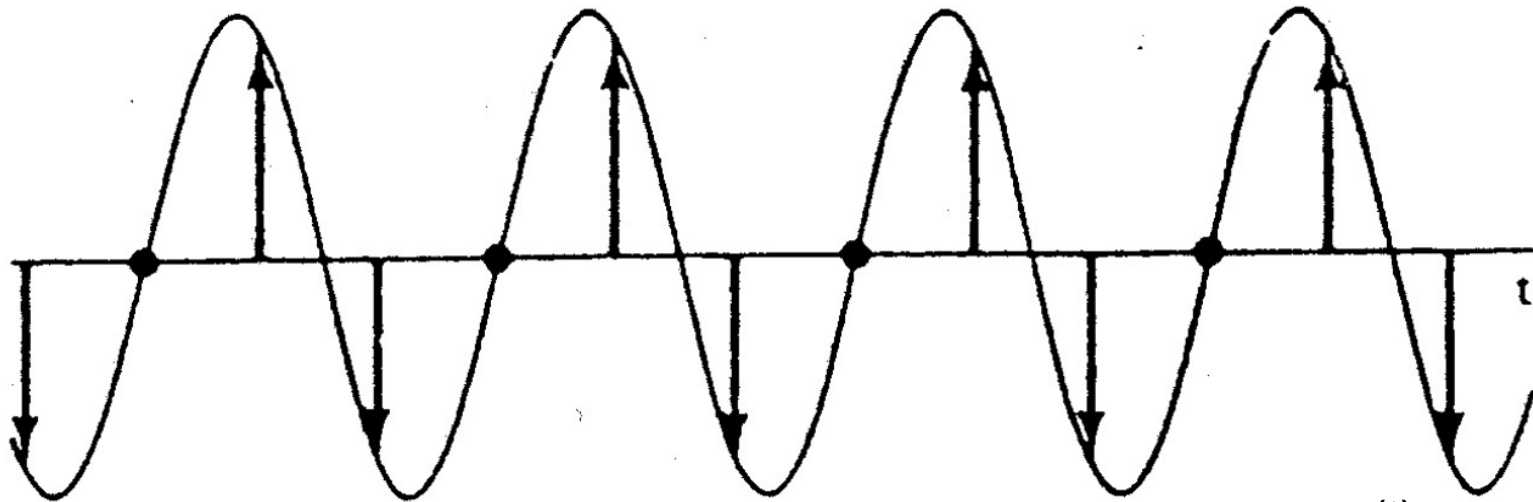


$$x(t) = \cos(\omega_0 t)$$



$$\omega_0 = \frac{\omega_s}{6}$$
$$\omega_s > 2W = 2\omega_0$$

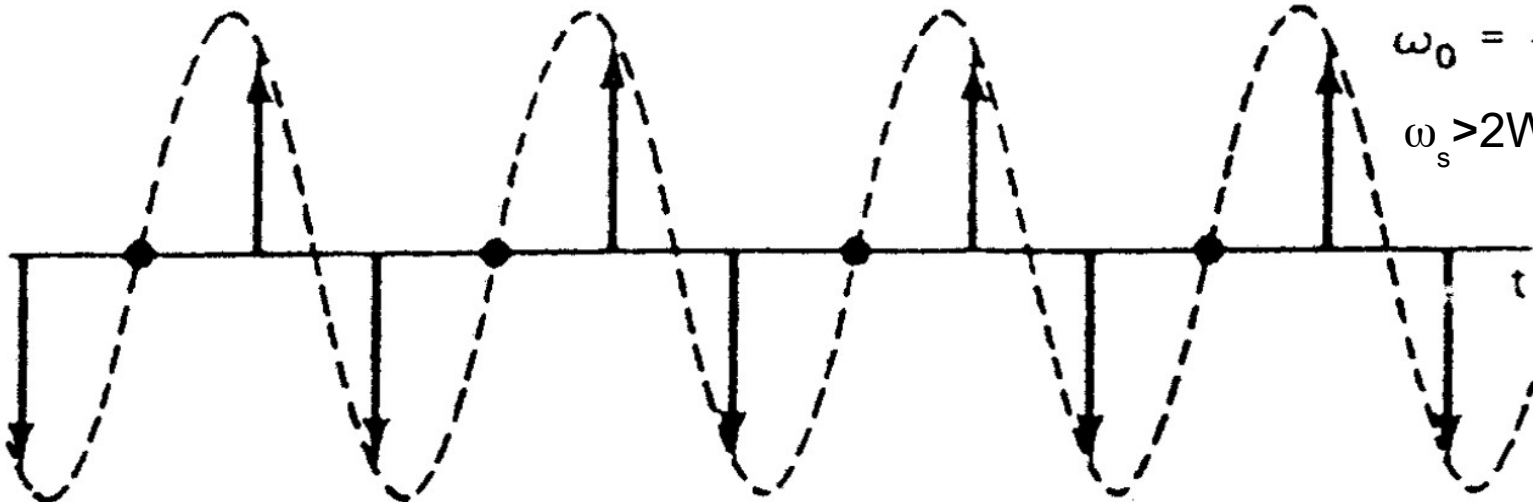
Muestreo en tiempo



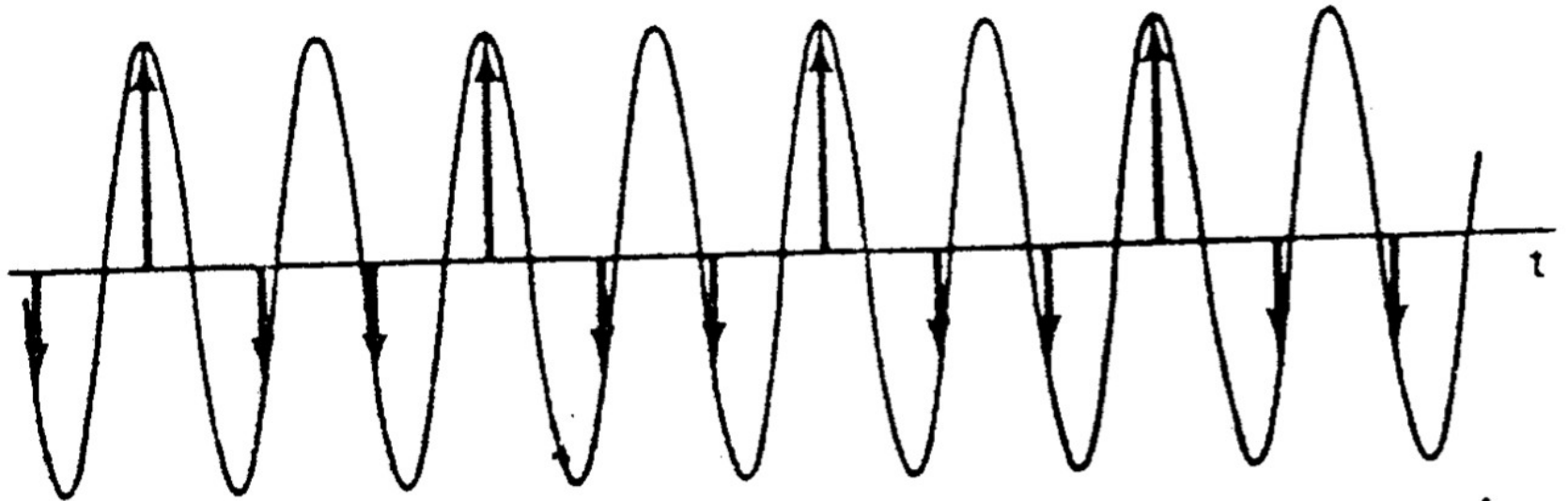
$$x(t) = \cos(\omega_0 t)$$

$$\omega_0 = \frac{2\omega_s}{6}$$

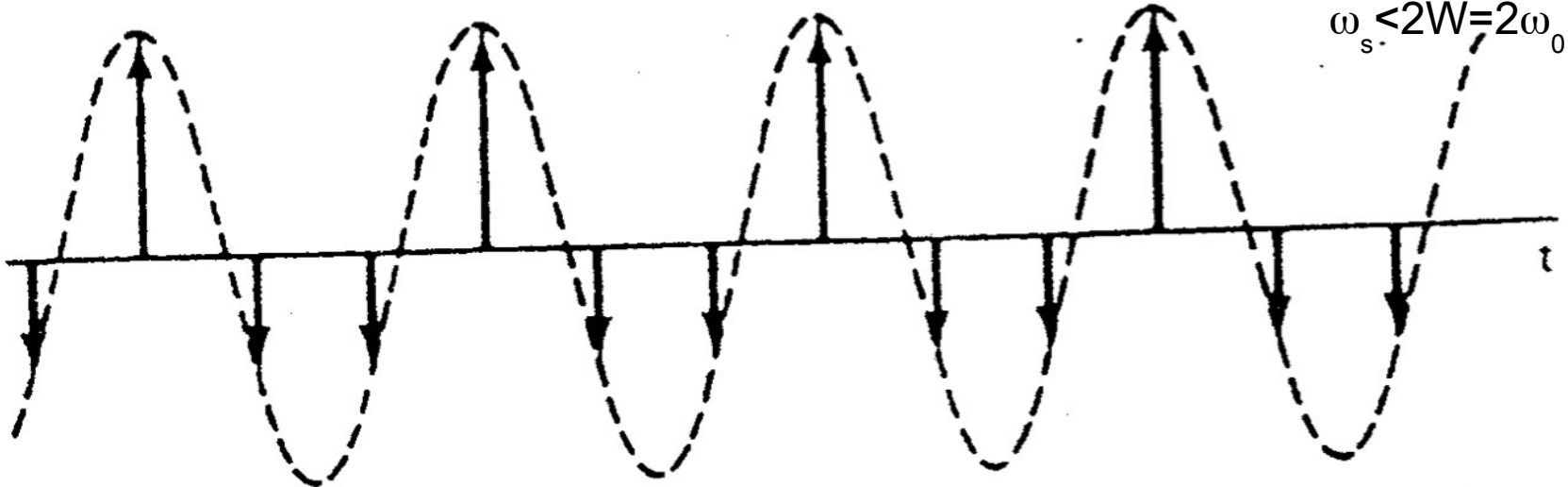
$$\omega_s > 2W = 2\omega_0$$



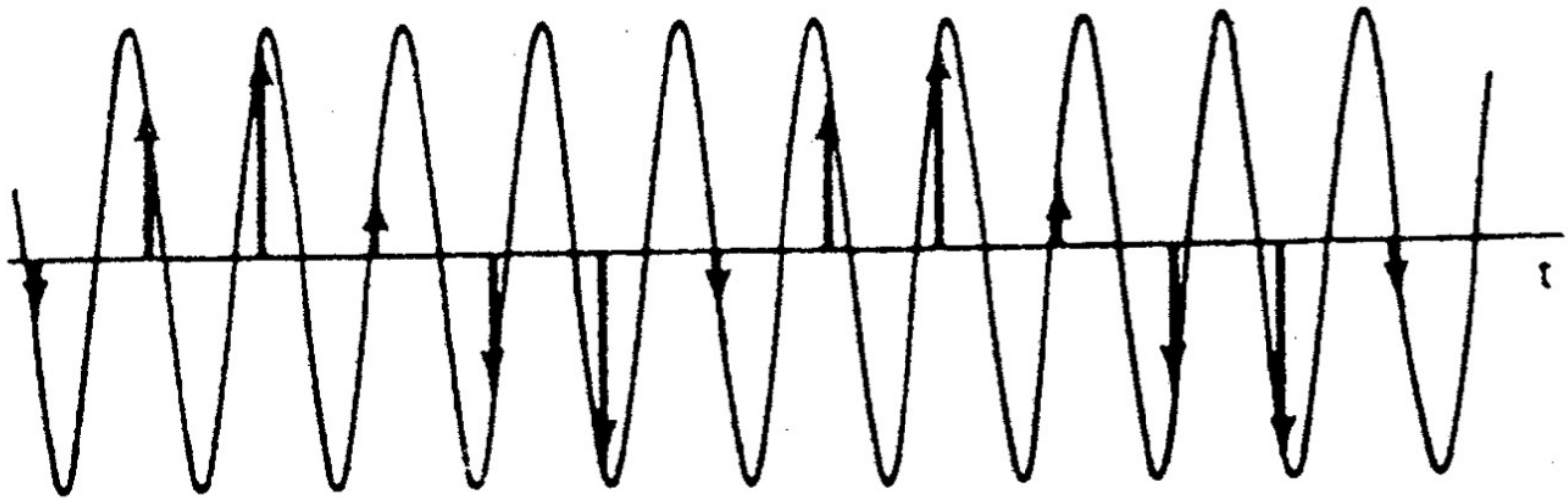
Muestreo en tiempo



$$x(t) = \cos(\omega_0 t) \quad \omega_0 = \frac{4\omega_s}{6}$$
$$\omega_s < 2W = 2\omega_0$$



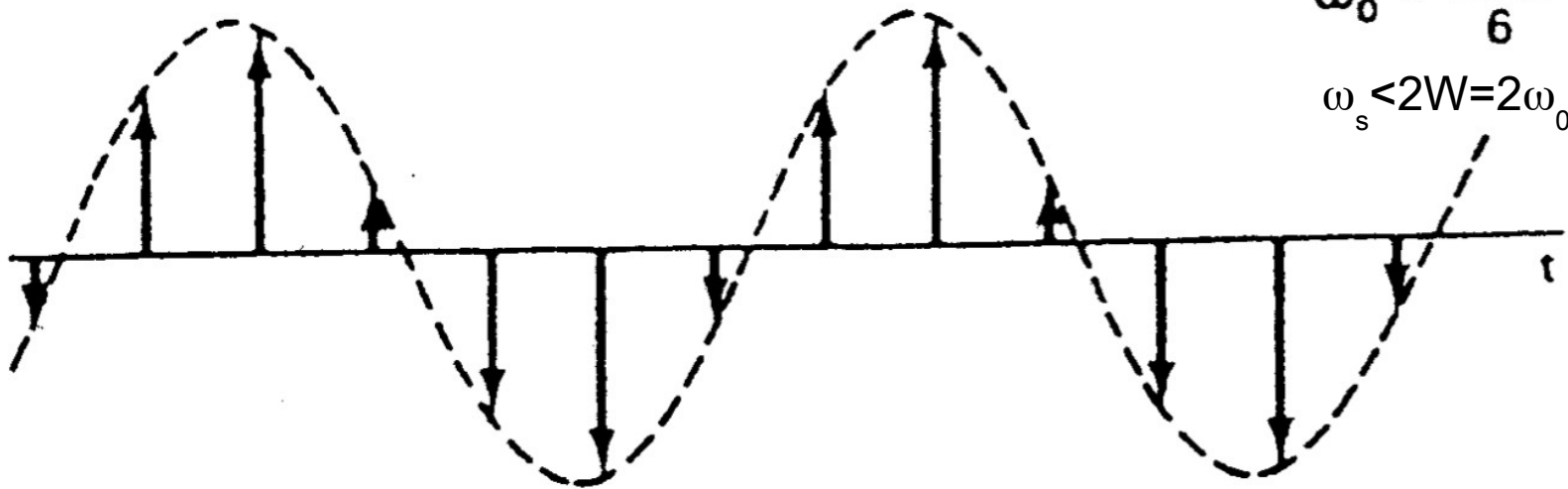
Muestreo en tiempo



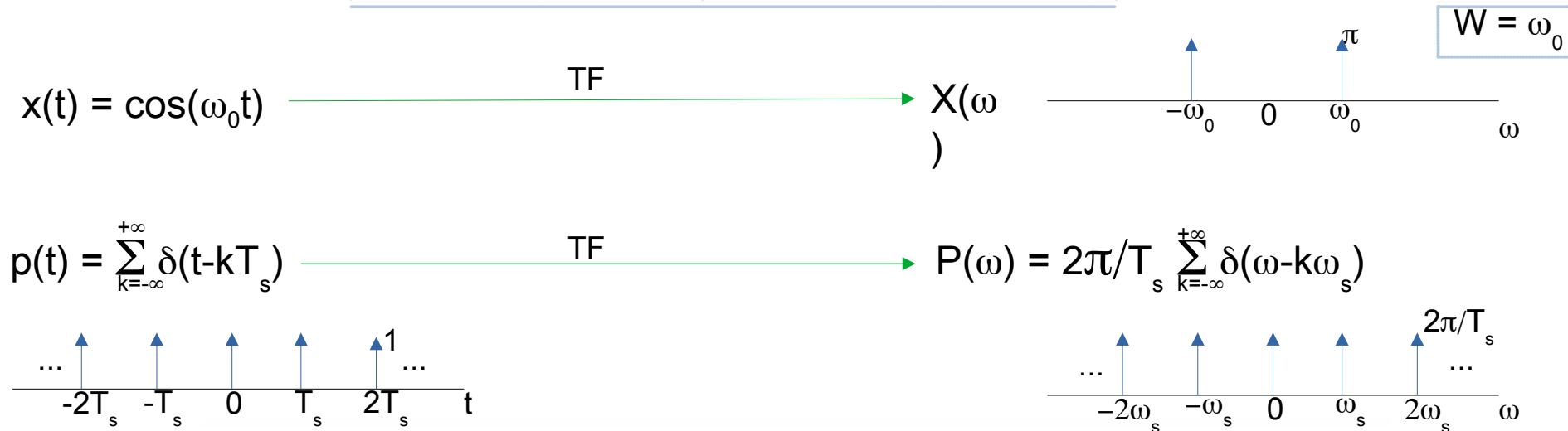
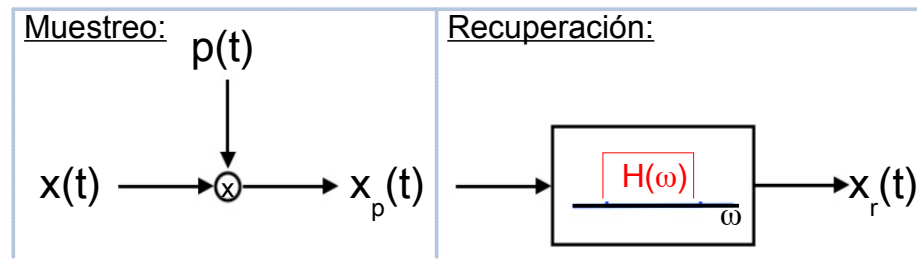
$$x(t) = \cos(\omega_0 t)$$

$$\omega_0 = \frac{5\omega_s}{6}$$

$$\omega_s < 2W = 2\omega_0$$

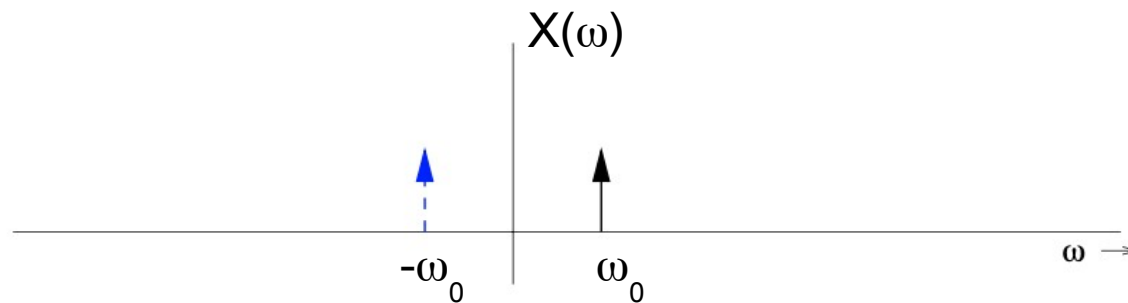


Ejemplo de muestreo de un coseno

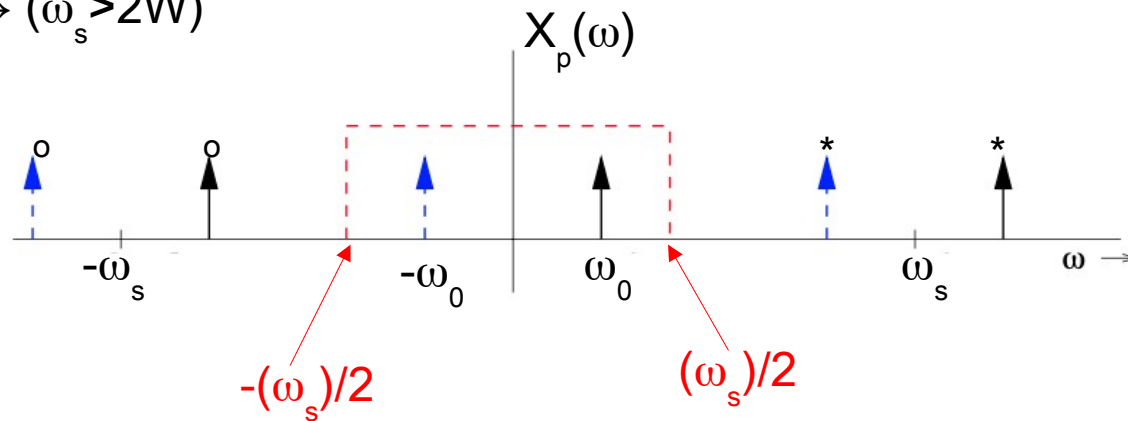


Muestreo en frecuencia

Sea $x(t) = \cos(\omega_0 t)$ y ω_s variable:



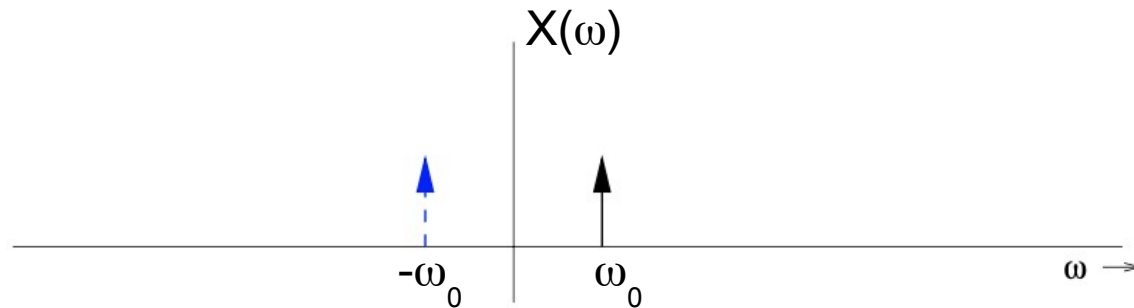
$$\omega_s = 5\omega_0 \rightarrow (\omega_s > 2W)$$



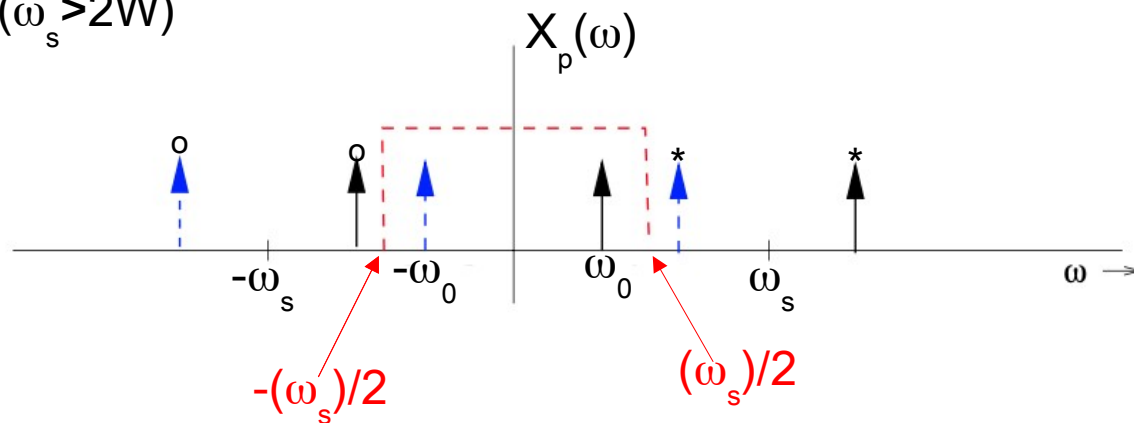
$$x_r(t) = x(t)$$

Muestreo en frecuencia

Sea $x(t) = \cos(\omega_0 t)$ y ω_s variable:



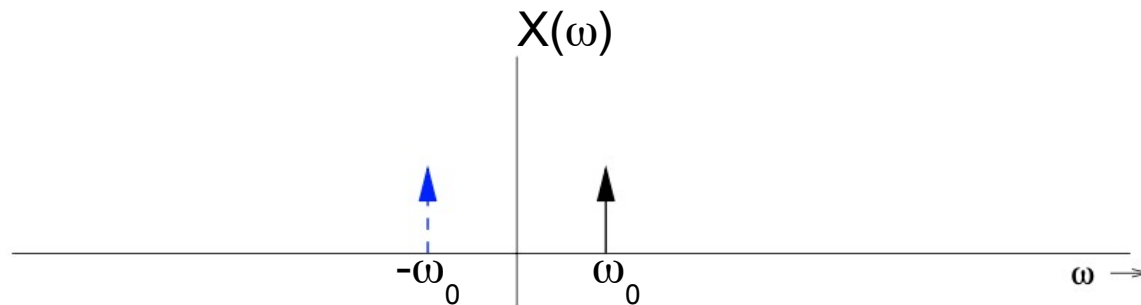
$$\omega_s = 3\omega_0 \rightarrow (\omega_s > 2W)$$



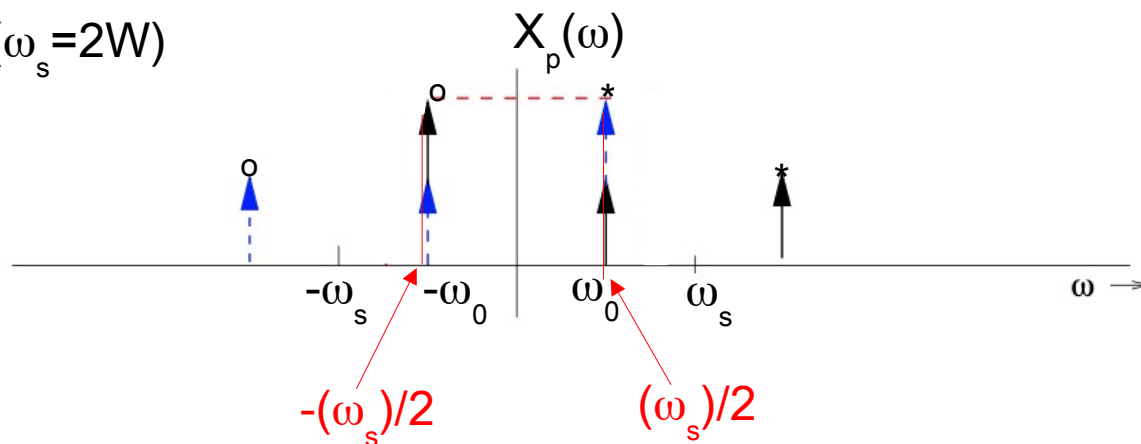
$$x_r(t) = x(t)$$

Muestreo en frecuencia

Sea $x(t) = \cos(\omega_0 t)$ y ω_s variable:



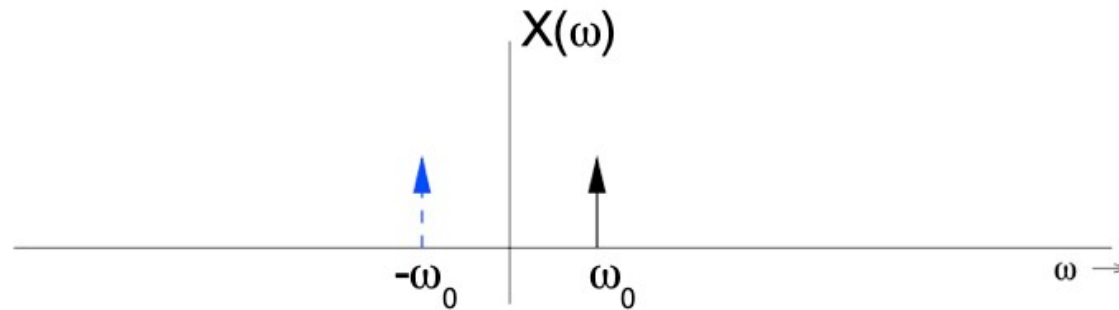
$$\omega_s = 2\omega_0 \rightarrow (\omega_s = 2W)$$



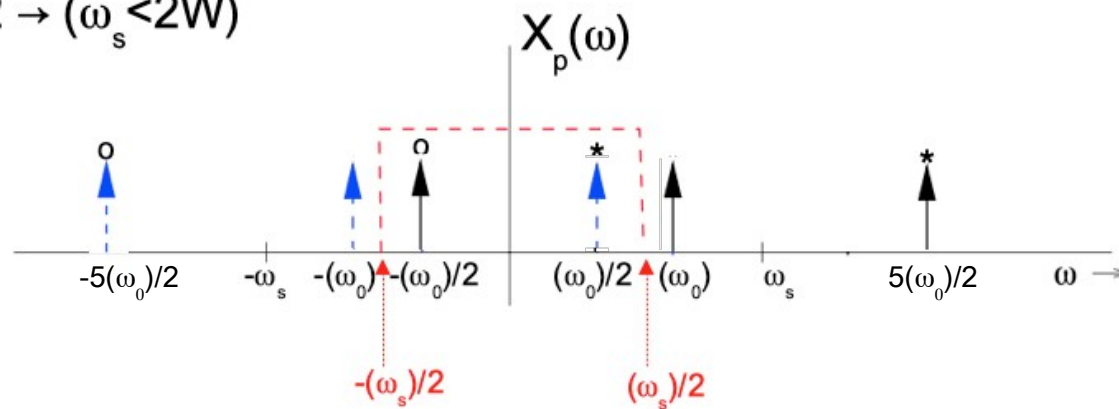
$$x_r(t) = 2x(t)$$

Muestreo en frecuencia

Sea $x(t) = \cos(\omega_0 t)$ y ω_s variable:



$$\omega_s = 3(\omega_0)/2 \rightarrow (\omega_s < 2W)$$



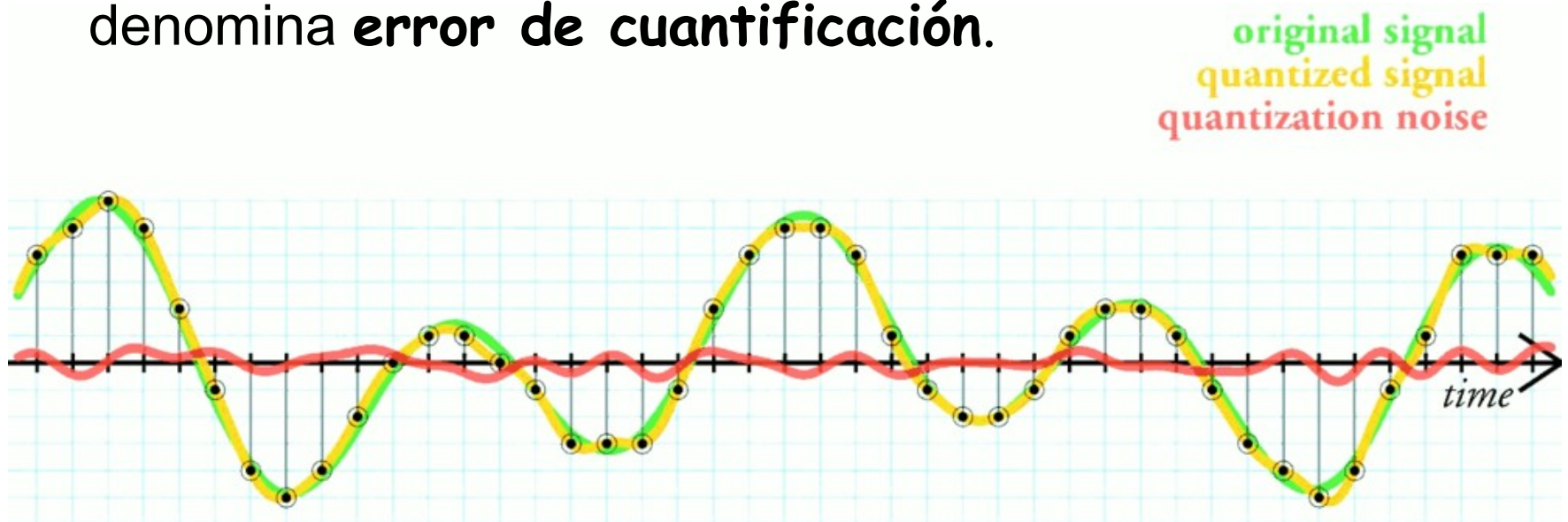
$$x_r(t) = \cos(((\omega_0)/2)t)$$



Cuantificación

Cuantificación

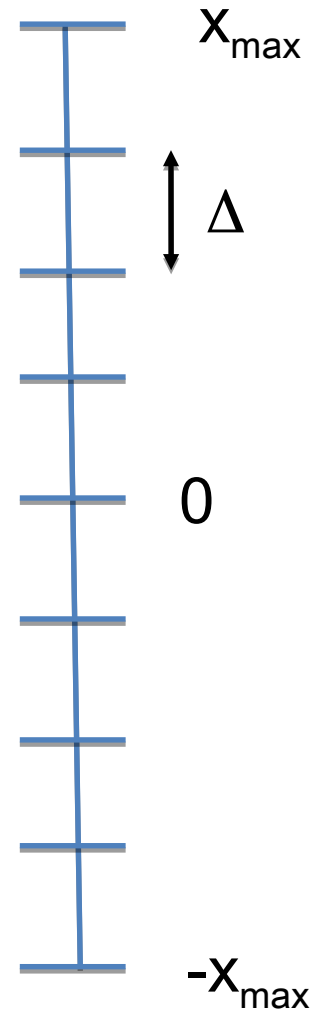
- La **cuantificación** es el proceso de mapear un conjunto grande de posibles amplitudes de una señal muestreada en un conjunto más pequeño. Cuantificar es redondear las amplitudes a un determinado nivel de precisión.
- Un dispositivo o algoritmo que realiza la operación de cuantificación se llama **cuantificador**.
- El error de redondeo que se produce al cuantificar se denomina **error de cuantificación**.



Cuantificación uniforme

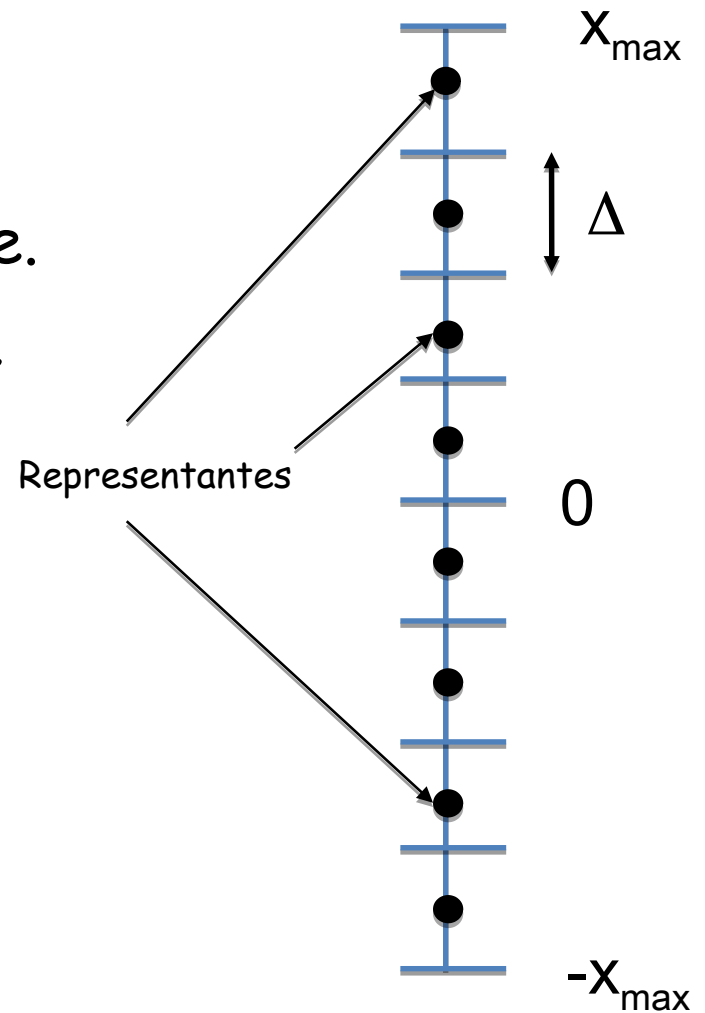
- Un cuantificador divide el intervalo $[-x_{\max}, x_{\max}]$ en N subintervalos (niveles) de cuantificación.
- En un **cuantificador uniforme** todos los niveles de cuantificación tienen el mismo tamaño Δ .

$$N = \frac{2x_{\max}}{\Delta}$$



Cuantificación

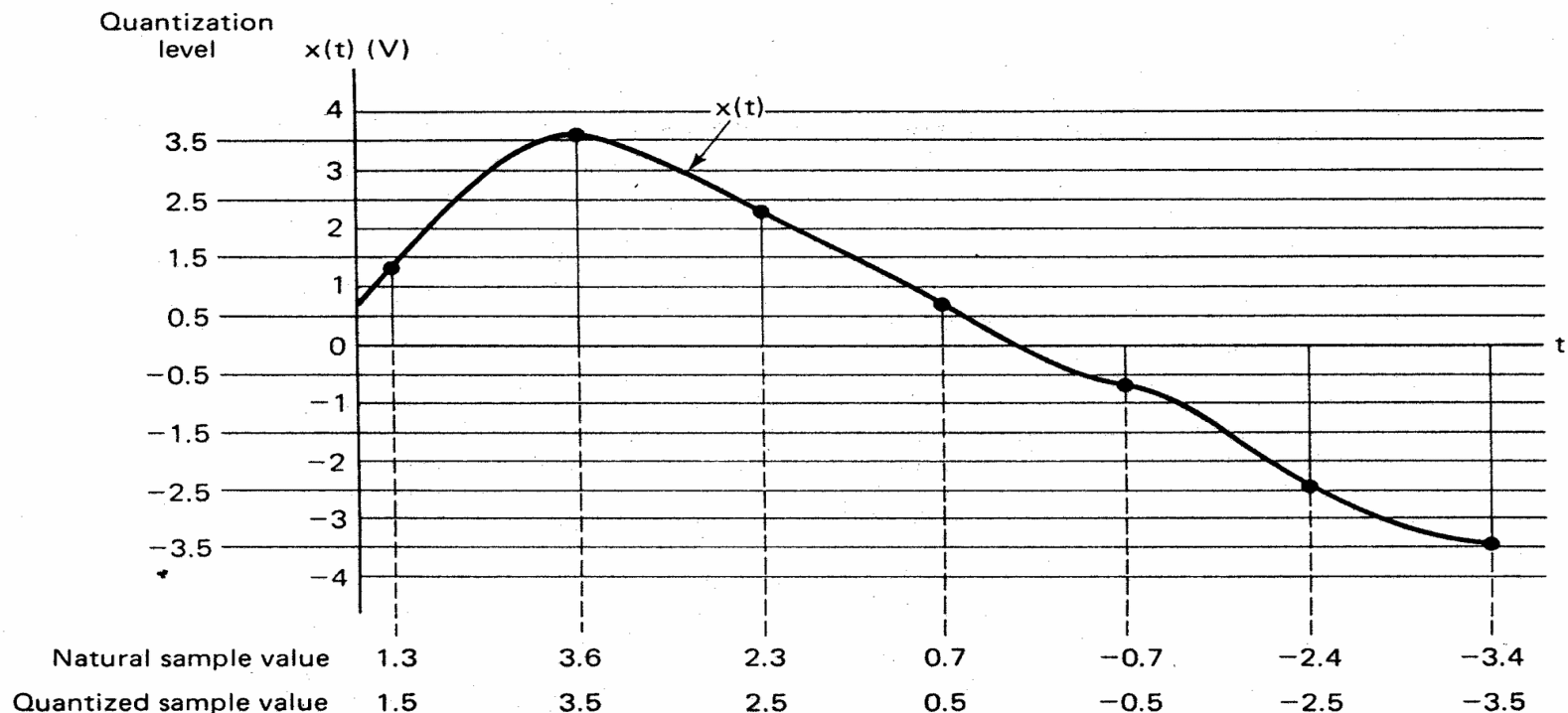
- Cada nivel de cuantificación tiene asociado un representante.
- Todos los valores de un nivel de cuantificación se redondean al valor de su representante.
- Los representantes son típicamente el punto medio del nivel de cuantificación



Ejemplo de cuantificador

* En este cuantificador $x_{\max} = 4$ y $\Delta = 1$. Por tanto, $N = 8$.

* Los representantes de este cuantificador son: -3.5, -2.5, -1.5, -0.5, 0.5, 1.5, 2.5 y 3.5



Error de cuantificación

- A diferencia del muestreo, la operación de cuantificación no es invertible.
- La diferencia entre el valor de la amplitud analógica y la amplitud cuantificada es el error de cuantificación.
- El máximo valor que puede tomar el error de cuantificación es $\Delta/2$.
- El error de cuantificación es inevitable pero se puede minimizar disminuyendo el valor de Δ .
- El precio que se paga al disminuir Δ es aumentar la complejidad del cuantificador ya que son necesarios más niveles, N , para cubrir el intervalo $[-x_{\max}, x_{\max}]$

Cuantificación no uniforme

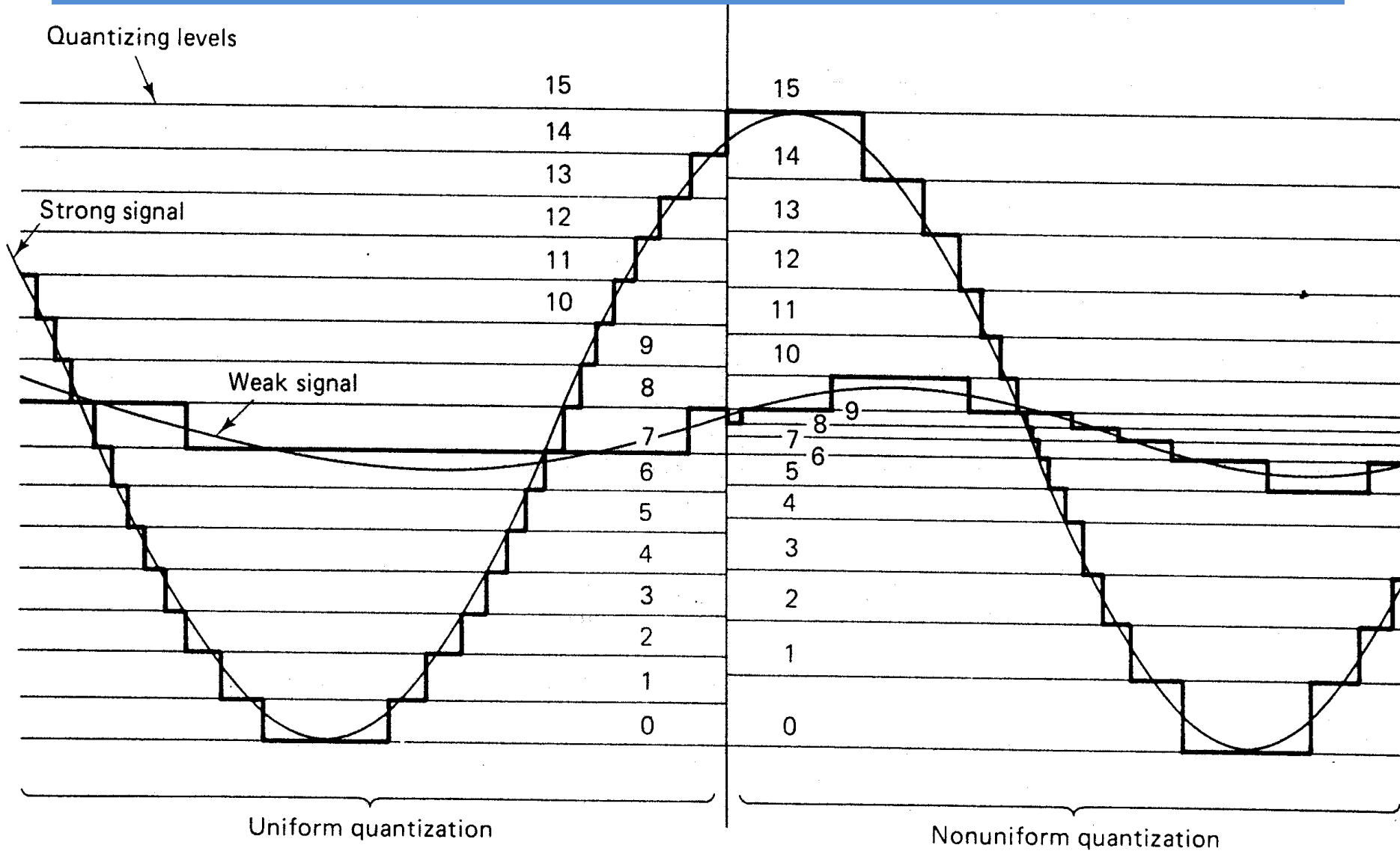


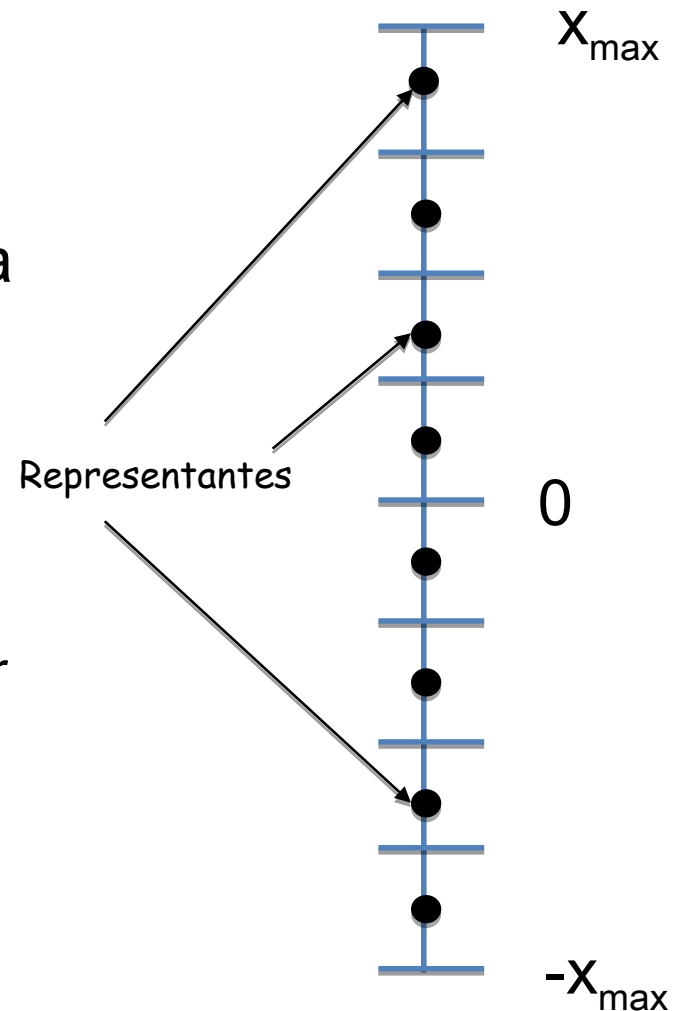
Figure 2.18 Uniform and nonuniform quantization of signals.



Codificación

Codificación

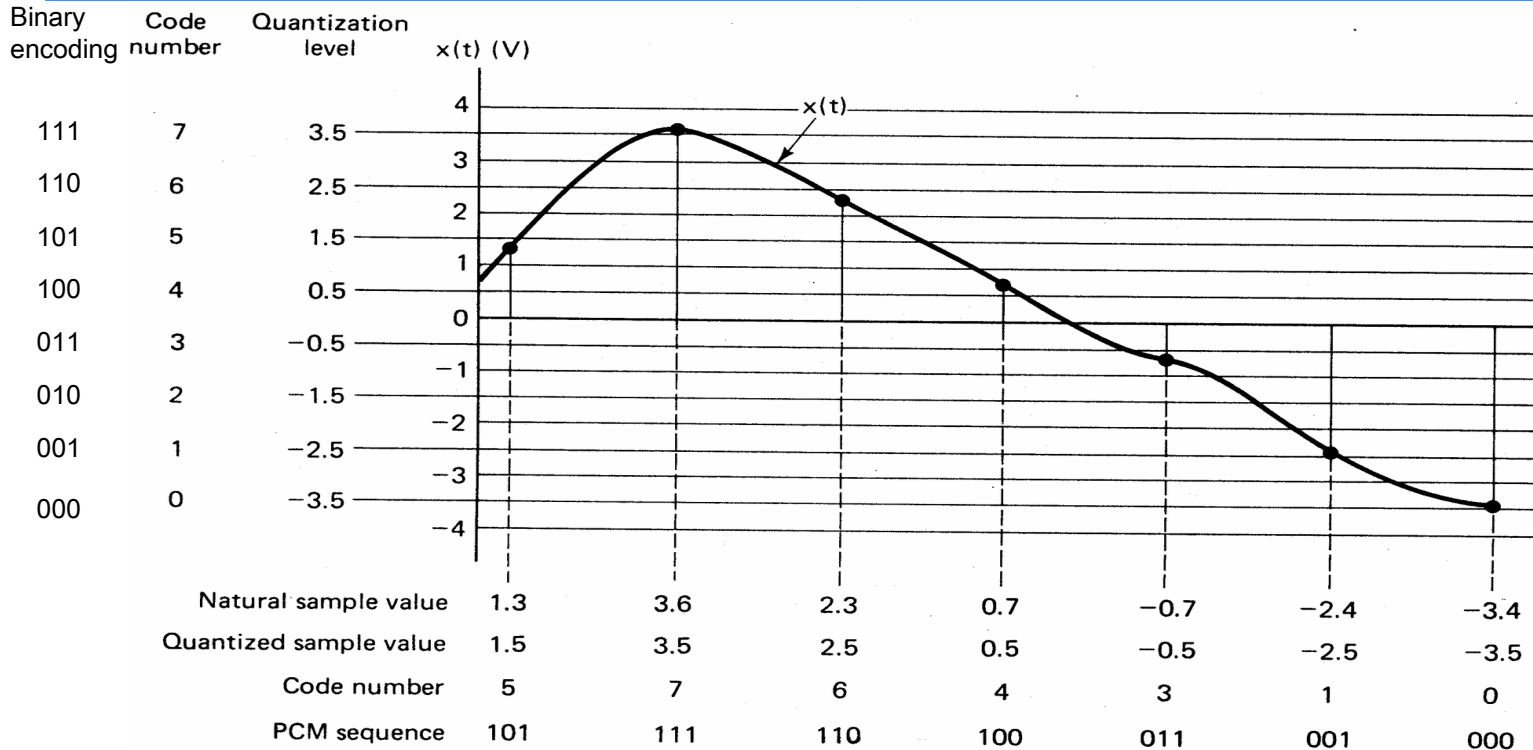
- Para construir un codificador se hace en dos etapas:
 - Primeramente se asigna a cada representante un valor numérico entero positivo, *code number*.
 - Posteriormente se asigna a cada uno de esos *code number* su codificación en binario, usando tantos bits como sea necesario.



Resumen etapas

- Con la concatenación de los pasos de cuantificación y codificación podremos asignar un valor binario a cada una de las diferentes muestras obtenidas en el proceso de muestreo de nuestra señal analógica.
- Finalmente nuestra señal vendrá representada por una secuencia de bits resultado de concatenar cada uno de los valores binarios de cada una de las muestras.

Ejemplo de codificación



- * Supongamos que en la señal $x(t)$ tomamos muestras equiespaciadas que nos generan los siguientes valores reales: [1.3, 3.6, 2.3, 0.7, -0.7, -2.4, 3.4]
- * A continuación se buscaría el representante de cada uno de los intervalos de cuantificación donde caen cada uno de esos valores de esas muestras: [1.5, 3.5, 2.5, 0.5, -0.5, -2.5, -3.5]
- * Seguidamente, usando el codificador, se buscaría cual es el *code number* asignado a cada uno de esos representantes: [5, 7, 6, 4, 3, 1, 0]
- * Posteriormente se asigna a cada code number su codificación en binario,, en este caso con 3 bits: [101, 111, 110, 100, 011, 001, 000]
- * Finalmente la representación digital de esta señal analógica sería la formada por la concatenación de los bits anteriores: 101111110100011001000

Pulse Coded Modulation (PCM)

- La técnica de codificación presentada en el ejemplo anterior se llama ***Pulse Coded Modulation (PCM)***.
- En PCM se enumeran de 0 a N-1 todos los niveles de cuantificación y dicho número se expresa en binario.
- El número de bits, b , que se necesita para representar en binario cada uno de los niveles de cuantificación debe cumplir

$$b \geq \log_2 N$$

- En el ejemplo, $N = 8 = 2^3 \rightarrow b = 3$ bits por muestra

Pulse Coded Modulation (PCM)

- Las palabras código en PCM tienen una longitud fija, i.e. cada muestra cuantificada se representa por una palabra código de b bits.
- En PCM cada muestra cuantificada se codifica siempre de la misma manera con independencia de las muestras codificadas anteriormente.
- Existen otras formas más sofisticadas de codificación que utilizan menos bits que PCM para representar una señal analógica y que se conocen como **técnicas de compresión de fuente**.

Tasa de bit de una fuente

- La tasa de bit, R_b , que resulta al digitalizar una señal analógica es el número de bits que se utilizan para representar un segundo de señal. Se mide en bits/seg

Fuente analógica

- Frecuencia de muestreo: f_s
- Nº de bits por muestra: b

$$b \text{ (bits/muestra)} \times f_s \text{ (muestras/seg)} \rightarrow R_b \text{ (bits/seg)}$$

Ejemplo cálculo R_b

- Suponemos querer digitalizar voz con calidad de telefonía
- Voz con calidad de telefonía: señal acústica entre 200 y 3.400 Hz. $B=3200\text{Hz}$
- Frecuencia de muestreo: $f_s = 8\text{ kHz}$
- Cuantificación: $N = 256 = 2^8$ niveles
- Codificación PCM: $b = 8$ bits por muestra
- Tasa binaria: $R_b = 8 \text{ (bits/muestra)} \times 8.000 \text{ (muestras/seg)} = 64.000 \text{ bits/seg} = 64 \text{ kbits/seg}$

Digitalización de señales

