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:

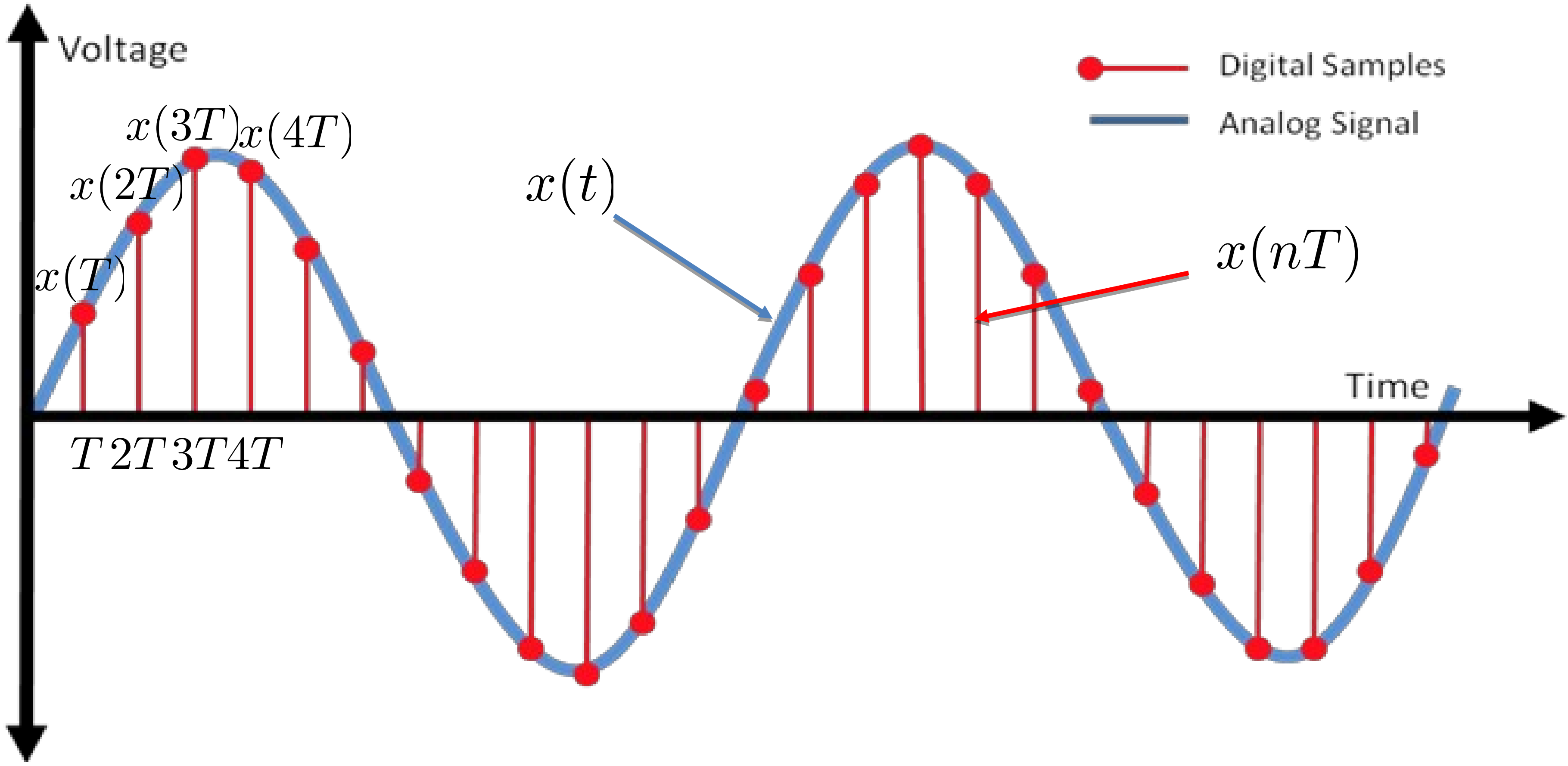
1. Representación digital de señales analógicas
2. Concepto de muestreo
3. Teorema de muestreo
4. Ejemplo de muestreo de la señal coseno
5. Cuantificación
6. Codificación

2

Concepto de muestreo

Concepto de muestreo

- Muestreo (*sampling*): operación que consiste en tomar muestras de una señal analógica.



Representación de muestreo en tiempo

Representación de la operación de muestreo en el dominio del tiempo

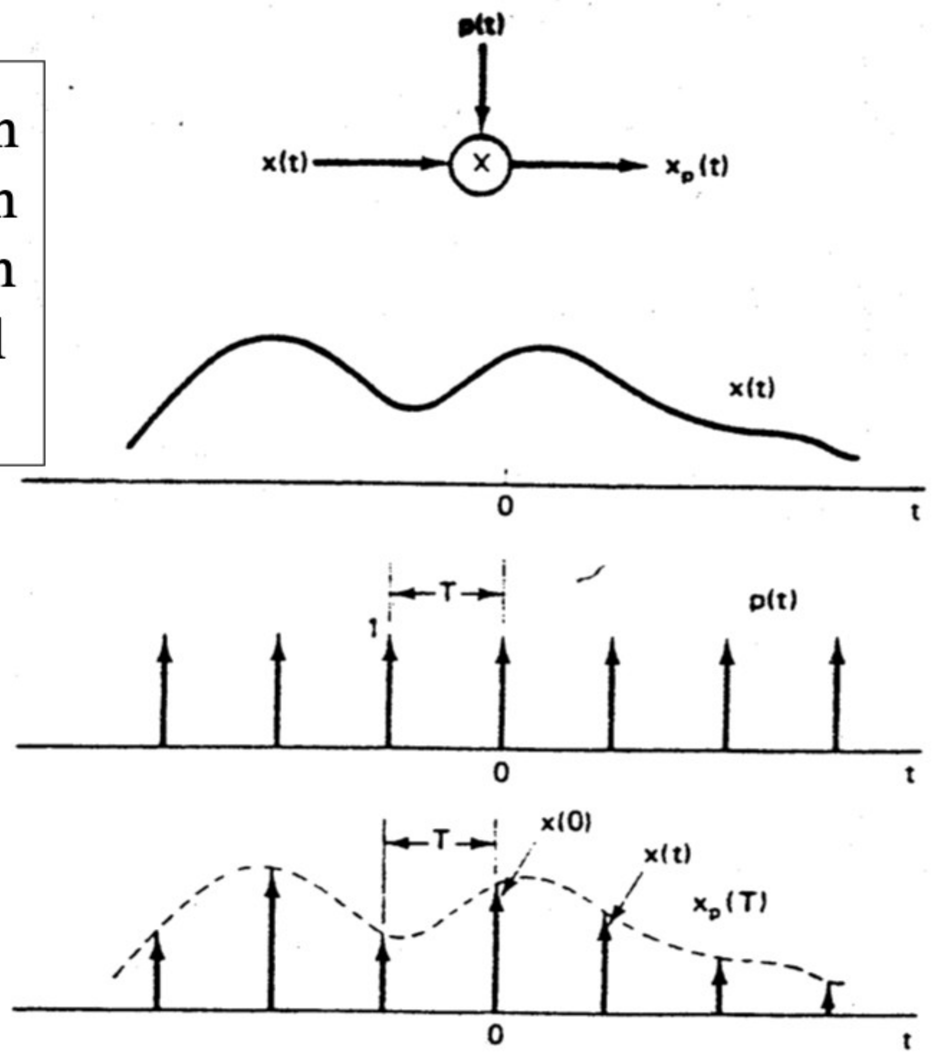
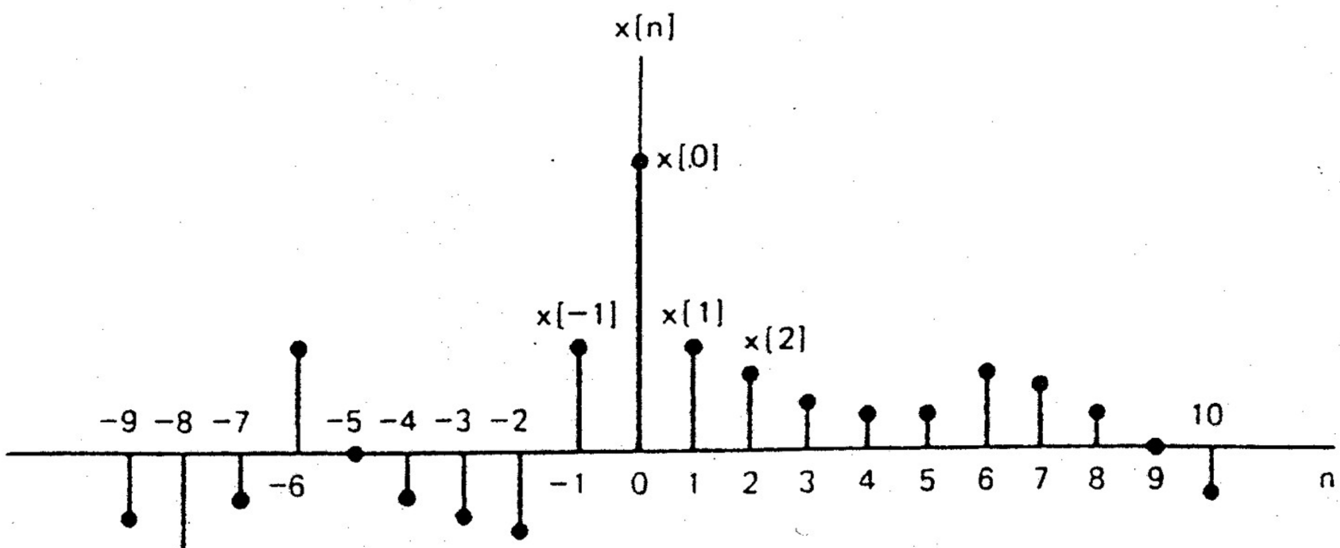


Figure 8.3 Pulse amplitude **modulation** with an impulse train.

Señal discreta en tiempo

- El resultado del muestreo es una señal discreta en el tiempo que se representa por una función real de una variable independiente discreta que sólo toma valores enteros, x(n).

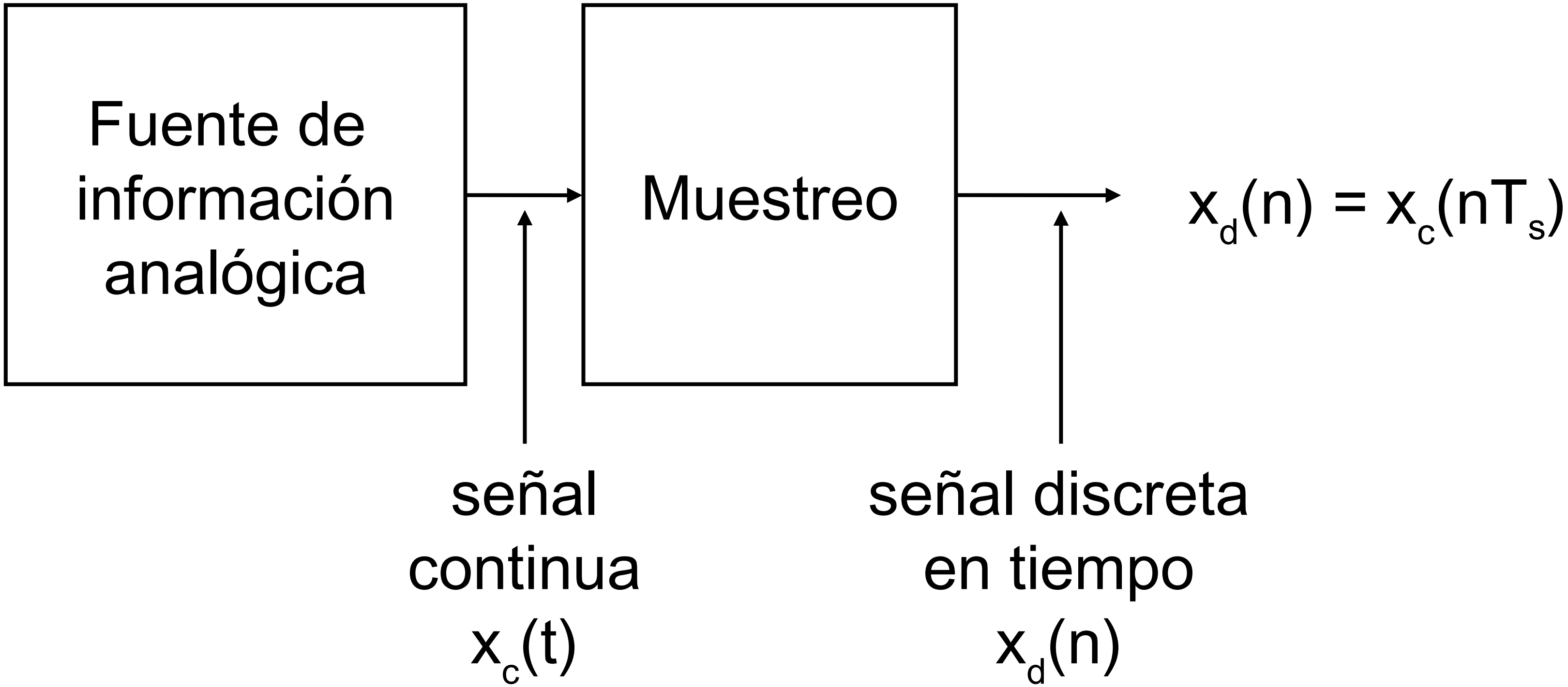
$$
\begin{array}{ccc}
\mathbb{Z} & \longrightarrow & \mathbb{R} \\
n & \longrightarrow & x(n)
\end{array}
$$



(b)

Muestreo regular o periódico

* Cuando las muestras se toman equiespaciadas un intervalo de tiempo T_s segundos, el muestreo se dice que es regular o periódico.



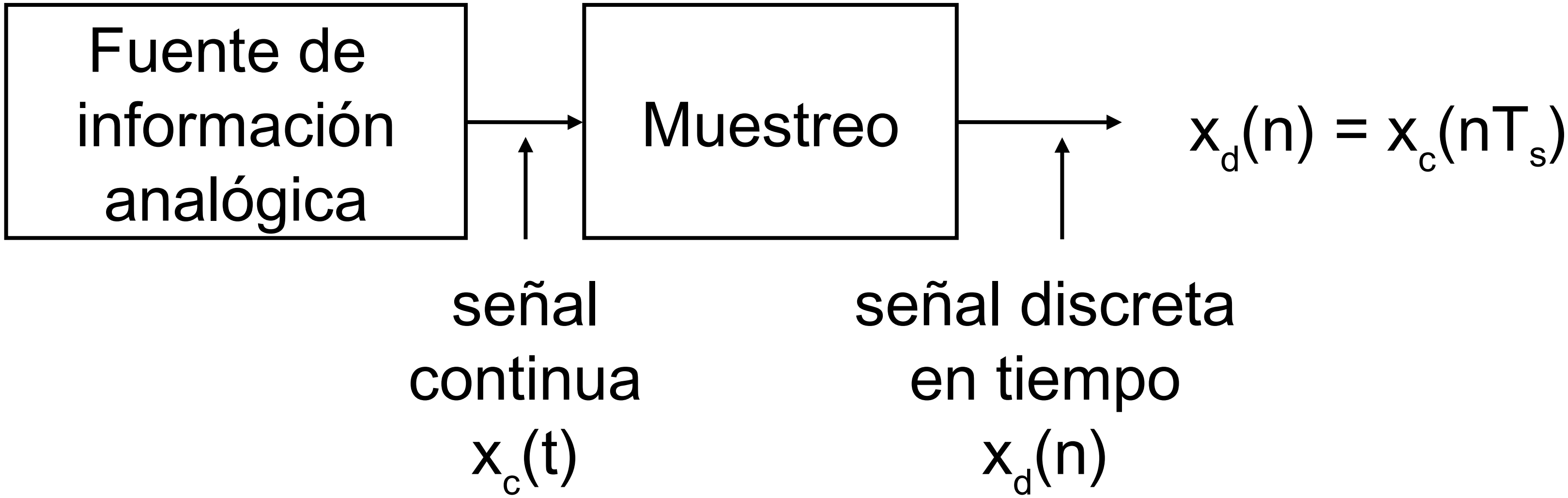
Periodo y Frecuencia de muestreo

- Periodo de muestreo, en segundos (T_s): separación temporal entre dos muestras.
- Frecuencia de muestreo, en Hertzs ($f_s=1/T_s$): número de muestras por unidad de tiempo.

* Frecuencia de muestreo, en radianes por segundo ($\omega_s=2\pi/T_s$).

Periodo muestreo (T_s)	Frecuencia muestreo (f_s)	Frecuencia muestreo (ω_s)
1 s	1 Hz	2π rad/s
0,1 s	10 Hz	2π 10 rad/s
0,01 s	100 Hz	2π 100 rad/s
1 ms = 10^{-3} s	1 kHz = 10^3 Hz	2π 10^3 rad/s
1 μs = 10^{-6} s	1 MHz = 10^6 Hz	2π 10^6 rad/s

Relación entre tiempo continuo y discreto



* En el muestreo periódico las variables independientes tiempo continuo, t, y tiempo discreto, n, se relacionan a través del periodo de muestreo, T_s, de la siguiente forma

$$t = nT_s = \frac{n}{f_s}$$

Problemas con el muestreo

- La operación de muestreo es invertible, sólo bajo determinadas condiciones. Esto se ve muy bien en la siguiente figura en la que tres señales distintas producen la misma señal muestreada.

$$x_1(kT) = x_2(kT) = x_3(kT)$$

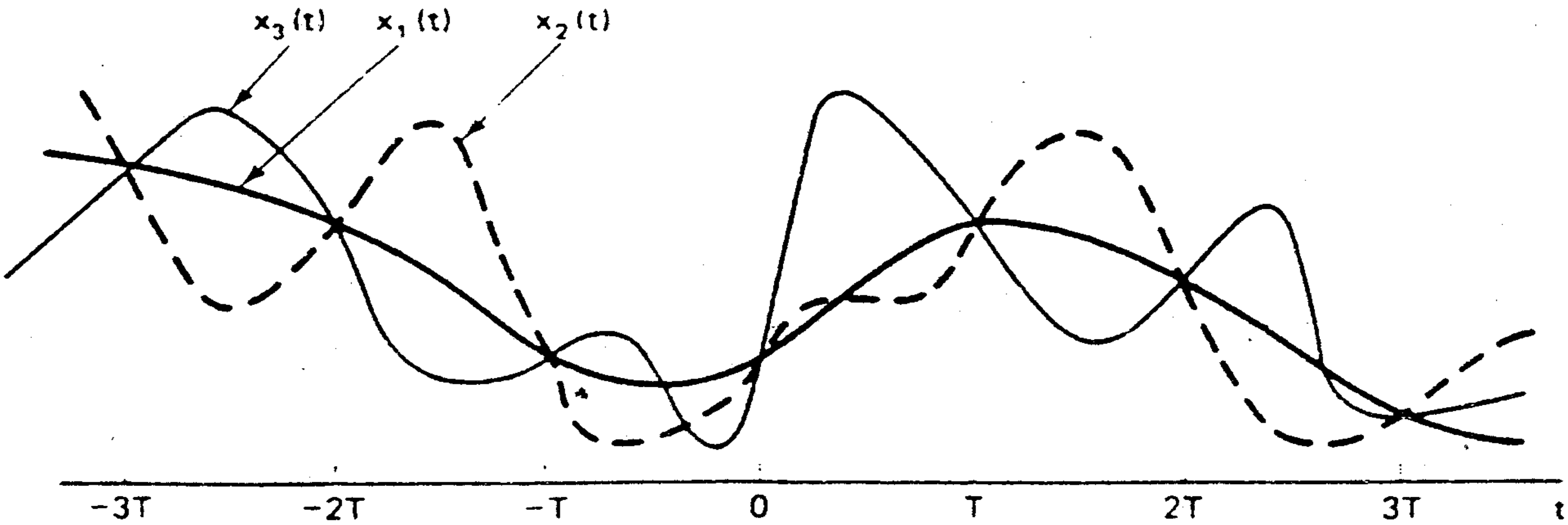


Figure 8.1 Three continuous-time signals with identical values at integer multiples of T.

Problemas con el muestreo

- Esto es un problema porque al reconstruir una señal continua a partir de sus muestras puede ocurrir que se reconstruya una señal distinta de la señal continua original que fue muestreada.
- Así pues, hay que elegir cuidadosamente el periodo de muestreo, T_s (i.e. la frecuencia de muestreo, ω_s) para que esto no ocurra y que la señal reconstruida, $x_r(t)$, sea igual a la señal original, $x(t)$.

Muestreo y reconstrucción

- Para que la señal reconstruida sea igual a la señal analógica original, hay que muestrearla a una frecuencia de muestreo adecuada:
  - Señales que cambian lentamente con el tiempo (señales con ancho de banda pequeño) ➔ se muestrean correctamente con frec. de muestreo bajas.
  - Señales que cambian rápidamente con el tiempo (señales con ancho de banda grande) ➔ se muestrean correctamente con frec. de muestreo altas.
- A continuación veremos el teorema que relaciona el ancho de banda y la frecuencia de muestreo.

3

Teorema de muestreo

Teorema de muestreo

- Sea x(t) una señal de banda limitada (i.e., $X(\omega)=0$ para ω >W). Esta señal x(t) se determina unívocamente por sus muestras $x(nT_s)$ siempre que se cumpla la condición

$$\omega_s > 2W$$

donde $\omega_s = \frac{2\pi}{T_s}$ es la frecuencia de muestreo.

- Este teorema fue enunciado por Harry Nyquist en 1928. En su honor, se denomina **frecuencia de Nyquist** de una señal a la mínima frecuencia de muestreo (i.e., 2W)

Ejemplos de frecuencias de muestreo

Aplicación	Frecuencia de muestreo (Hz)
Cine analógico (fotogramas)	24 Hz
Señales biomédicas (ECG, EEG, …)	500 Hz
Audio con calidad de telefonía	8 kHz
Audio con calidad CD	44,1 kHz
Audio con calidad DVD	48 kHz
Conversión de vídeo analógico a digital	13,5 MHz
Radar	200 MHz

4

Ejemplo de muestreo de la señal coseno

Muestreo en tiempo

Representación de la operación de muestreo en el dominio del tiempo

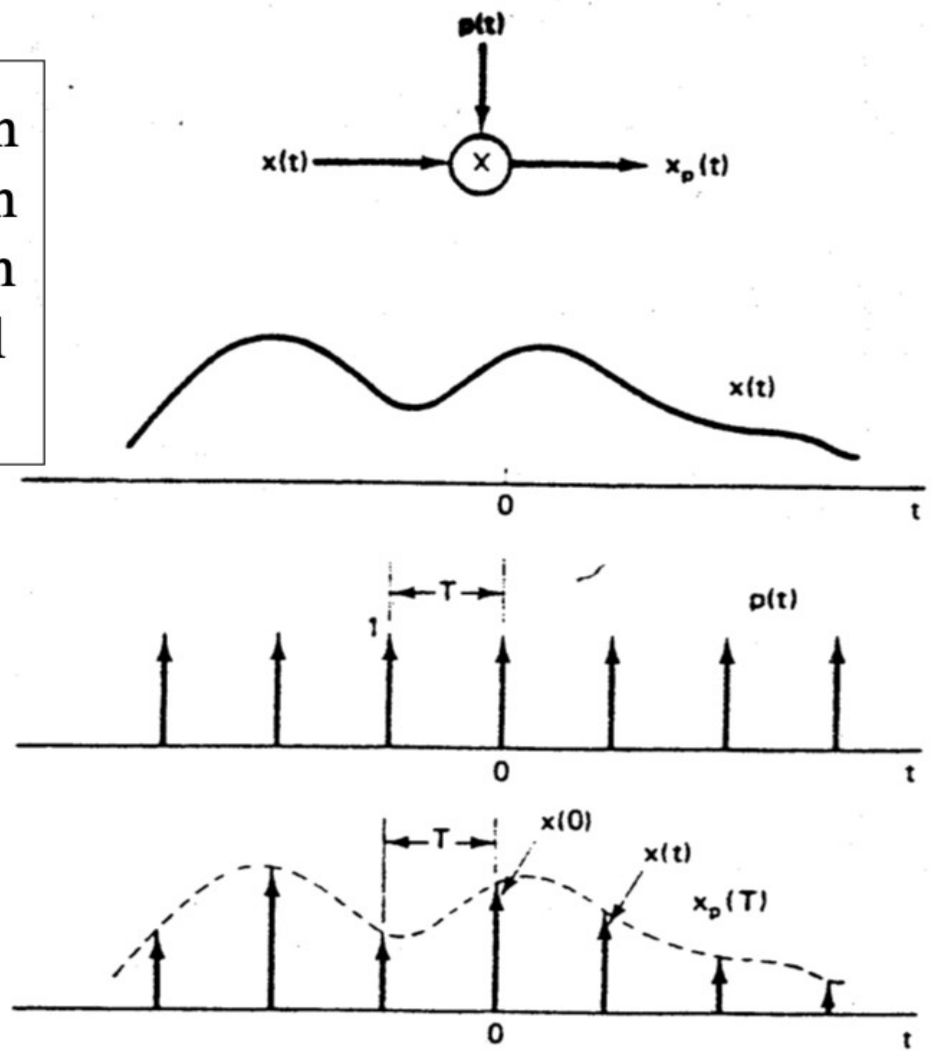
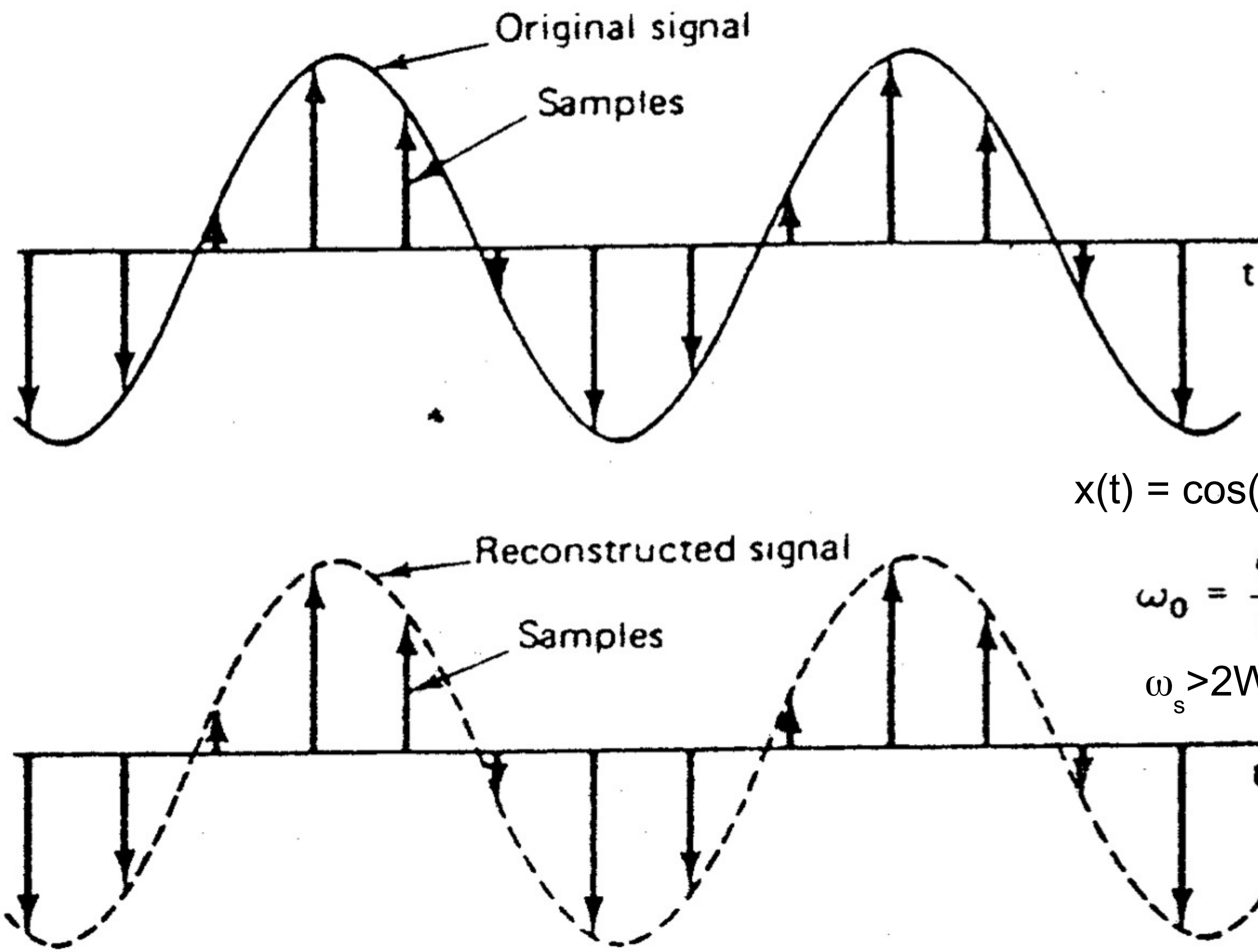


Figure 8.3 Pulse amplitude modulation with an impulse train.

Muestreo en tiempo

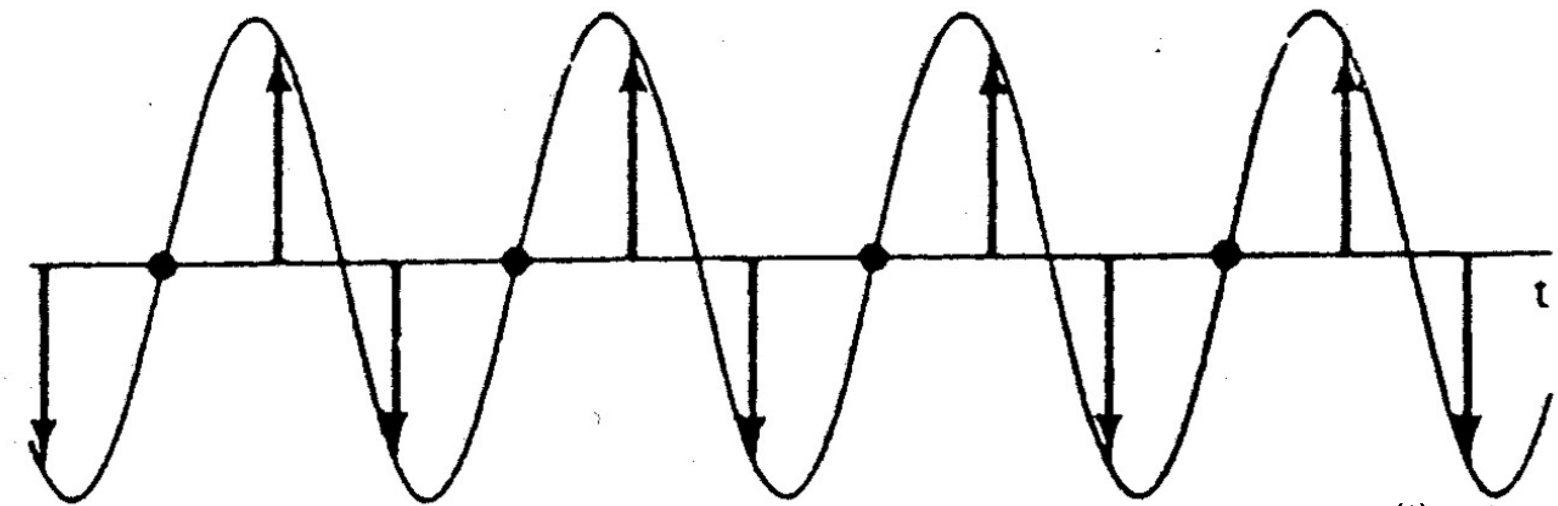


$$x(t) = \cos(\omega_0 t)$$

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

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

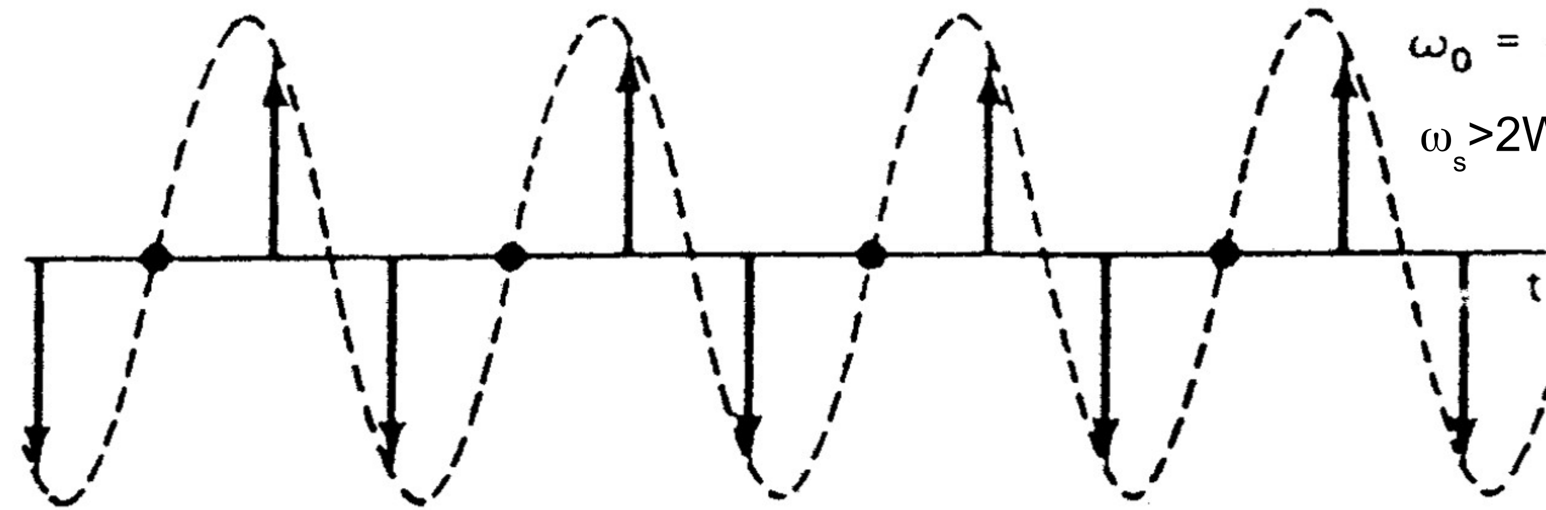
Muestreo en tiempo



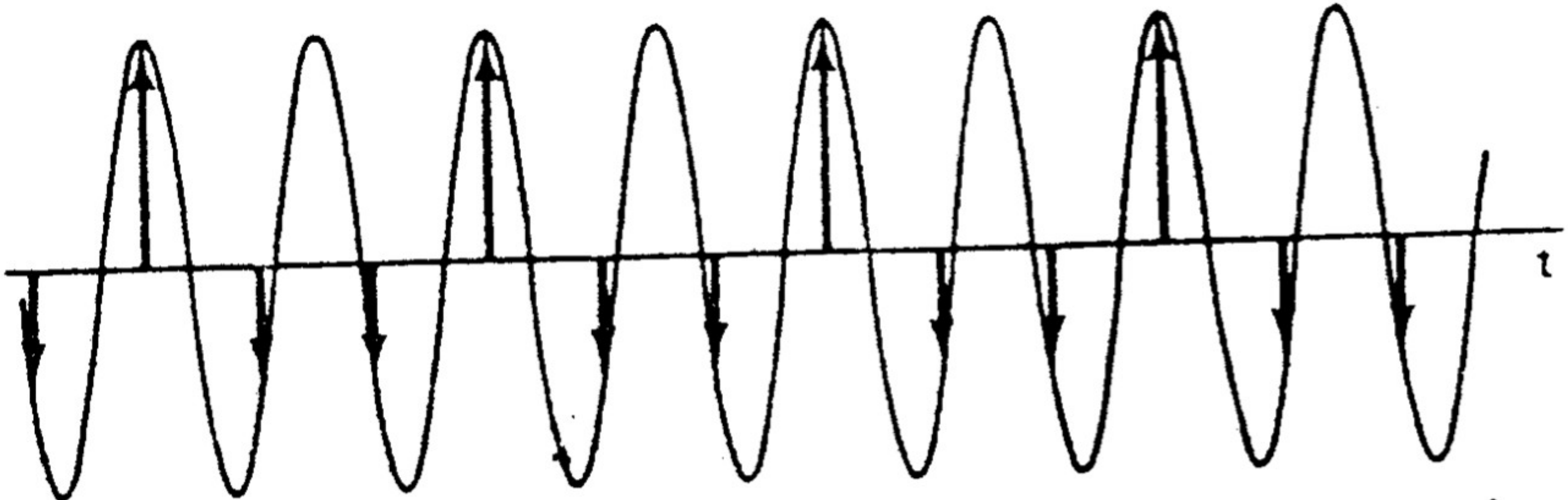
$x(t) = \cos(\omega_0 t)$

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

$\omega_s > 2W = 2\omega_0$

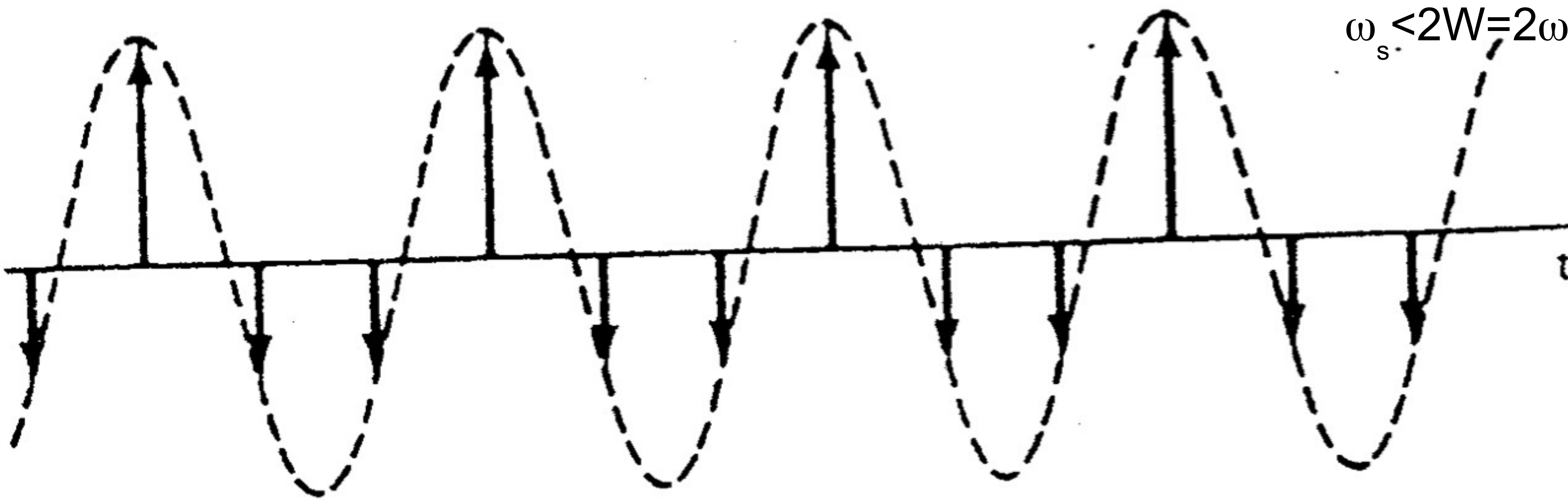


Muestreo en tiempo

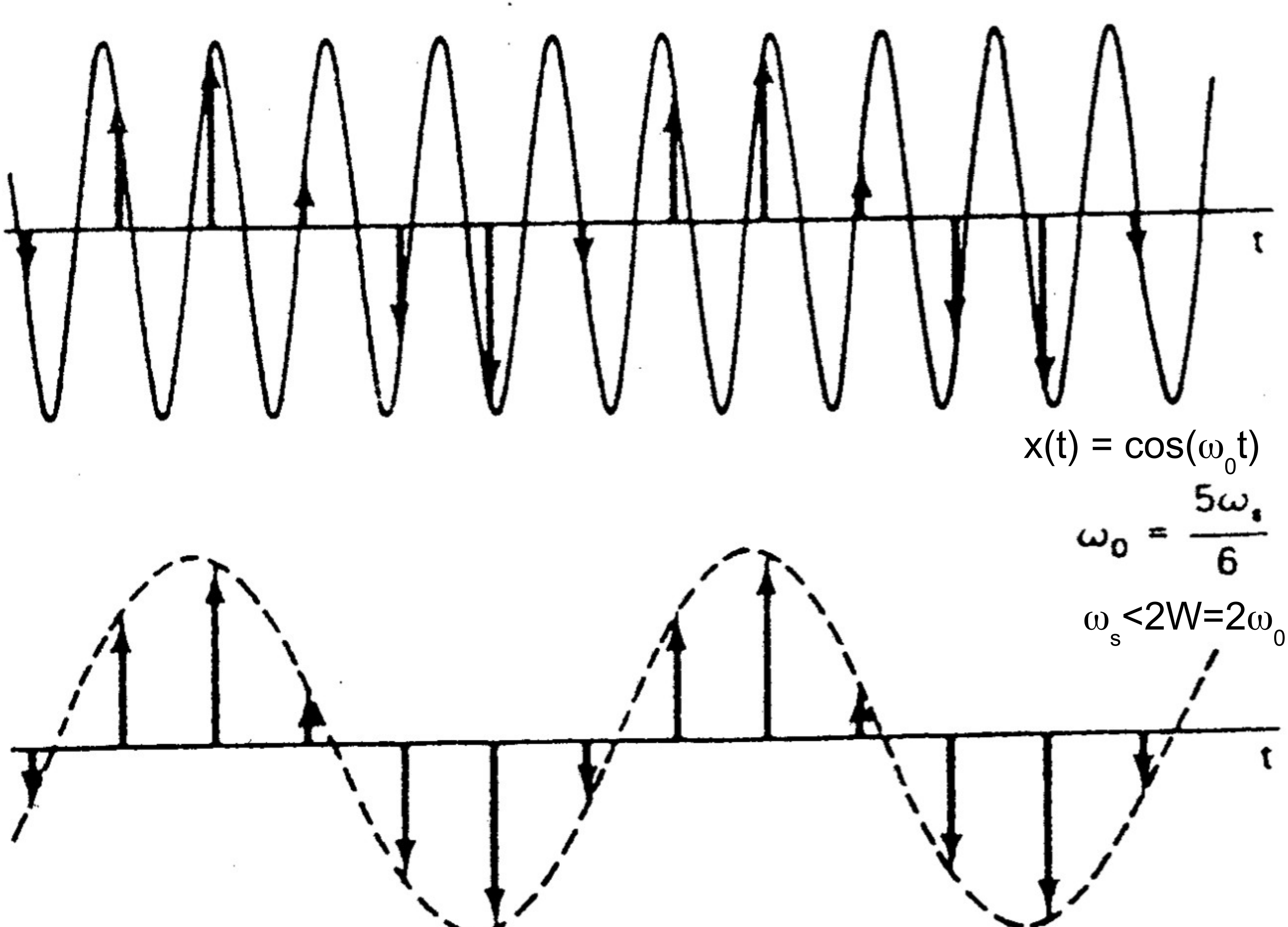


$x(t) = \cos(\omega_0 t)$ $\quad \omega_0 = \frac{4\omega_s}{6}$

$\omega_s < 2W = 2\omega_0$



Muestreo en tiempo

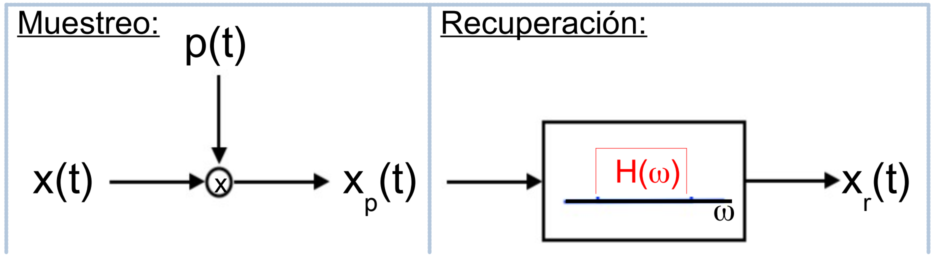


$x(t) = \cos(\omega_0 t)$

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

$\omega_s < 2W = 2\omega_0$

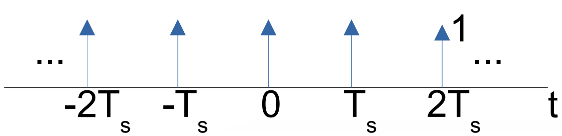
Ejemplo de muestreo de un coseno

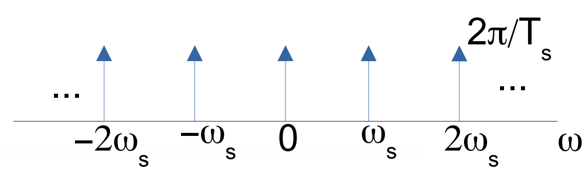


$W = \omega_0$

$$x(t) = \cos(\omega_0 t) \xrightarrow{TF} X(\omega)$$

$$p(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(t-kT_s) \xrightarrow{TF} P(\omega) = 2\pi/T_s \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(\omega-k\omega_s)$$





Muestreo:

$$x_p(t) = x(t)p(t) \xrightarrow{TF} X_p(\omega) = 1/2\pi\ [X(\omega) * P(\omega)]$$

Recuperación:

$$X_r(\omega) = [X_p(\omega)H(\omega)]$$