



Instrumentación Electrónica

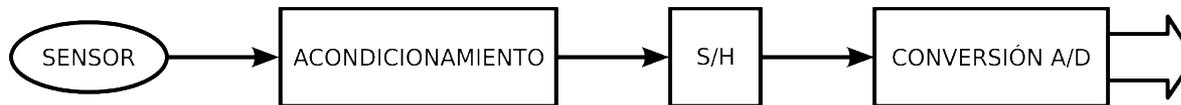
Tema 2: Sistemas de adquisición de datos



- ❑ Objetivos
- ❑ Estructuras y dispositivos utilizados
- ❑ Fundamentos del muestreo de señales y discretización de amplitudes
- ❑ Muestreo de señales en el tiempo
- ❑ Reconstrucción de señales a partir de sus muestras
- ❑ Conversión Analógica Digital



- ❑ Objetivo de los sistemas de medida
 - Visualización, registro, control.
- ❑ Objetivo de los SAD (Sistemas de adquisición de datos)
 - Acondicionar señales analógicas y procesarlas para ser usadas por sistemas digitales (microprocesadores, microcontroladores, ordenadores) para su registro, almacenamiento, visualización o para realizar el control de un proceso.
- ❑ Clasificación
 - Monocanal
 - *Permiten procesar y adquirir una sola señal.*
 - *Ejemplo: Monitorización o control de la temperatura de un recinto.*

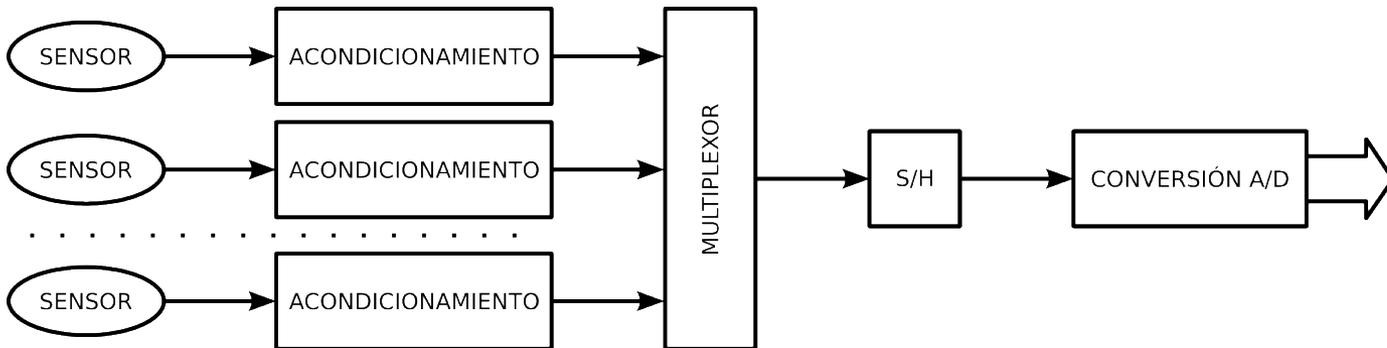
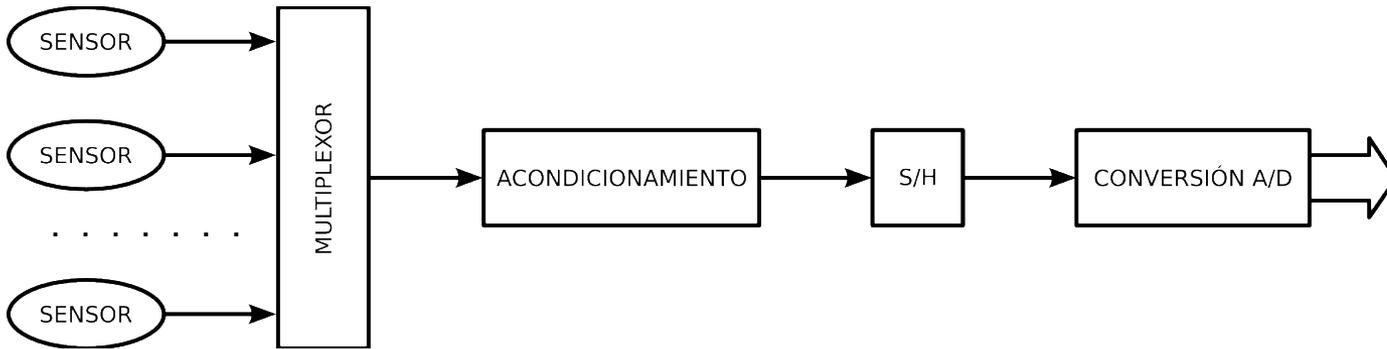


- Multicanal
 - *Permiten procesar y adquirir varias señales.*
 - *Ejemplo: Estación meteorológica, adquiere las señales correspondientes a temperatura, humedad, presión, velocidad del viento, radiación ultravioleta, ...*



❑ Estructuras

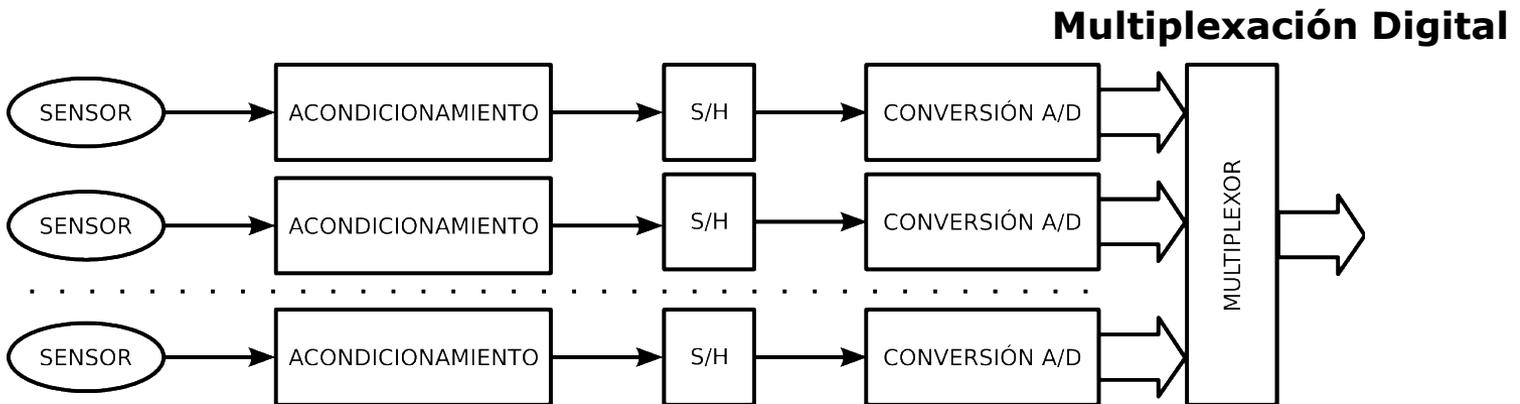
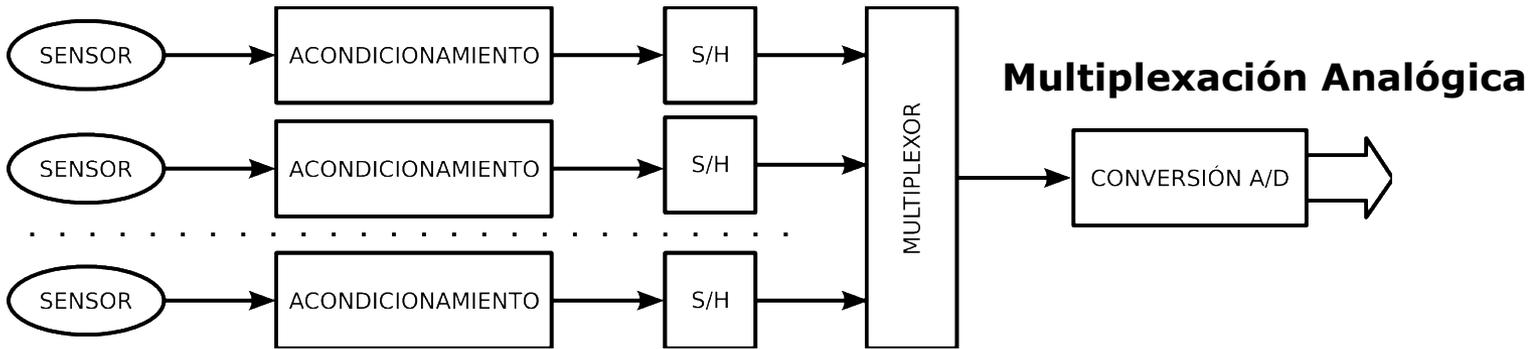
- **Multicanal:** SAD Muestreo secuencial.





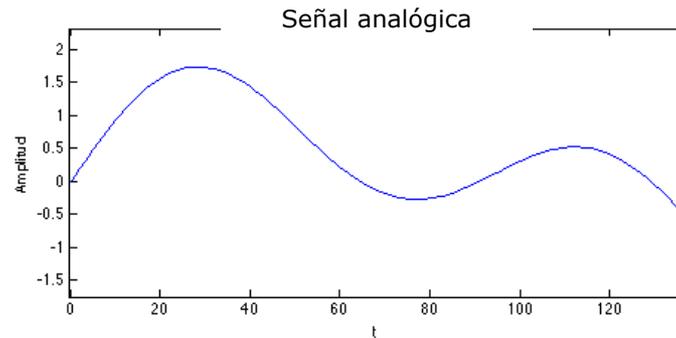
□ Estructuras

- **Multicanal:** SAD Muestreo simultáneo.





- Naturaleza de las señales generadas por los sensores.
 - La señal proporcionada por un sensor analógico, es una variable continua tanto en amplitud como en tiempo. Esto es, pueden adoptar un número infinito de valores de amplitud dentro de un rango determinado de amplitud y tiempo de observación cualquiera.



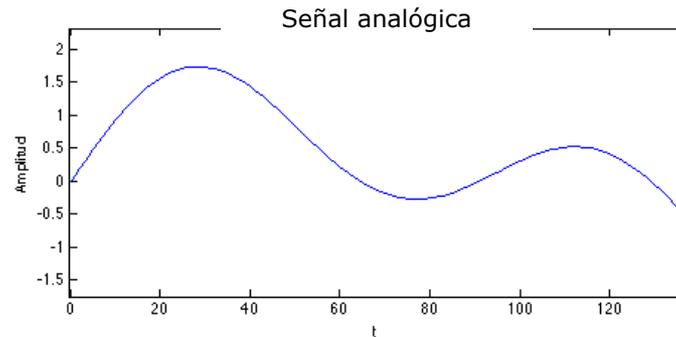
- Las señales continuas se procesan con sistemas analógicos.
 - *Registro y visualización analógicos, control continuo.*
- Los sistemas digitales requieren señales discretas tanto en amplitud como en el tiempo.
 - *Registro y visualización digital, control discreto.*



□ Representación de señales continuas.

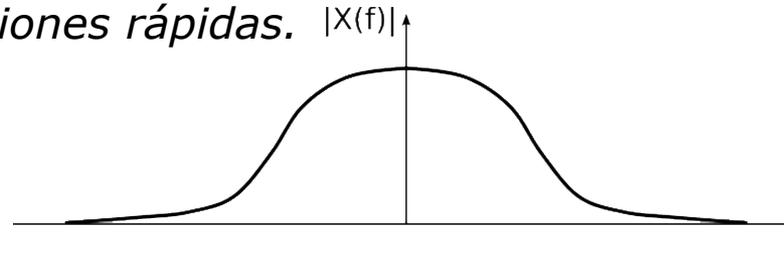
■ Representación en función del tiempo

- $x = f(t)$. Representa la evolución de la amplitud de la señal a lo largo del tiempo.



■ Representación en función de la frecuencia, "espectro de una señal"

- $X = F(f)$; f = frecuencia. Representa la distribución de la energía con la frecuencia de las componentes de una señal.
- Una señal con energía concentrada principalmente en baja frecuencia tiene variaciones lentas, y una señal con energía concentrada en alta frecuencia tiene variaciones rápidas.

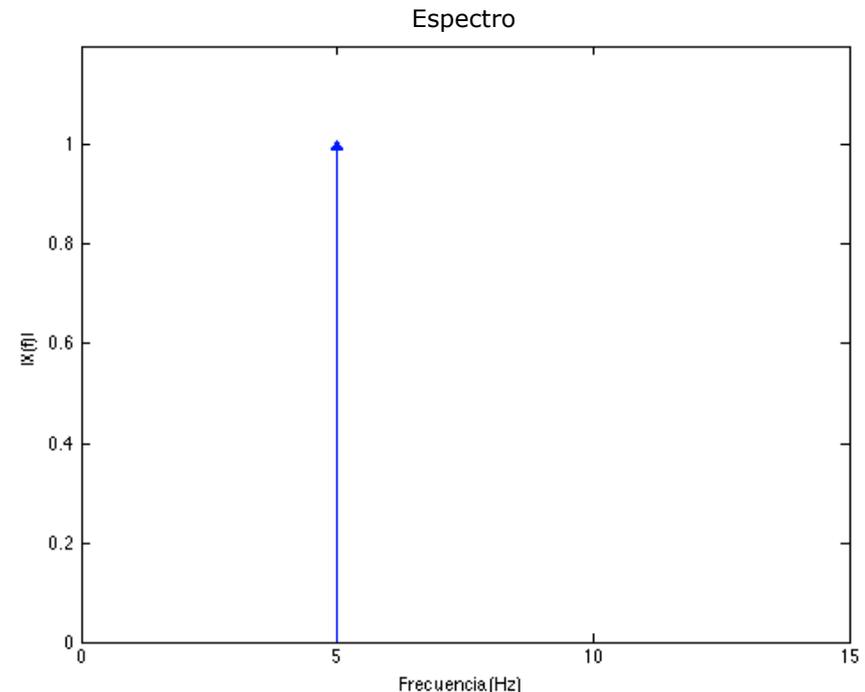
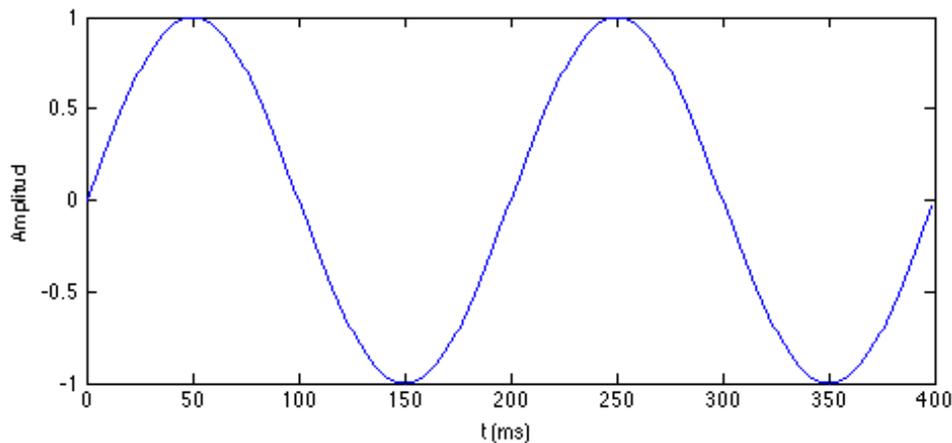




□ Representación de señales continuas.

■ Ejemplo de espectro de señales

■ $x = \text{seno}(w_1 t), f_1 = 5\text{Hz}$



- *El espectro tiene una componente única en la frecuencia de la señal senoidal.*



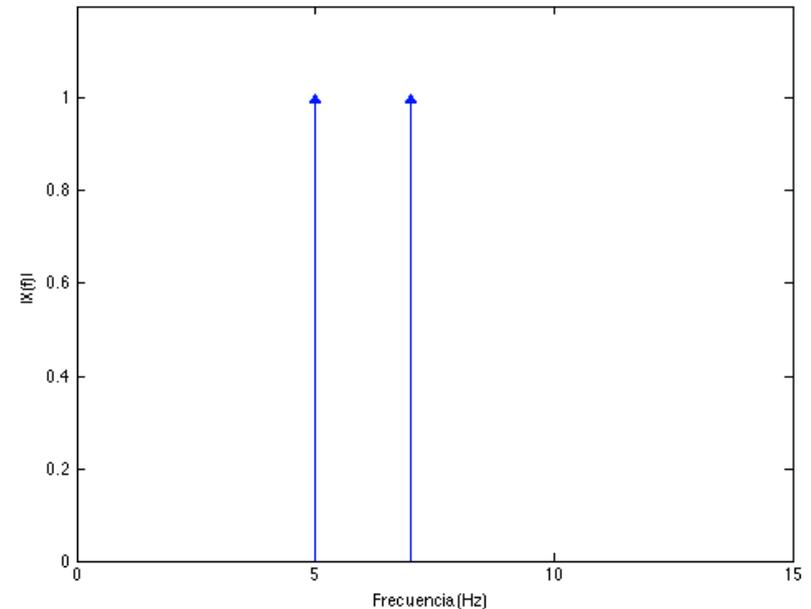
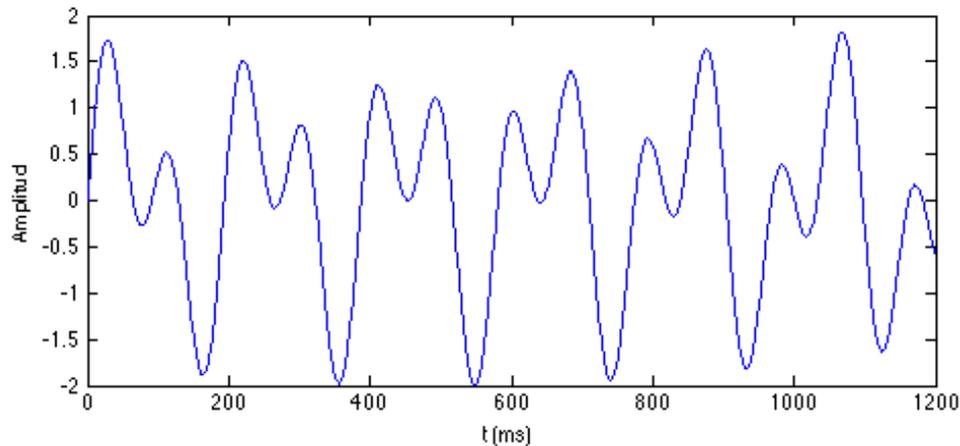
□ Representación de señales continuas.

■ Ejemplo de espectro de señales

■ $x = \text{seno}(w_1 t) + \text{seno}(w_2 t),$

$f_1 = 5\text{Hz}, f_2 = 7\text{Hz}$

Espectro



- *El espectro de la suma es igual a la suma de los espectros de cada una de las señales.*

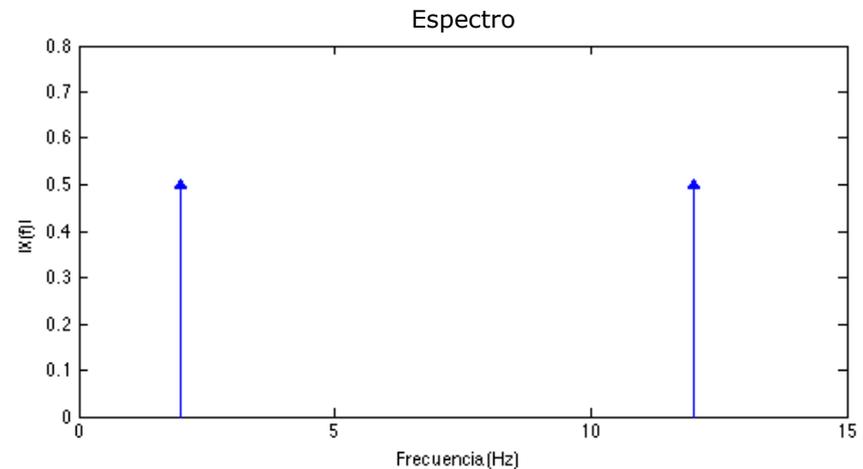
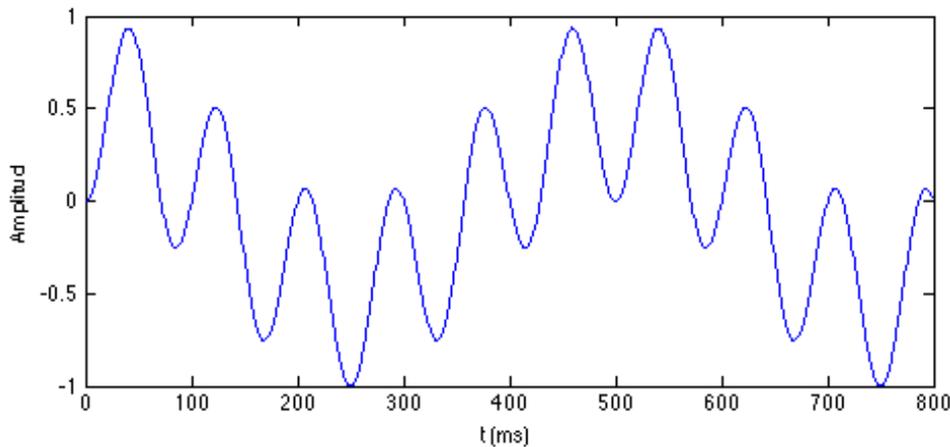


□ Representación de señales continuas.

■ Ejemplo de espectro de señales

■ $x = \text{seno}(w_1 t) \cdot \text{seno}(w_2 t),$

$f_1 = 5\text{Hz}, f_2 = 7\text{Hz}$



- El producto de dos senos proporciona una señal con un espectro con componentes en las frecuencias suma y diferencia, esto se puede deducir aplicando la expresión que permite convertir un producto de funciones senoidales en una suma:

$$\text{seno}(a) \cdot \text{seno}(b) = (\cos(a-b) - \cos(a+b)) / 2$$

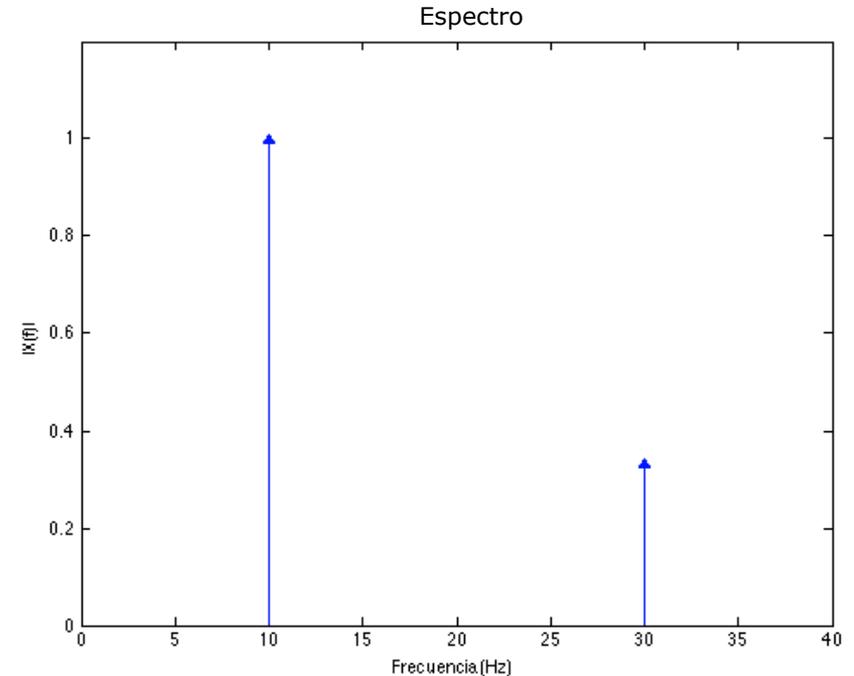
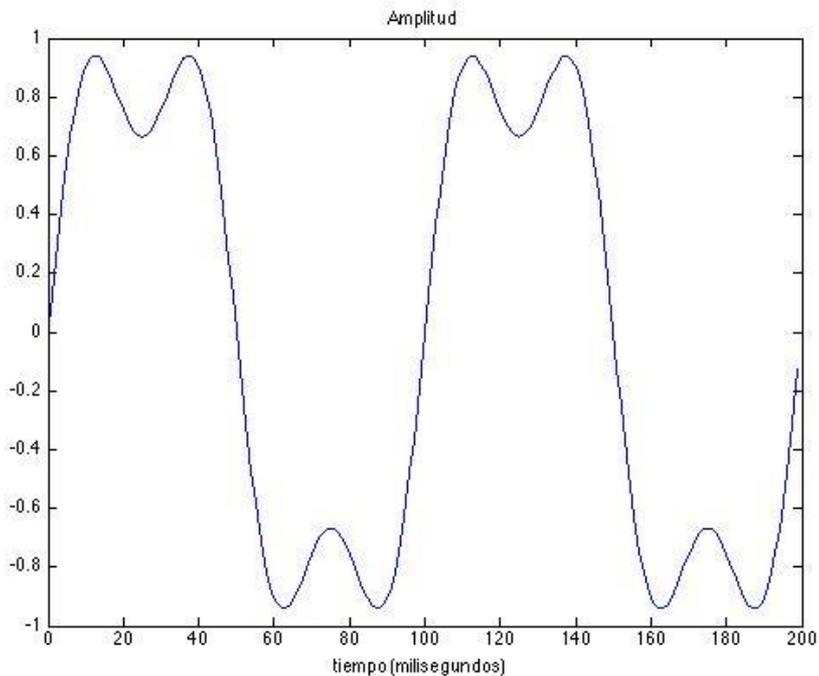


□ Representación de señales continuas.

■ Ejemplo de espectro de señales

■ $x = \text{seno}(w_1 t) + \text{seno}(3 \cdot w_1 t)/3;$

$f_1 = 10\text{Hz}$

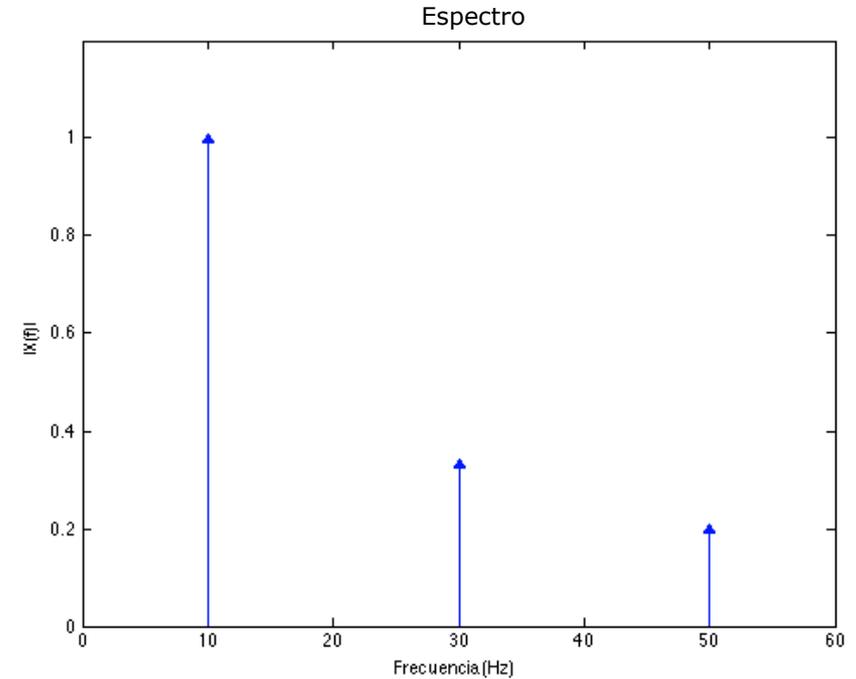
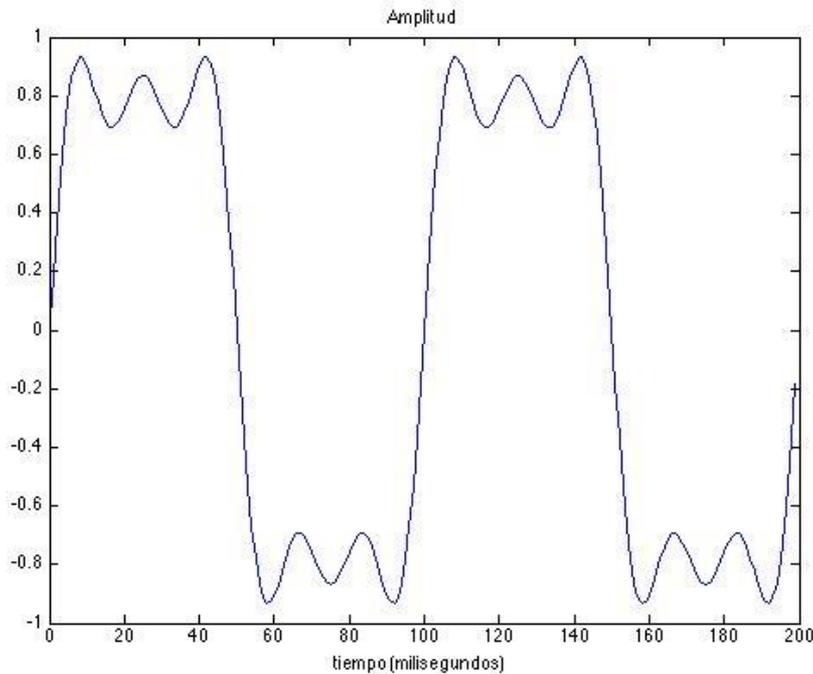




□ Representación de señales continuas.

■ Ejemplo de espectro de señales

■ $x = \text{seno}(w_1 t) + \text{seno}(3 \cdot w_1 t)/3 + \text{seno}(5 \cdot w_1 t)/5; \quad f_1 = 10\text{Hz}$

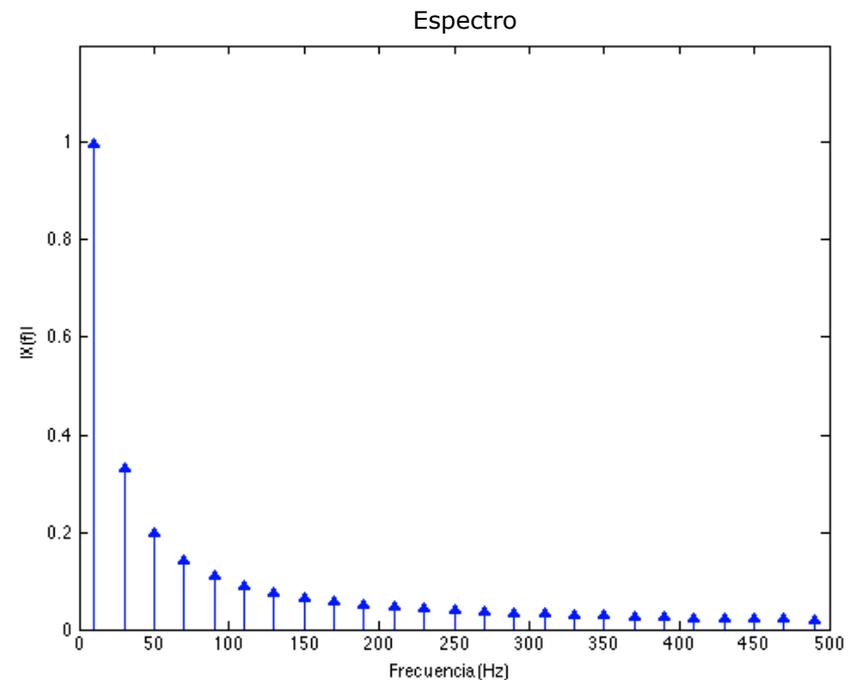
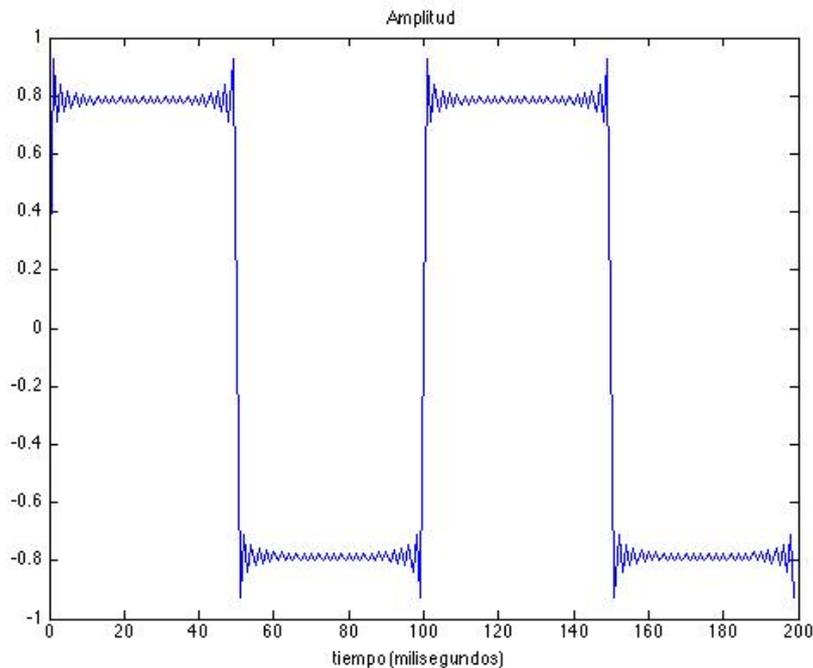




□ Representación de señales continuas.

■ Ejemplo de espectro de señales

■ $x = \text{seno}(w_1 t) + \text{seno}(3 \cdot w_1 t)/3 + \text{seno}(5 \cdot w_1 t)/5 + \dots(49f); \quad f_1 = 10\text{Hz}$

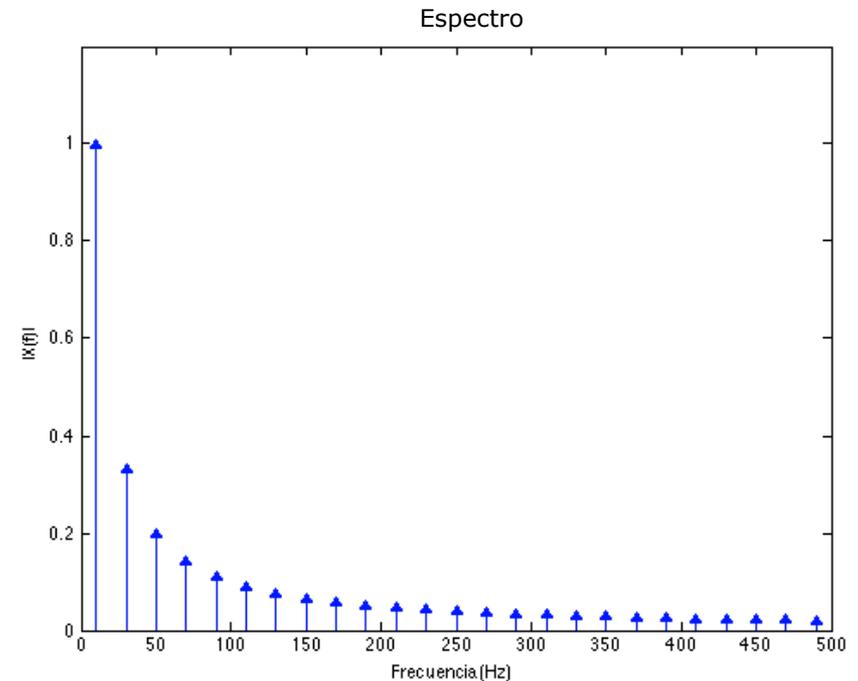
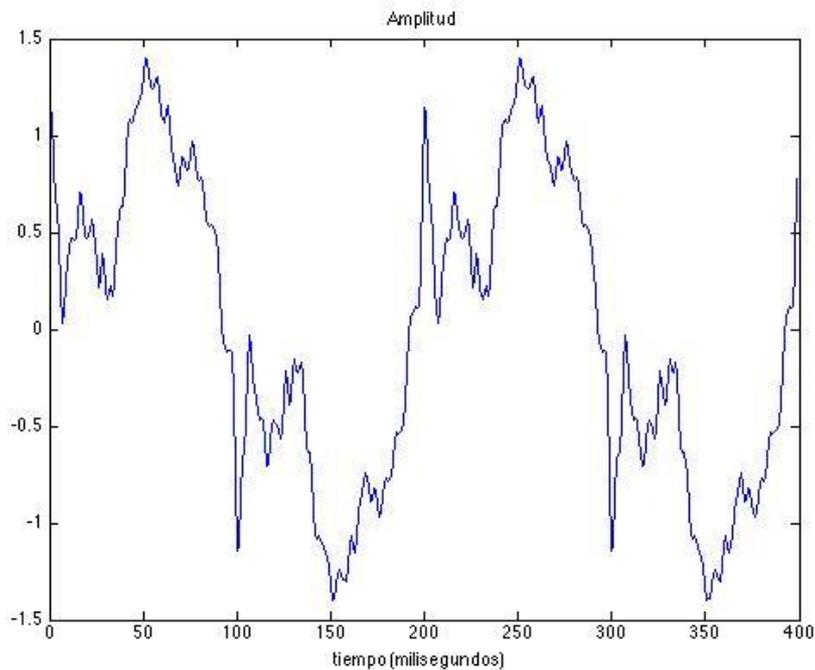




□ Representación de señales continuas.

■ Ejemplo de espectro de señales

■ $x = \text{seno}(w_1 t + \phi_1) + \text{seno}(3 \cdot w_1 t + \phi_3)/3 + \text{seno}(5 \cdot w_1 t + \phi_5)/5 + \dots$ (49f);
 $f_1 = 10\text{Hz}$



La variación de fase de las componentes, respecto al ejemplo de la transparencia anterior, modifica completamente la forma de onda.

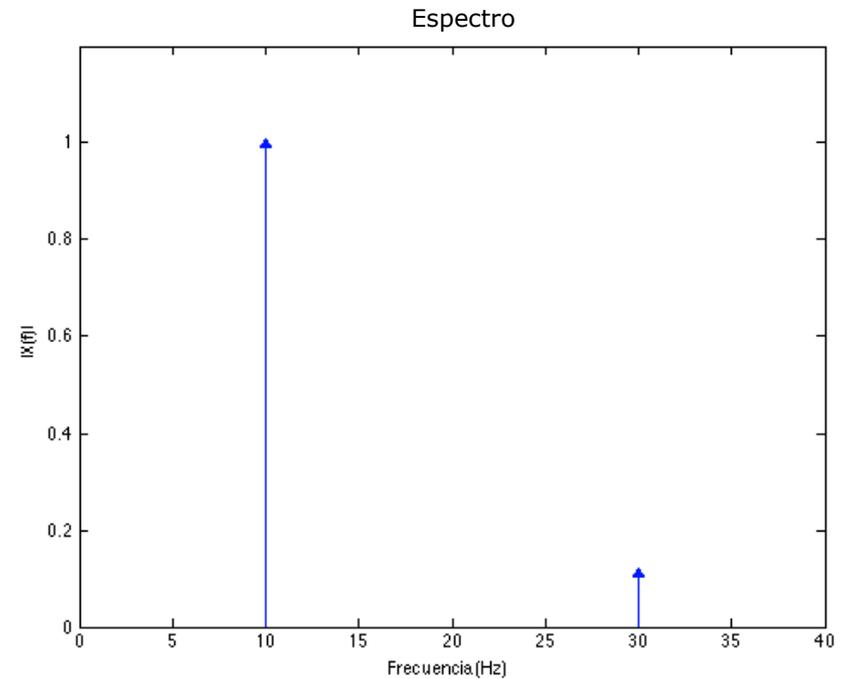
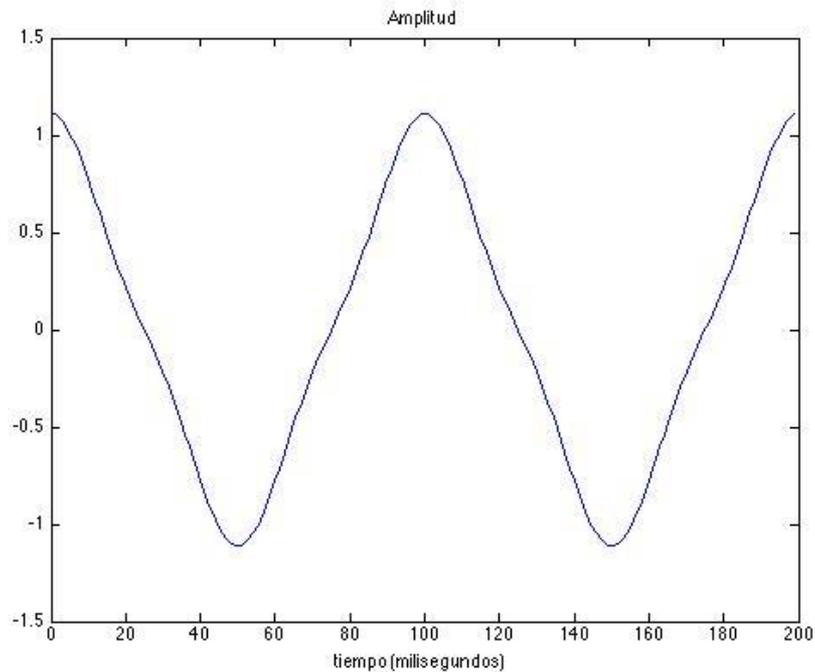


□ Representación de señales continuas.

■ Ejemplo de espectro de señales

■ $x = \cos(w_1 t) + \cos(3 \cdot w_1 t) / 3^2;$

$f_1 = 10\text{Hz}$

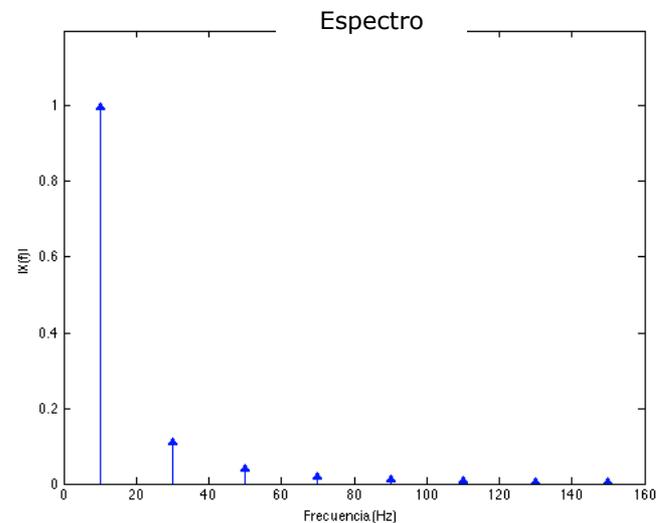
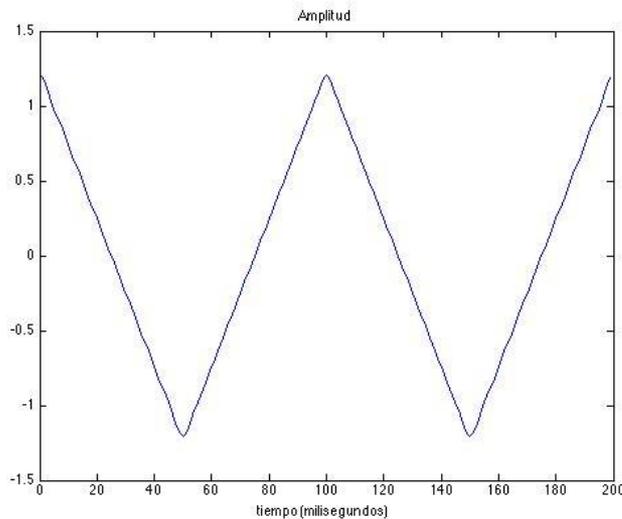




□ Representación de señales continuas.

■ Ejemplo de espectro de señales

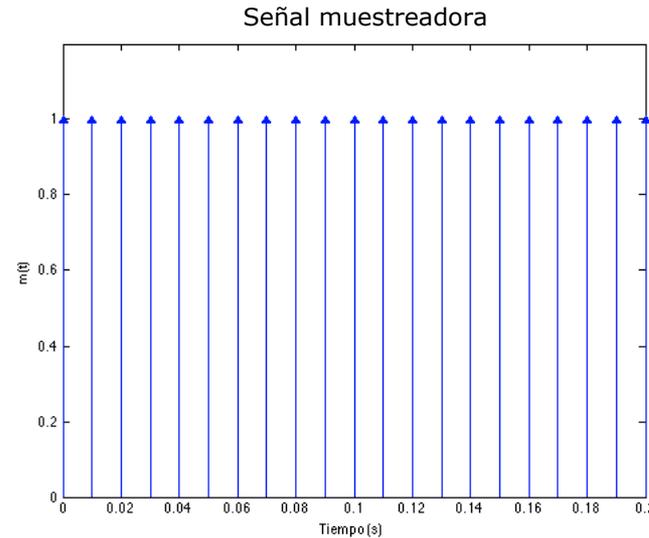
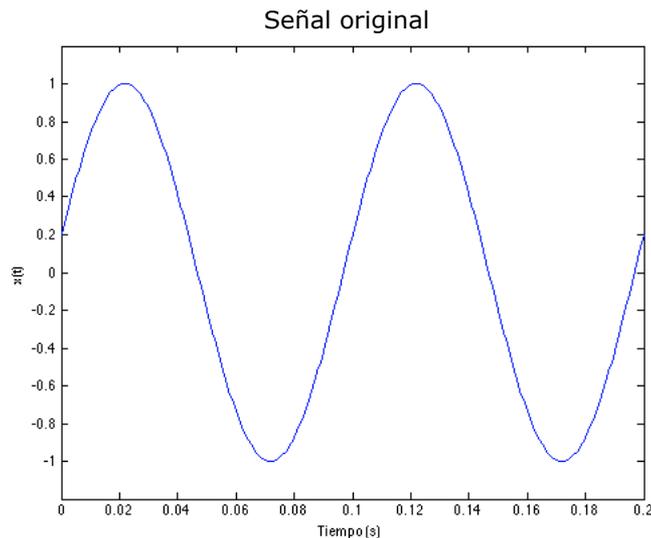
$$\blacksquare x = \cos(\omega_1 t) + \cos(3 \cdot \omega_1 t)/3^2 + \cos(5 \cdot \omega_1 t)/5^2 + \dots \quad (15f); \quad f_1 = 10\text{Hz}$$



- Una señal triangular tiene infinitas componentes, pero, como se aprecia, con sólo 8 su forma es prácticamente perfecta, esto es debido a que la energía de la señal se concentra en las frecuencias más bajas.
- Teorema de Fourier. Cualquier señal se puede descomponer en una suma de señales senoidales con amplitudes, frecuencias y fases determinadas.

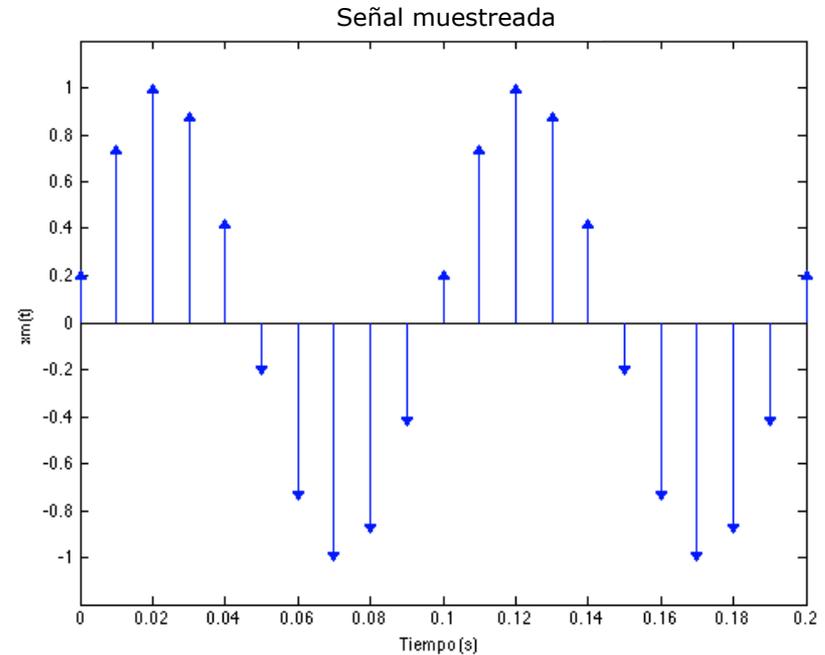
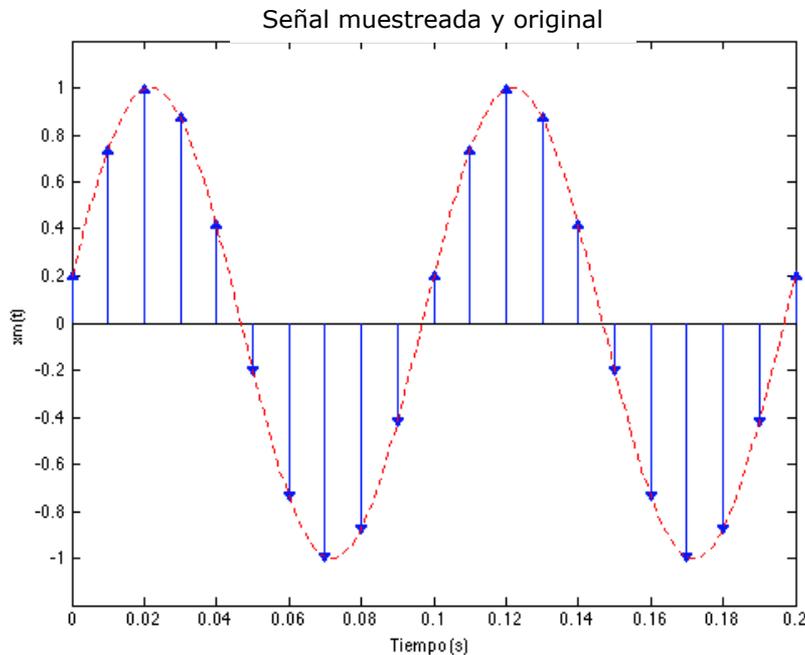


- ❑ Los sistemas digitales no pueden procesar informaciones de tamaño infinito, por lo que se hace necesario discretizar las señales continuas.
 - *Muestreo: Consiste en capturar valores de la señal de entrada (muestras) en instantes de tiempo determinados y finitos.*
 - El intervalo de tiempo entre muestras se denomina "período de muestreo" T_s y su inversa la frecuencia de muestreo f_s
- ❑ El muestreo ideal es el resultado de multiplicar la señal a muestrear por un tren de deltas.



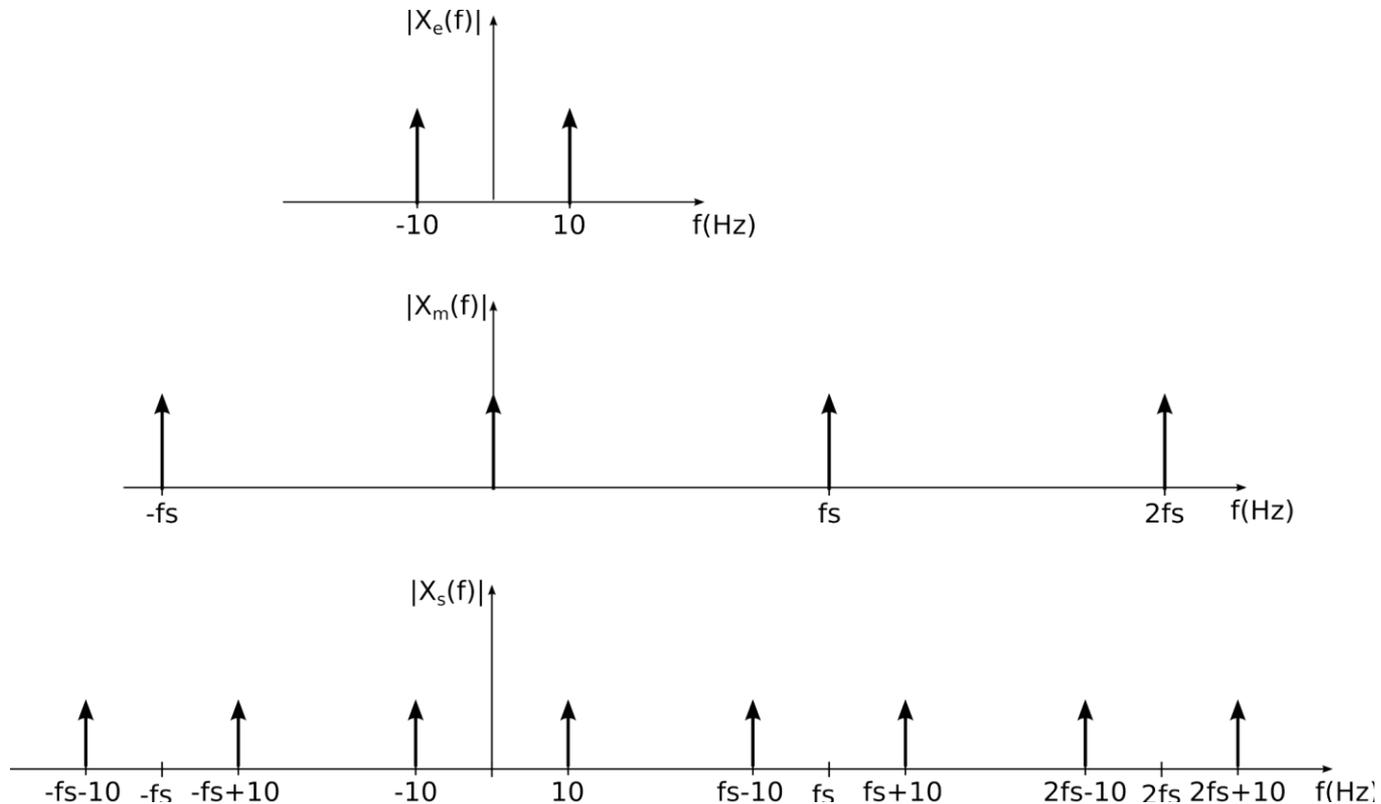


- El muestreo ideal es el resultado de multiplicar la señal a muestrear por un tren de deltas.



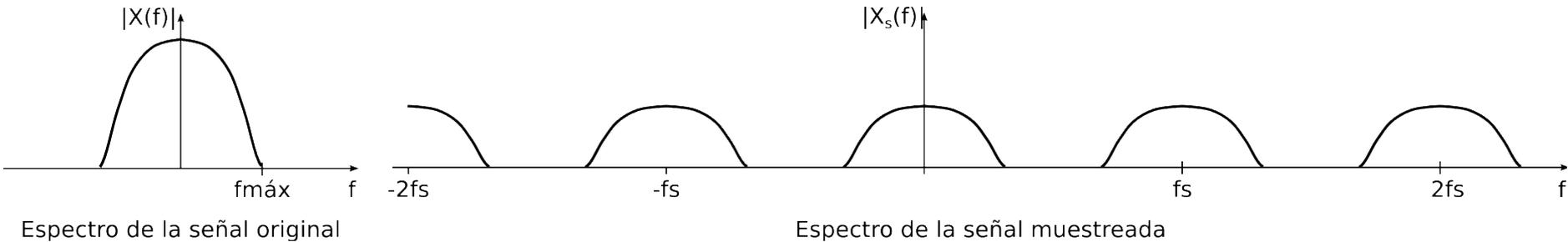


- El espectro de la señal muestreadora es un tren de deltas con frecuencias múltiplos de f_s , por lo que el resultado del producto tendrá un espectro con energía en las frecuencias de los valores suma y diferencia de las frecuencias de la señal muestreadora y la muestreada.

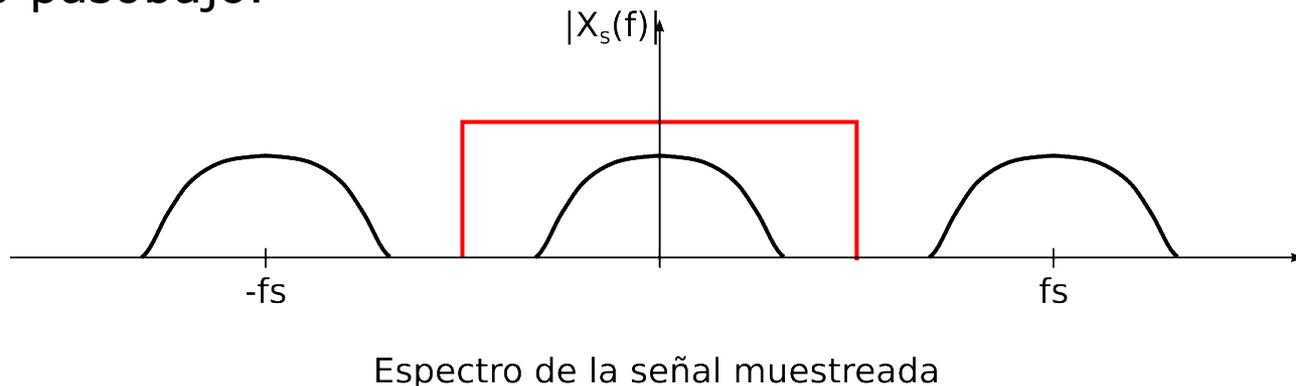




- De forma general, el muestreo provoca que el espectro de la señal original se repita centrado en múltiplos de la frecuencia de muestreo.



- Para recuperar la señal original hay que filtrar la señal muestreada con un filtro pasobajo.



- En el proceso de muestreo, **idealmente**, no debe perderse información de la señal. Para que esto sea así la frecuencia de muestreo debe cumplir la condición:

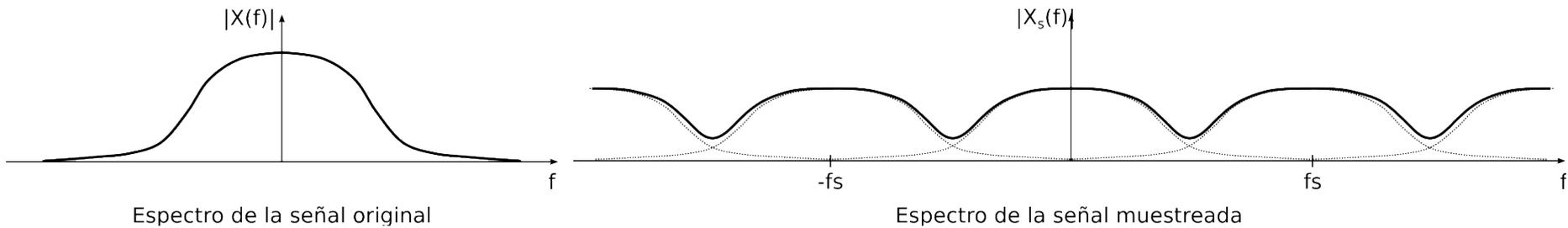
$$f_s \geq 2 \cdot f_N, \text{ siendo } f_N = \text{frecuencia de Nyquist} = f_{\text{máx}} \text{ de la señal muestreada.}$$



Sistemas de adquisición de datos

Muestreo de señales en el tiempo

- El espectro de una señal finita en el tiempo es ilimitado en frecuencia.
 - Muestreo \Rightarrow Solapamiento (Aliasing)

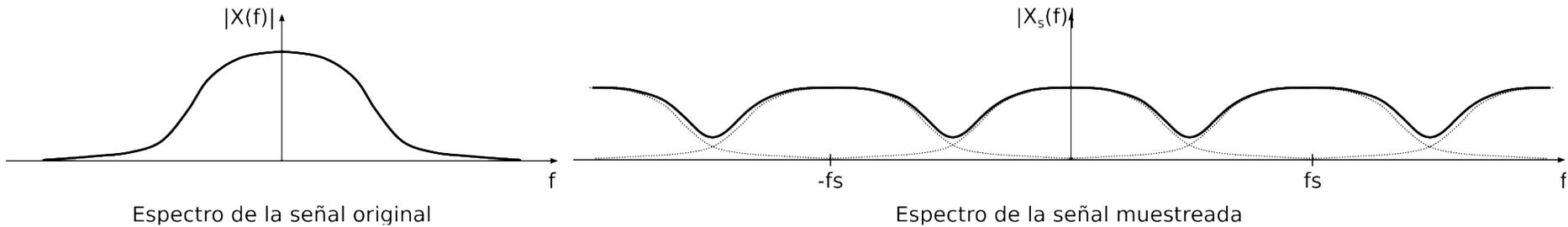




Sistemas de adquisición de datos

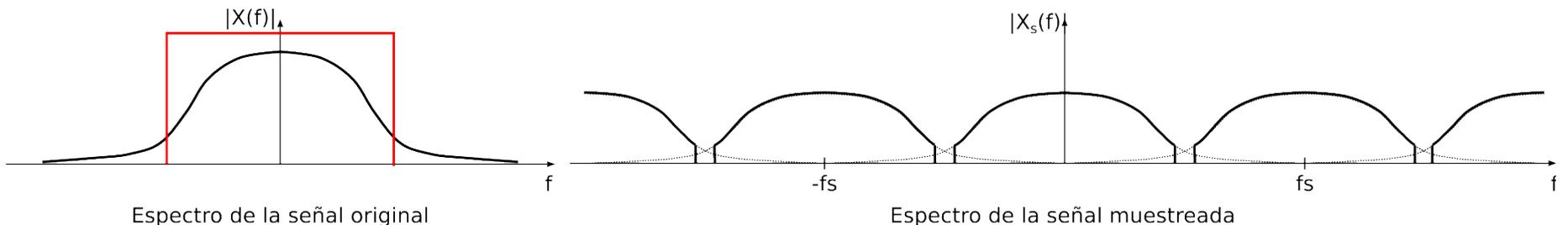
Muestreo de señales en el tiempo

- El espectro de una señal finita en el tiempo es ilimitado en frecuencia.
 - Muestreo \Rightarrow Solapamiento (Aliasing)



- Para evitar el solapamiento:

- Ancho de banda infinito \Rightarrow f_s infinita
- Para eliminar la energía en alta frecuencia de la señal de entrada:
 - *Filtro antialiasing ideal: Preserva la información principal*

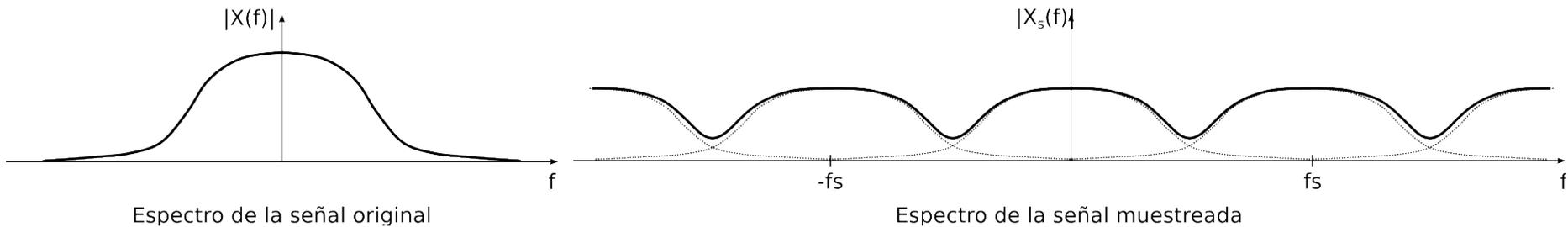




Sistemas de adquisición de datos

Muestreo de señales en el tiempo

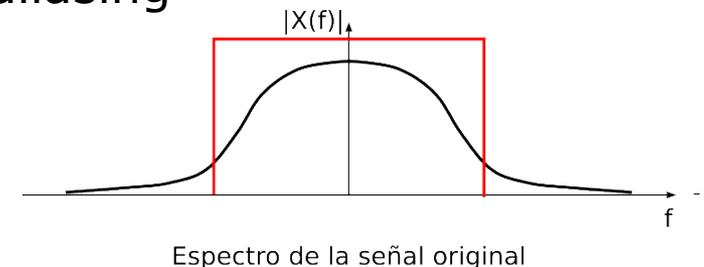
- El espectro de una señal finita en el tiempo es ilimitado en frecuencia.
 - Muestreo \Rightarrow Solapamiento (Aliasing)



- Para evitar el solapamiento:
 - Ancho de banda infinito \Rightarrow f_s infinita
 - Para eliminar la energía en alta frecuencia de la señal de entrada:
 - *Filtro antialiasing ideal: Preserva la información principal*

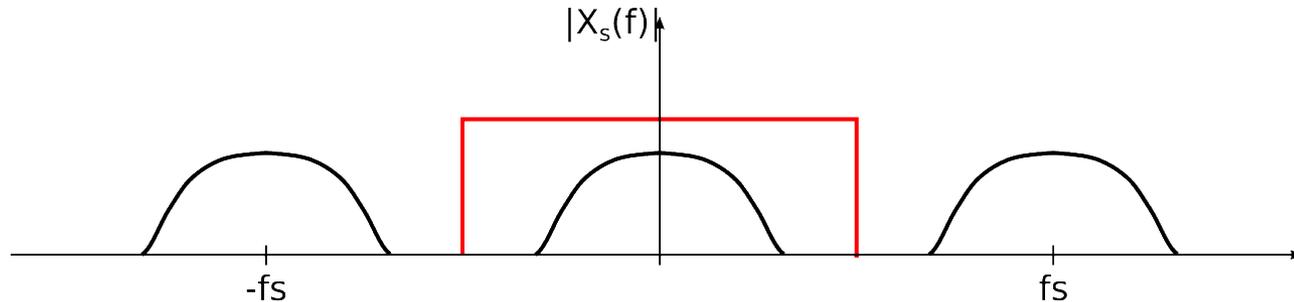
- Características deseadas de los filtros antialiasing

- Banda de paso de ganancia constante
- Caída abrupta para **limitar** el aliasing
- Baja distorsión de fase





- ❑ La reconstrucción ideal de una señal muestreada se realiza con un filtro paso-bajo ideal.



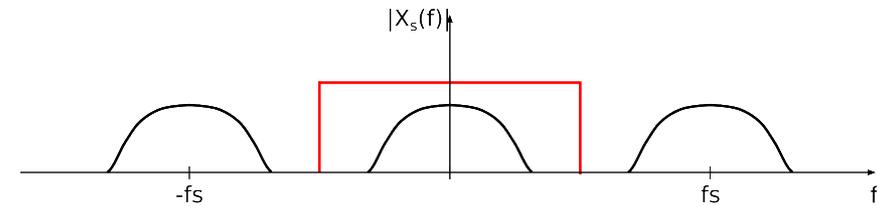
Espectro de la señal muestreada

- ❑ Dicha reconstrucción consiste en multiplicar, en el dominio de la frecuencia, el espectro de la señal muestreada por el de la función de transferencia del filtro.
- ❑ Trasladado el filtrado al dominio del tiempo, la equivalencia es convolucionar la señal muestreada con la transformada inversa de la función de transferencia del filtro.



- La transformada inversa de un filtro paso-bajo ideal con frecuencia de corte f_C , es una función sinc.

- $h(t) = \text{sinc}(2 \cdot f_C \cdot t)$
- $\text{sinc}(0) = 1$
- $x \neq 0: \text{sinc}(x) = \text{sen}(\pi x) / (\pi x)$

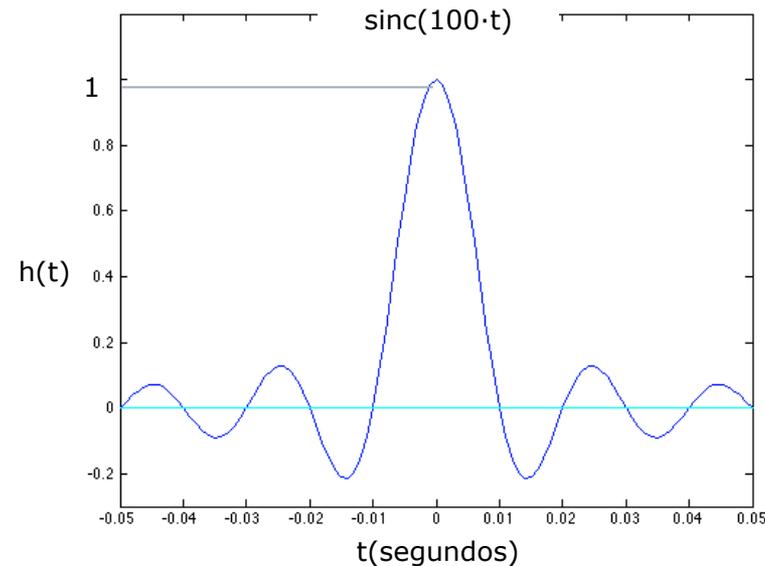


Espectro de la señal muestreada

- La señal $\text{sinc}(x)$ toma valor 1 para $x=0$ y valor 0 para valores enteros de x .

- Tomando $f_C = f_S/2$, $f_S = 100$ Hz

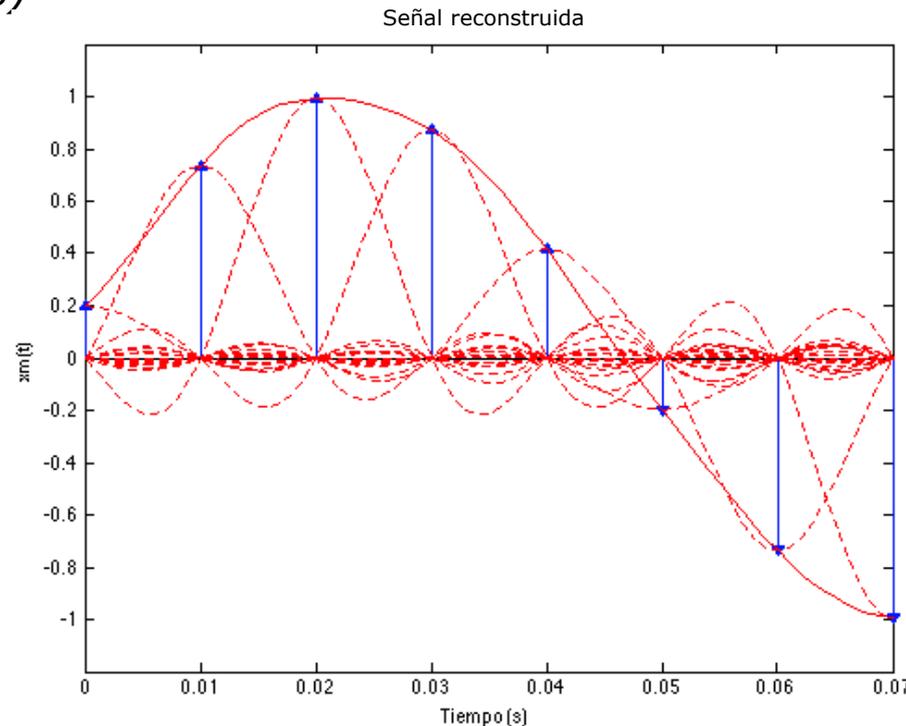
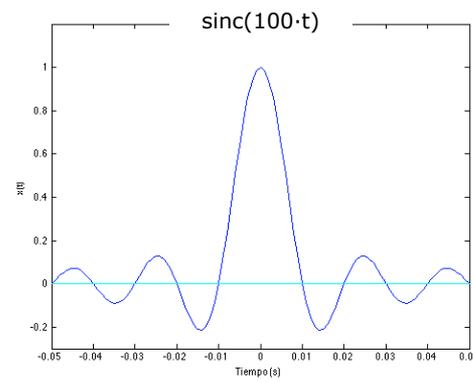
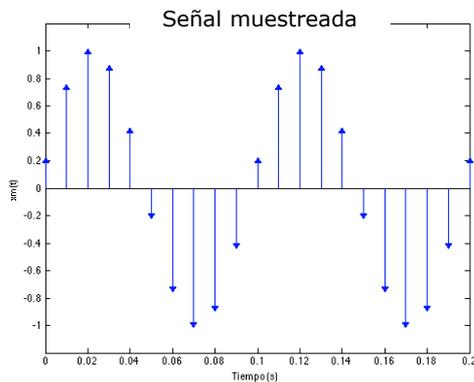
- $h(t) = \text{sinc}(t/T_s)$ $T_s = 10\text{ms}$





- Sumando los valores de la señal *sinc* desplazada se reconstruye la señal original (Función convolución).

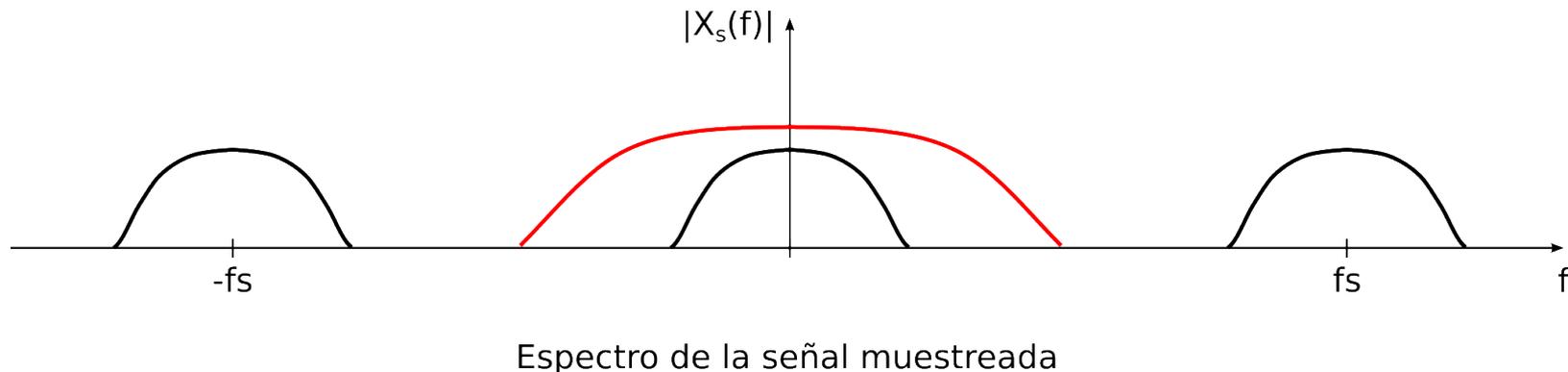
- $x(t) = \sum_n x(n \cdot Ts) \cdot \text{sinc}((t - n \cdot Ts)/Ts)$



- Este tipo de filtro es no causal (necesita valores de la señal que todavía no se conocen), por lo que no es posible emplearlo en tiempo real.



- En la práctica se emplean filtros menos abruptos que permiten limitar la potencia de las imágenes a un valor admisible por la aplicación.
 - *Efecto de incrementar la frecuencia de muestreo → Al separar las imágenes en el espectro, permite reducir el orden del filtro para un valor dado de potencia permitida de las imágenes.*





- ❑ El muestreo permite conservar la información contenida en una señal reduciendo la cantidad de datos a un valor finito:

Discretización eje de tiempo: Muestreo

- ❑ Las posibles amplitudes de una señal analógica con un rango finito, son infinitas, por lo tanto, es necesario acotar los posibles valores de los datos a un número finito y asignarle a cada valor un código digital:

Discretización eje de amplitudes: Cuantificación



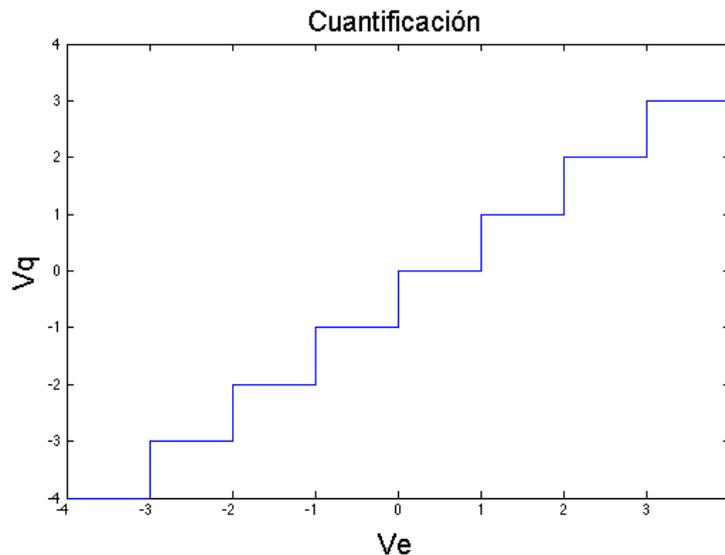
Sistemas de adquisición de datos

Conversión Analógica Digital

- ❑ Pasos para la conversión analógico-digital.
 - Muestreo y retención
 - Cuantificación
 - Codificación
- ❑ Retención
 - Mantiene el valor analógico de la muestra de la señal el tiempo suficiente para realizar la cuantificación
- ❑ Cuantificación
 - Convierte una señal con infinitos valores de amplitud a otra con un número finito de amplitudes.
 - Es un proceso de **aproximación** de la magnitud de la señal.
 - Se asigna un valor de salida a un rango de valores de la señal de entrada.
- ❑ Codificación
 - En este paso se le asigna a cada valor de salida un código digital.
 - Los códigos digitales más empleados son el binario natural, el binario desplazado y el complemento a 2.



- Ejemplo de conversión A/D.
 - Sea $x(t)$ una señal analógica continua tal que:
 - $-4v \leq x(t) \leq 4v$
 - *Rango de entrada = Fondo de escala (FS) = $8v = V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n}$*
 - Número de subconjuntos = $M = 8$
 - Escalón de cuantificación : $q = FS/M = 1v$
 - M suele ser 2^N , siendo N el número de bits.
 - Función de transferencia de un cuantificador por truncamiento:





□ Ejemplo de conversión A/D.

- Codificación y representación de la función de transferencia en datos

V_e	V_q	Binario	Binario C2
$-4v \leq V_e < -3v$	$-4v$	000	100
$-3 \leq V_e < -2v$	$-3v$	001	101
$-2v \leq V_e < -1v$	$-2v$	010	110
$-1v \leq V_e < 0v$	$-1v$	011	111
$0v \leq V_e < 1v$	$0v$	100	000
$1v \leq V_e < 2v$	$1v$	101	001
$2v \leq V_e < 3v$	$2v$	110	010
$3v \leq V_e \leq 4$	$3v$	111	011

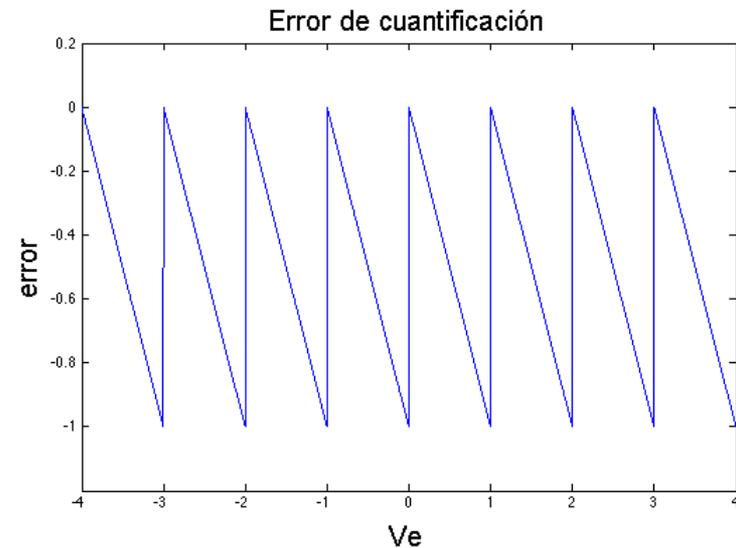
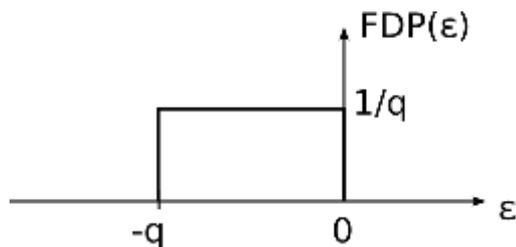
□ Ejemplo de conversión A/D.

- $V_e = 1,7v \Rightarrow V_q = 1v \Rightarrow D_B = 101; D_{C2} = 001$



❑ Error de cuantificación.

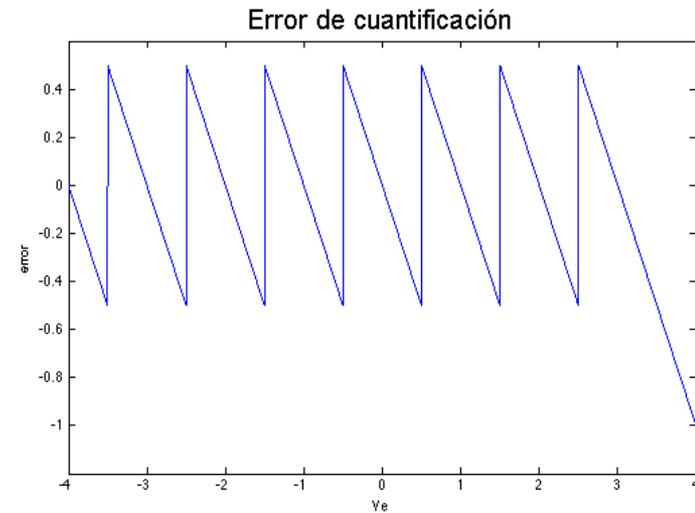
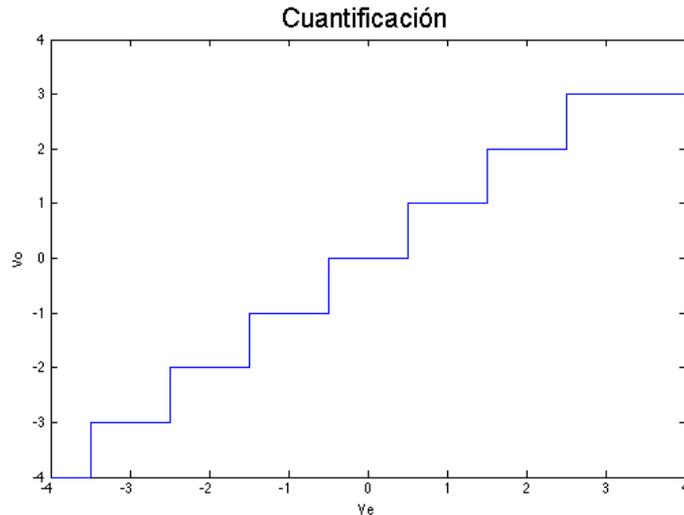
- En el proceso de cuantificación, al representar una señal con infinitos valores de amplitud mediante una señal con un número finito de valores se produce un error.
- Error de cuantificación: $\varepsilon = Vq - V_e$, varía entre $-q$ y 0 para un cuantificador por truncamiento y presenta una función de distribución uniforme entre $-q$ y 0 , con un valor medio de $-q/2$.



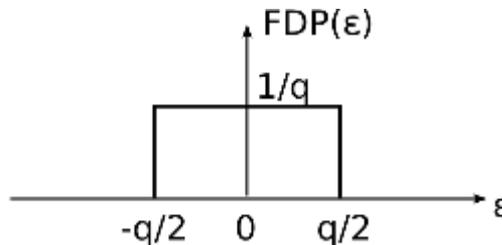


□ Cuantificación con redondeo.

- Introduciendo un offset en la función del cuantificador anterior se obtiene una función de transferencia por redondeo.
- Error de cuantificación: $\varepsilon = V_q - V_e$, varía entre $-q/2$ y $q/2$.



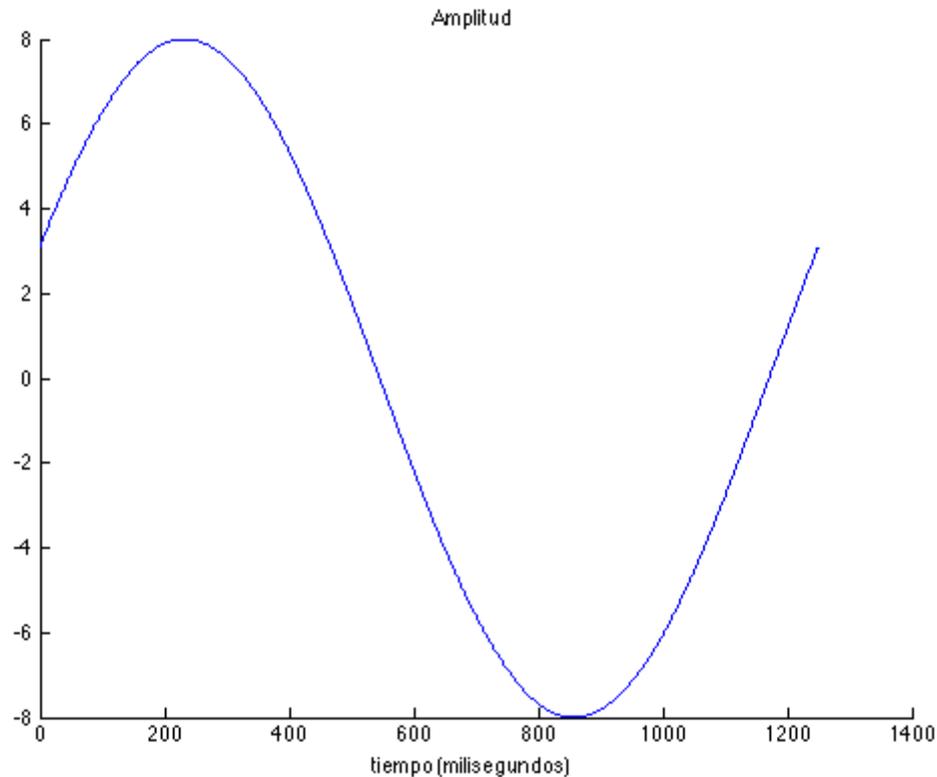
- La función de distribución del error es uniforme entre $-q/2$ y $q/2$ con un error medio de 0.





□ Muestreo y cuantificación de una señal continua

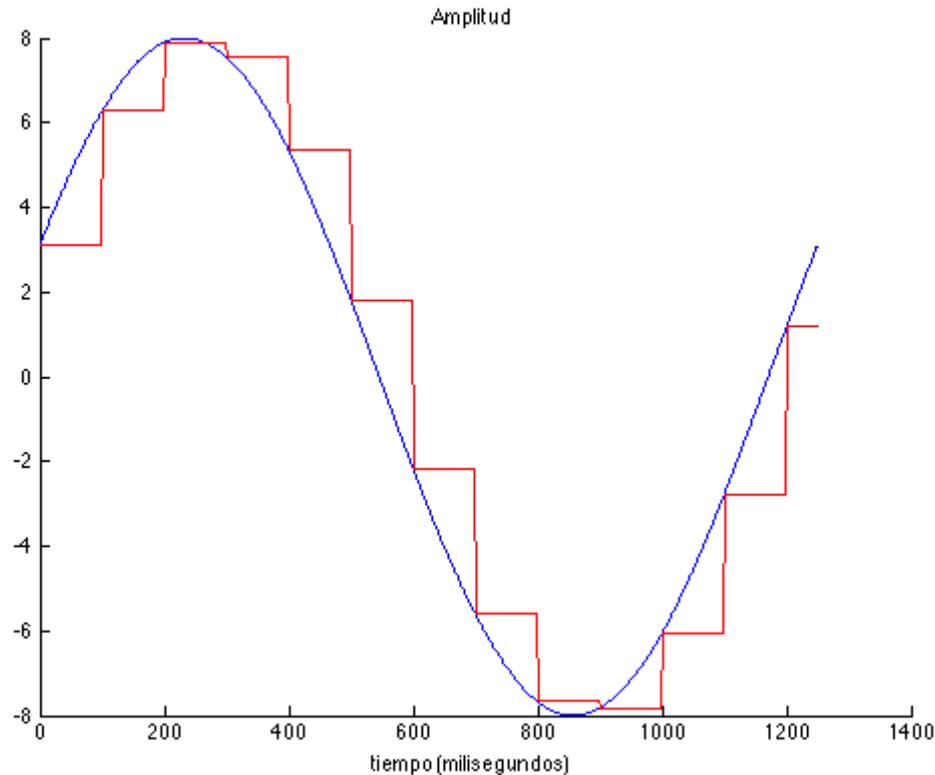
■ *Señal analógica*





□ Muestreo y cuantificación de una señal continua

- *Señal analógica* *Señal muestreada y retenida*



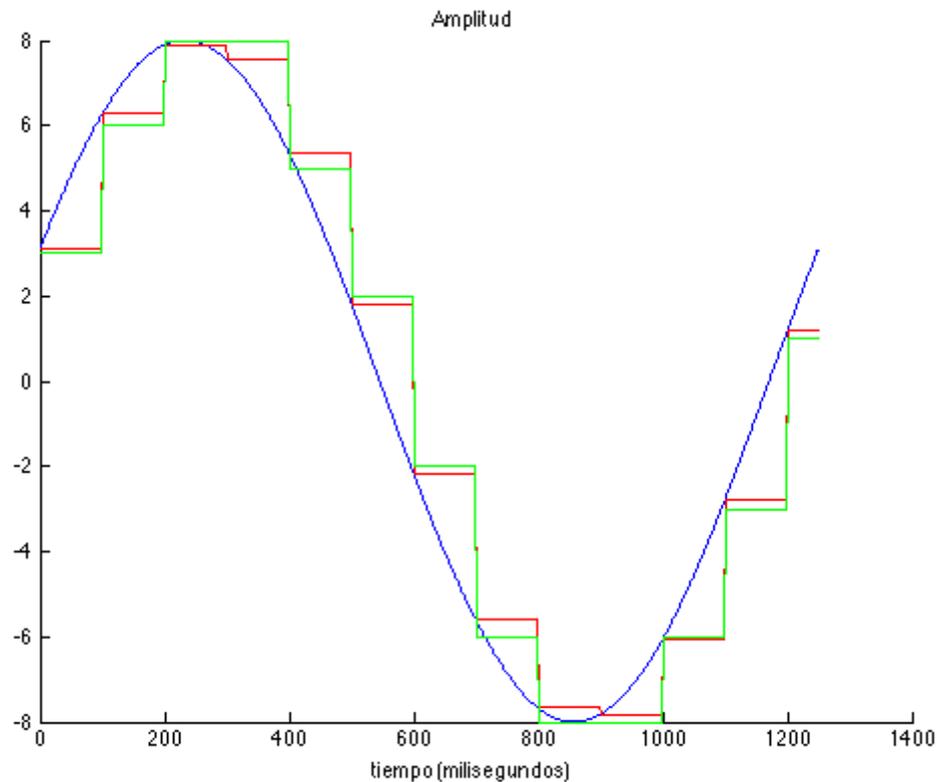


Sistemas de adquisición de datos

Conversión Analógica Digital

□ Muestreo y cuantificación de una señal continua

■ *Señal analógica* *Señal muestreada y retenida* *Señal cuantificada*

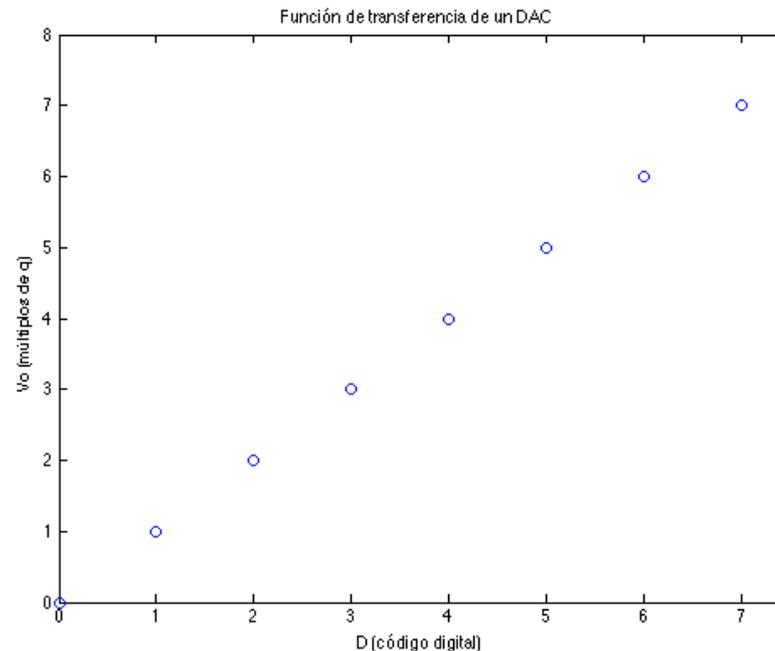




Sistemas de adquisición de datos

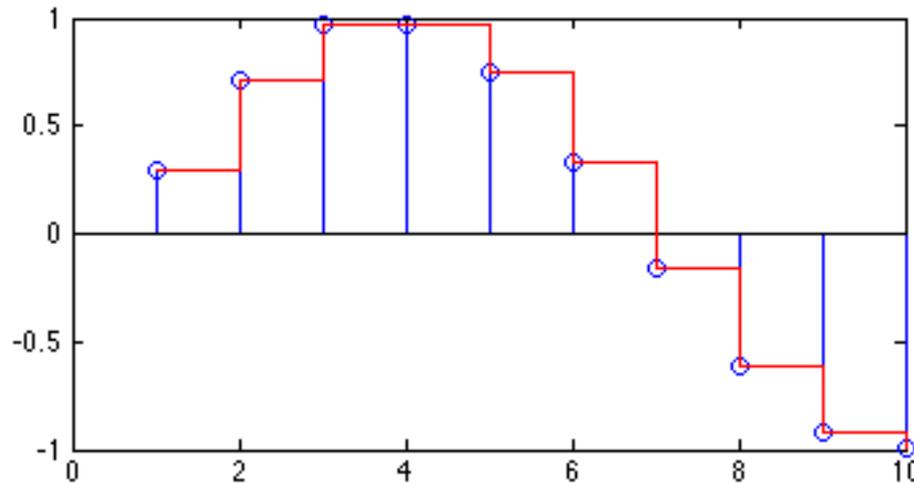
Conversión Digital Analógica

- ❑ A partir de un código digital genera una tensión/corriente proporcional a dicho código.
- ❑ El coeficiente de proporcionalidad es q (escalón de cuantificación)
 - $V_o = q \cdot D + V_x$, donde V_x es el desplazamiento deseado de la función.
 - $q = FS/M$, $M = 2^N$, $N = \text{Número de bits}$ y $FS = \text{Fondo de escala}$.
- ❑ Función de transferencia





- ❑ Para regenerar una señal a partir de sus muestras y que esta presente una energía similar a la de la función original, es necesario mantener el valor de la muestra durante el tiempo T_s ($T_s=1$ en la figura).

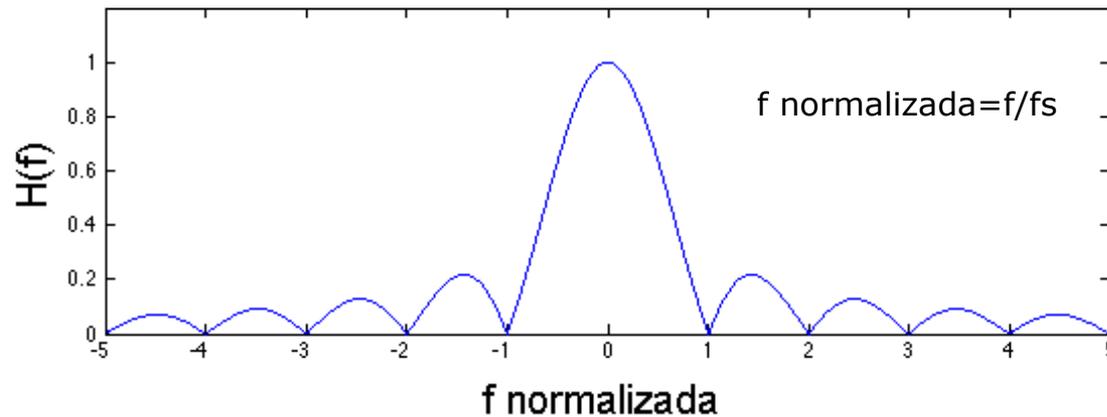


- ❑ Este procedimiento es similar al de retención en las señales muestreadas y se conoce como interpolación de orden 0.
- ❑ Matemáticamente representa la convolución de las muestras generadas con un pulso de amplitud unidad y anchura T_s .

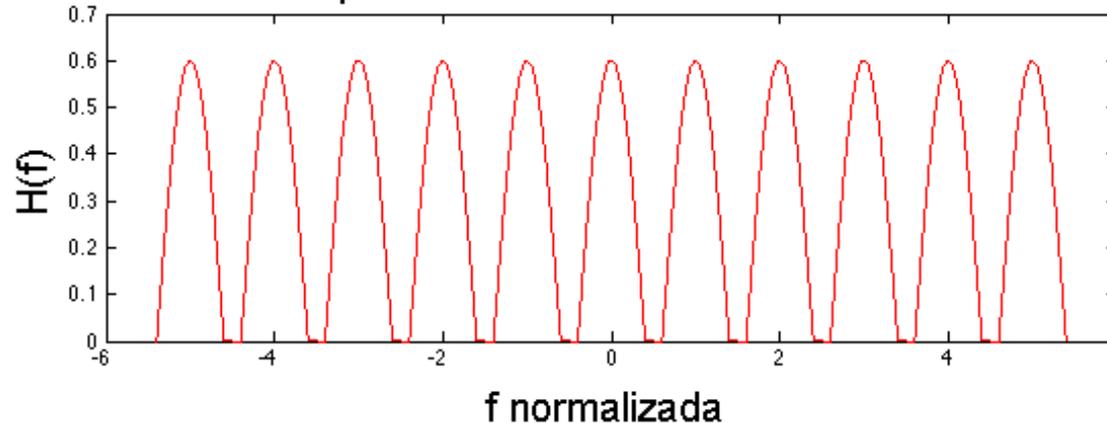


- La convolución de dos señales en el tiempo representa la multiplicación de sus espectros.

Transformada de fourier de un pulso cuadrado de anchura T_s

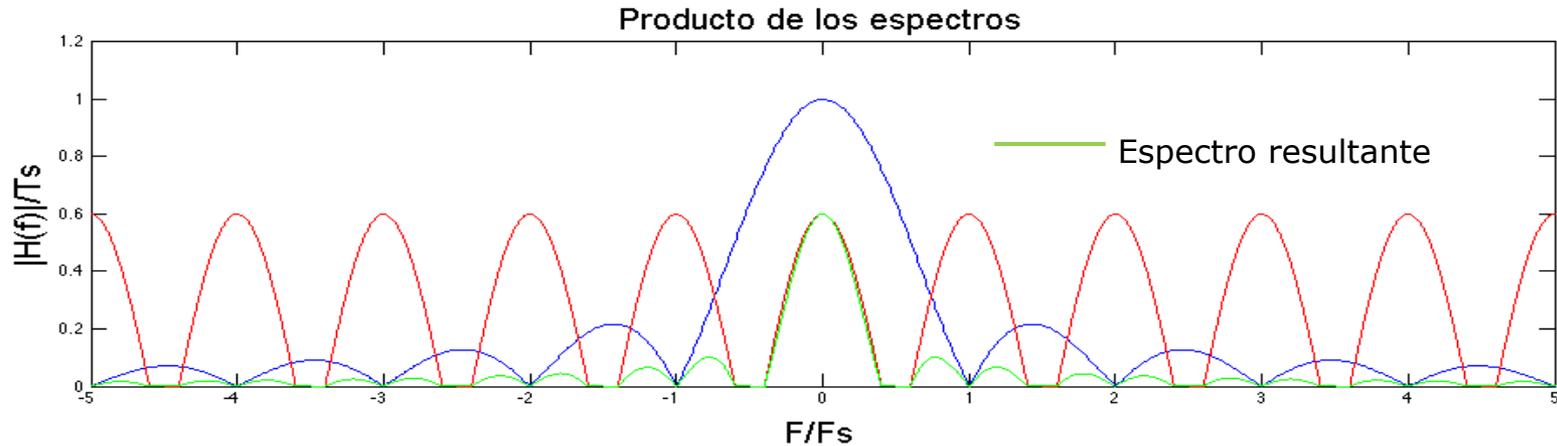


Espectro de una señal muestreada

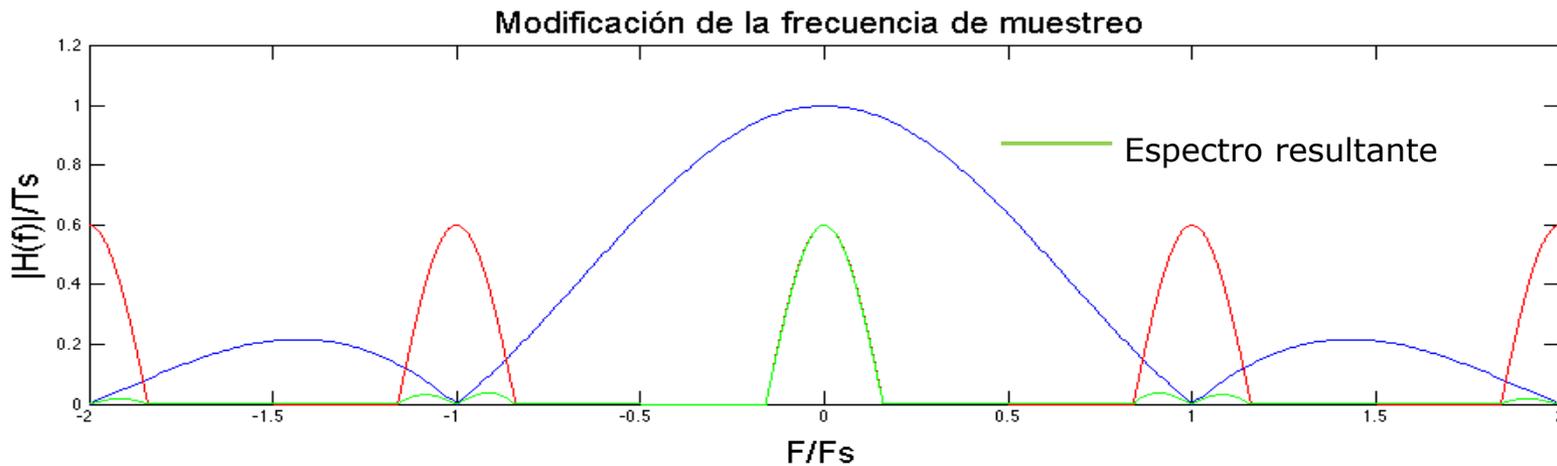




- Multiplicación del espectro de la señal por el de un pulso de anchura T_s .

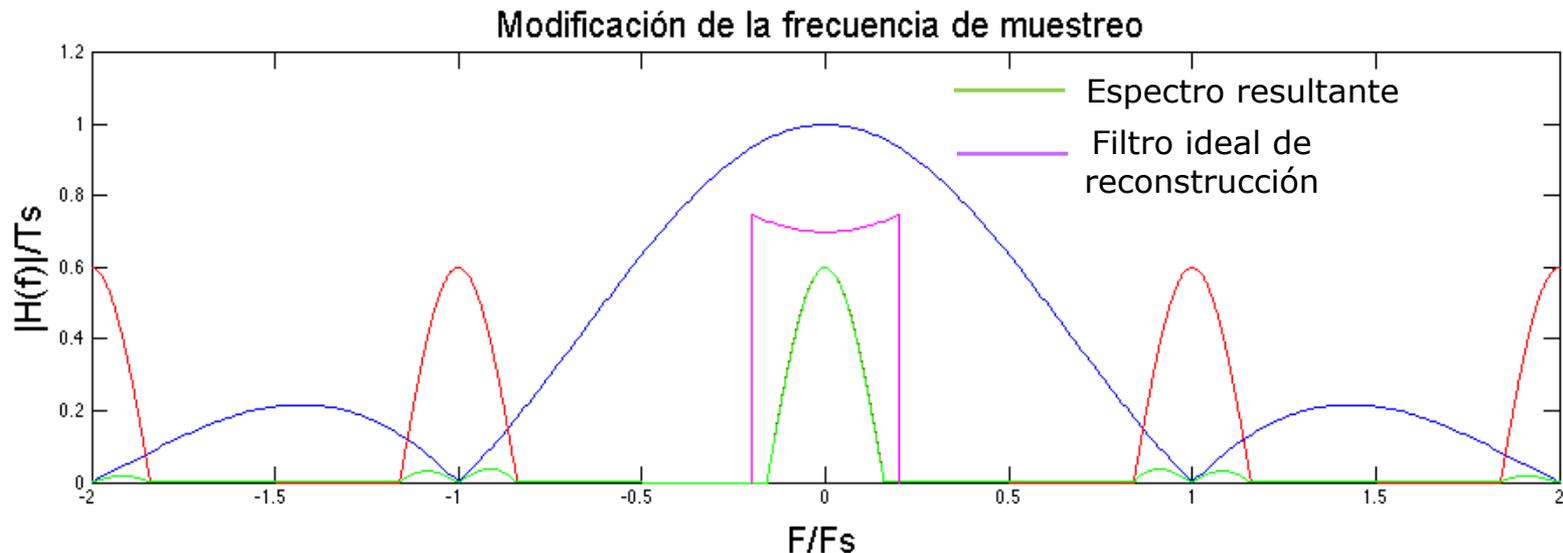


- Aumento de la frecuencia de muestreo.





- ❑ En cualquier caso, para compensar el efecto de la sinc, es necesario utilizar un filtro paso-bajo con la función de transferencia mostrada (Filtro ideal de reconstrucción).

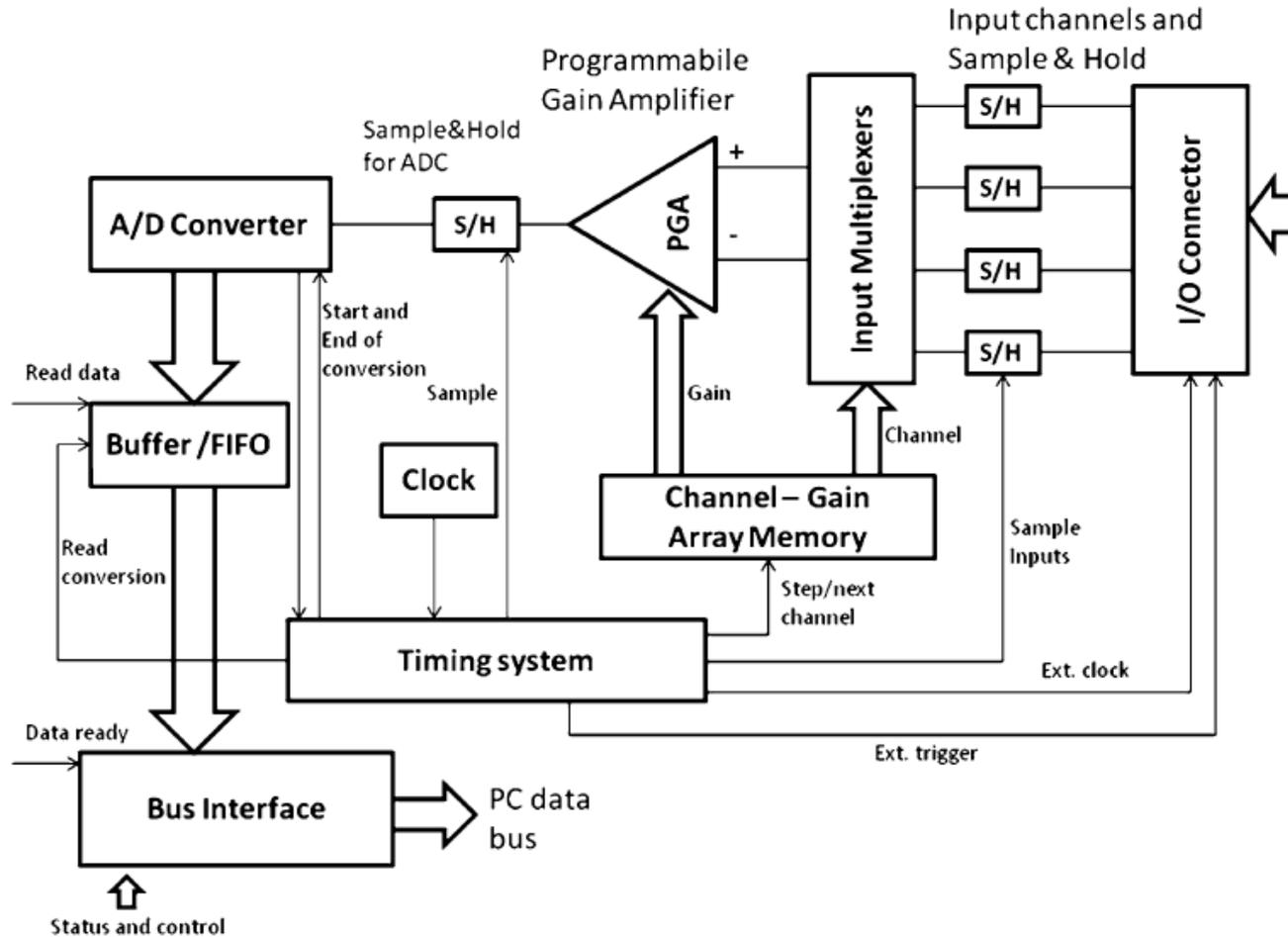


- ❑ El incremento de la frecuencia de muestreo reduce el efecto de filtrado indeseado de la sinc.
- ❑ En la mayoría de aplicaciones basta con utilizar, como filtro de reconstrucción, un filtro paso-bajo estándar que limite al valor necesario la potencia de las imágenes espectrales.



Sistemas de adquisición de datos

Ejemplos de circuitos y sistemas

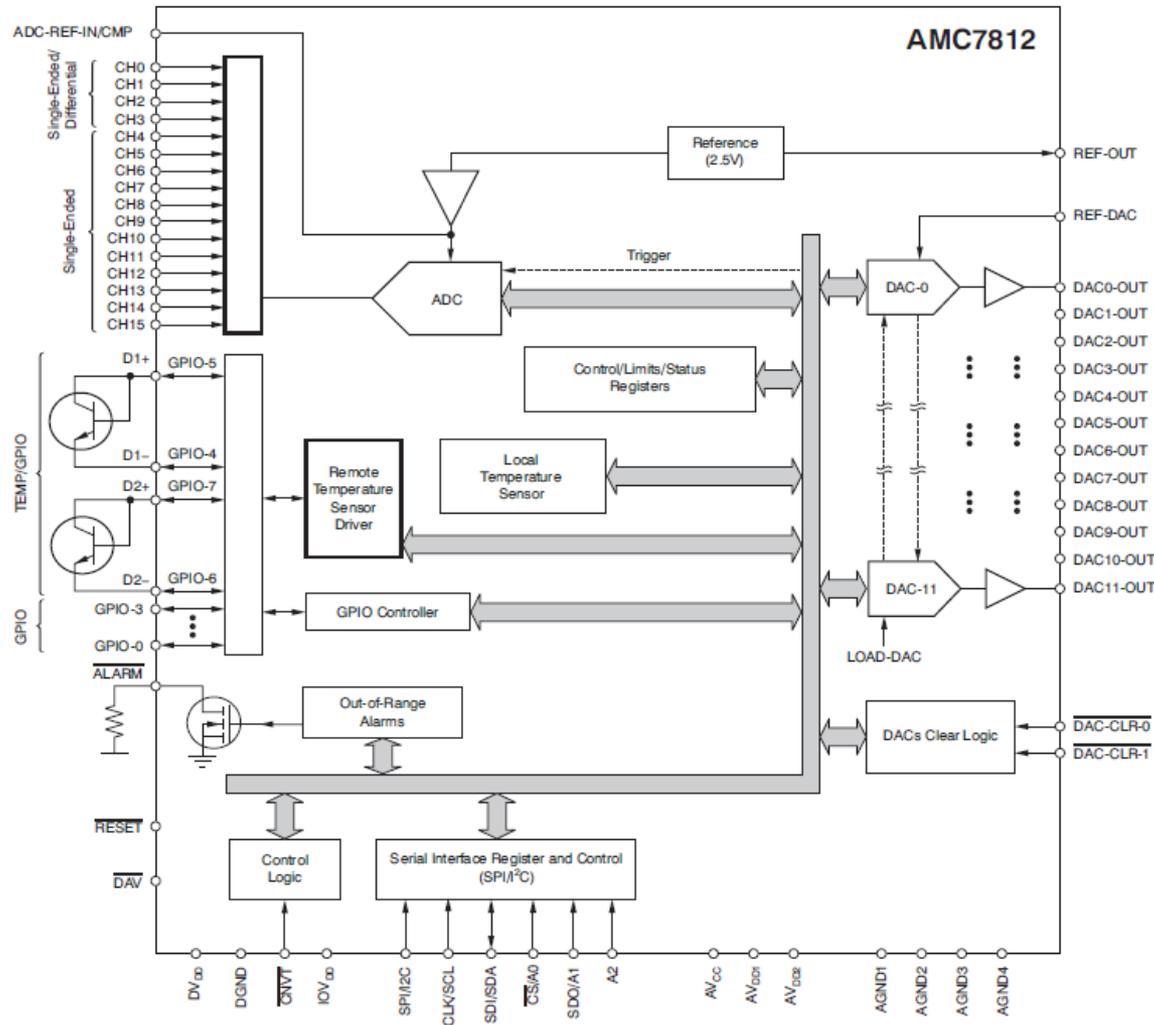


Tarjeta de adquisición de datos para PC de muestreo simultáneo.



Sistemas de adquisición de datos

Ejemplos de circuitos y sistemas

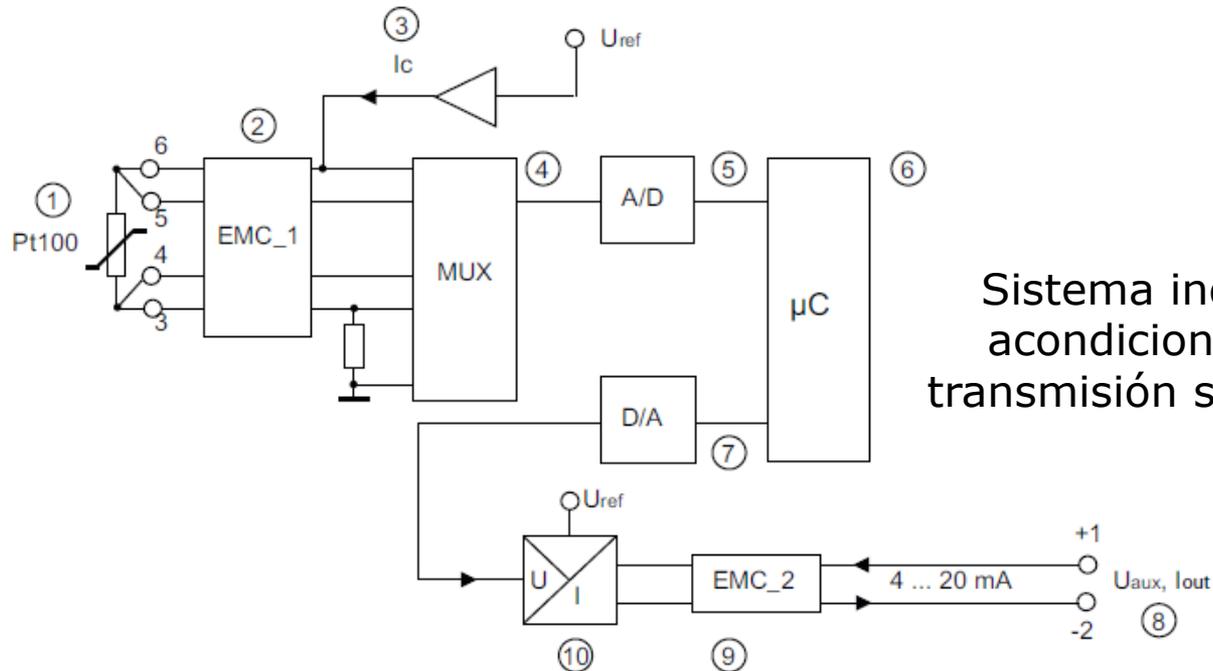


Circuito integrado para sistemas de monitorizado y control.



Sistemas de adquisición de datos

Ejemplos de circuitos y sistemas



Sistema industrial de
acondicionamiento y
transmisión sensor Pt100.

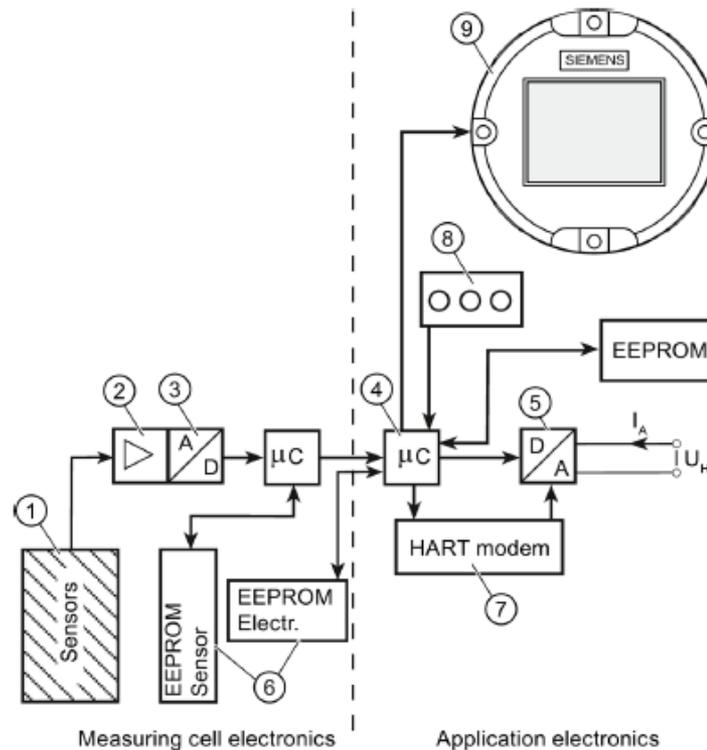
- | | |
|---|---|
| ① Pt100 resistance thermometer | ② Input stage with protection components |
| ③ Constant current source | ④ Multiplexer |
| ⑤ Analog-to-digital converter | ⑥ Microcontroller: arithmetic functions and saving of all parameters |
| ⑦ Digital-to-analog converter | ⑧ Auxiliary power supply (U_{aux})/ output current (I_{out}) |
| ⑨ Output stage with protection components | ⑩ Voltage converter, current converter, constant voltage source, and reference voltage source |

Figure 3-2 Function block diagram SITRANS TH100



Sistemas de adquisición de datos

Ejemplos de circuitos y sistemas



Sistema industrial de acondicionamiento y transmisión sensor presión.

- | | | | |
|---|--|----------------|---------------------------|
| ① | Measuring cell sensors | ⑦ | HART modem |
| ② | Measuring amplifier | ⑧ | Buttons (local operation) |
| ③ | Analog-to-digital converter | ⑨ | Display |
| ④ | Microcontroller | | |
| ⑤ | Digital-to-analog converter | I _A | Output current |
| ⑥ | Each with an EEPROM in the measuring cell and in the electronics | U _H | Auxiliary power |

Figure 3-4 Operation of electronics with HART communication, simplified illustration



Sistemas de adquisición de datos

Ejemplos de circuitos y sistemas

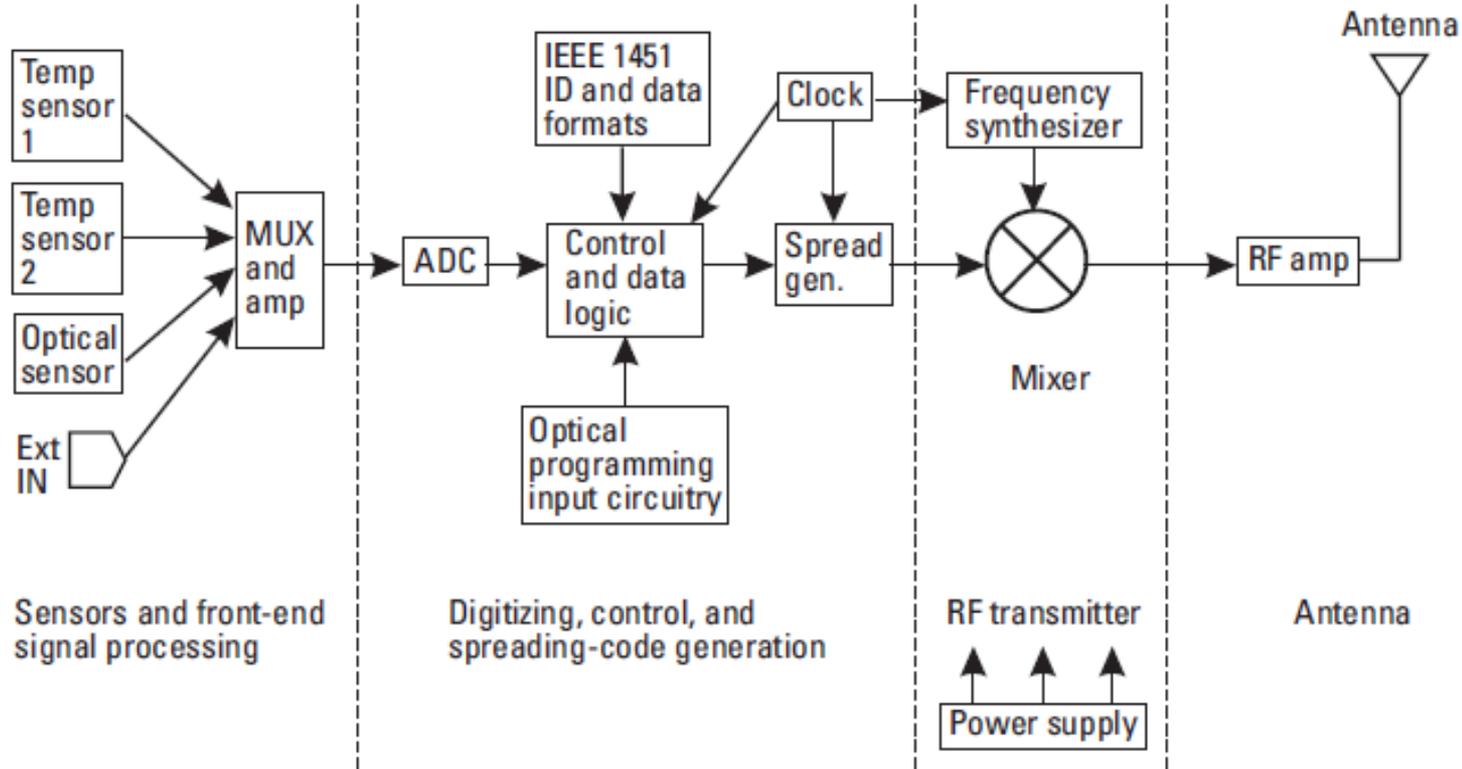


Figure 13.4 Intelligent wireless sensor. (After: [10].)