



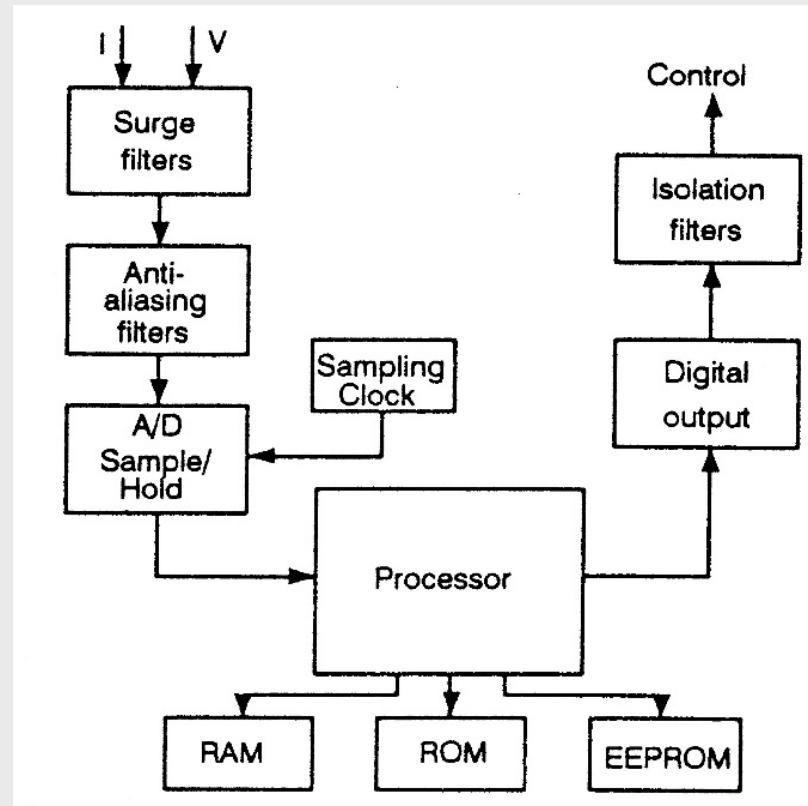
PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES PARA RELEVADORES DE PROTECCION

©1993 Long Island Lighting Company

Dr. Arturo Conde Enríquez

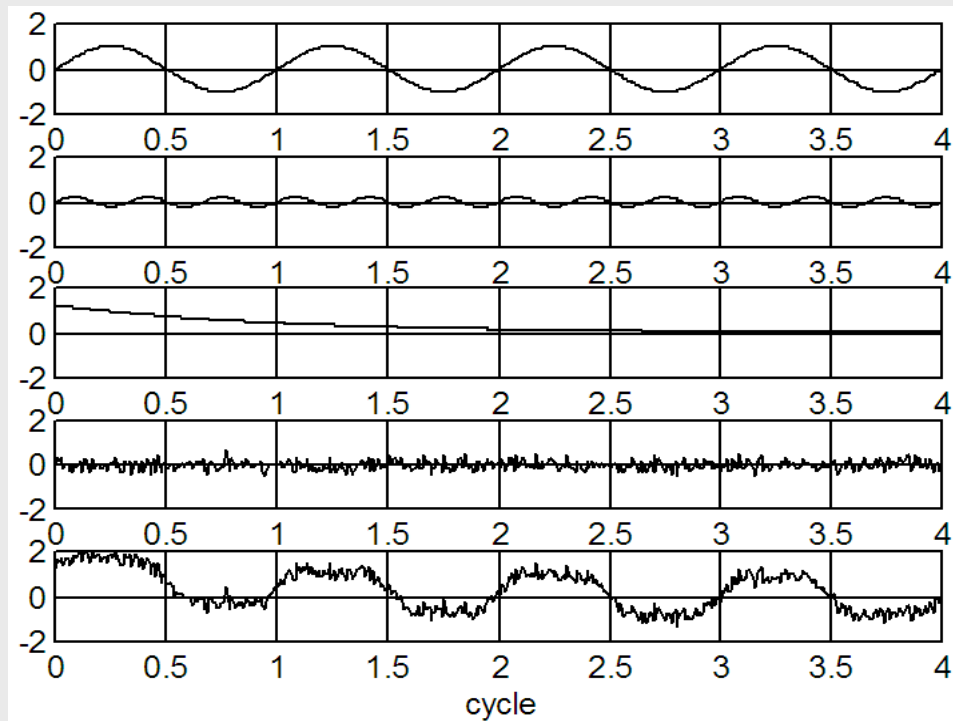
Principios de operación de relevadores

Relevadores digitales



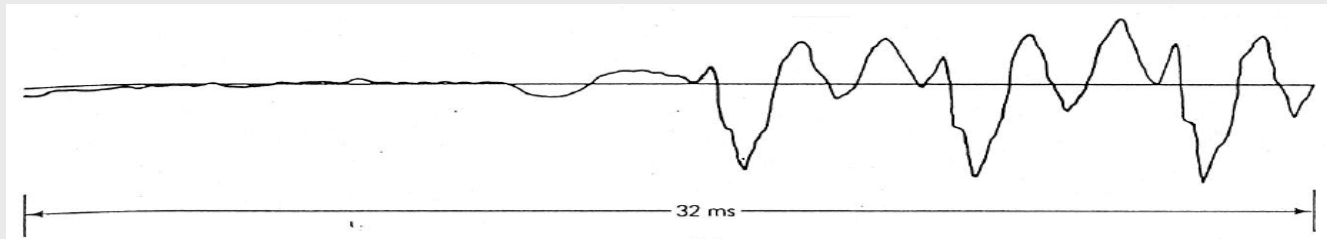
Procesamiento Digital de Señales

Representación, transformación y manipulación de señales.

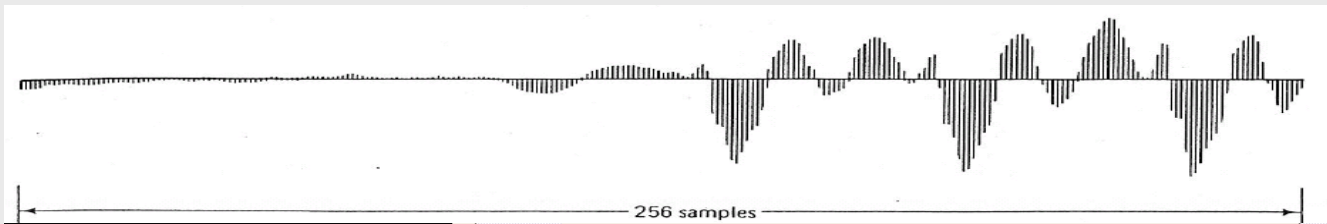


Tipos de señales

Señales continuas en el tiempo o analógicas



Señales discretas en el tiempo



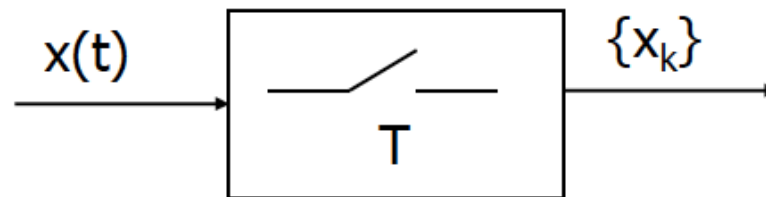
Secuencias

$$x[n] = x_c(nT) \quad f_s = 1/T \quad \text{Frecuencia de muestreo}$$

Tipos de señales

Muestreo

En esta operación se obtiene una **secuencia** de valores a partir de una **señal** analógica.

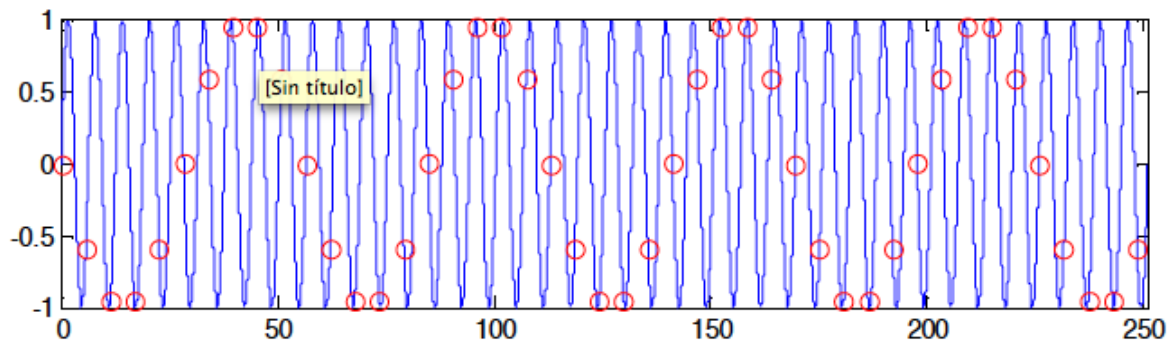


$$x_k = x(kT)$$

Tipos de señales

Muestreo. Aliasing

Cuando la frecuencia de Nyquist ($\omega_m/2$) es inferior a la frecuencia de la señal muestreada (ω_0), se produce el fenómeno conocido como *aliasing*, según el cual una señal de alta frecuencia es interpretada como una de baja frecuencia.



Secuencias

Operaciones con secuencias

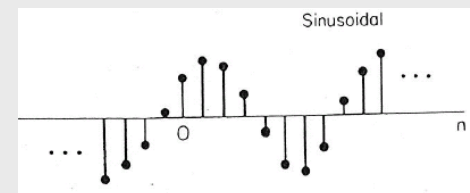
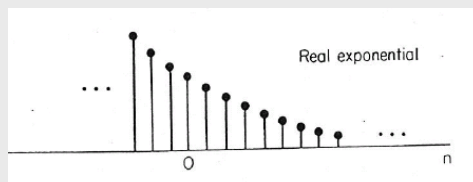
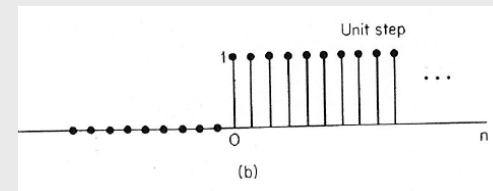
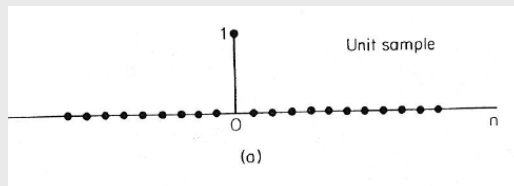
Producto de secuencias: $x[n] \bullet y[n]$

Suma: $x[n] + y[n]$

Producto escalar: $\alpha \bullet x[n]$

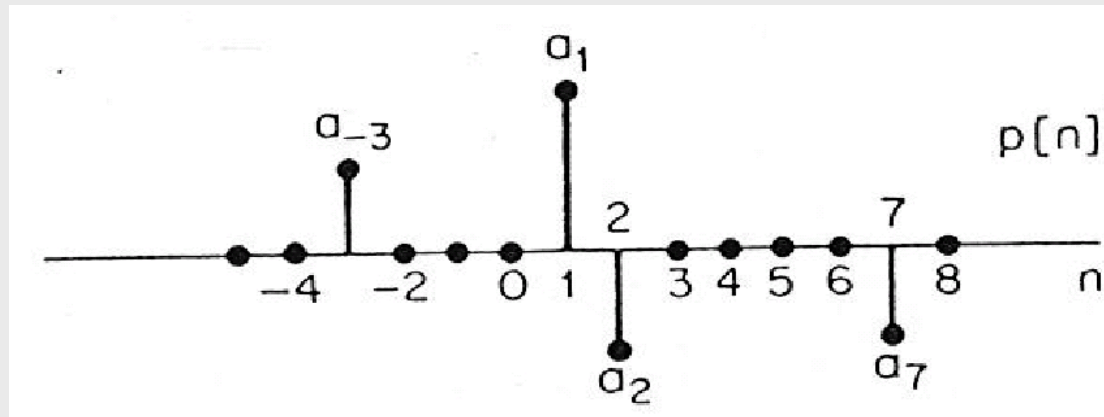
Corrimiento o retardo: $y[n] = x[n - n_o]$

Secuencias Básicas



Representación de secuencias por impulsos

$$p[n] = a_{-3} \delta[n+3] + a_1 \delta[n-1] + a_2 \delta[n-2] + a_7 \delta[n-7]$$

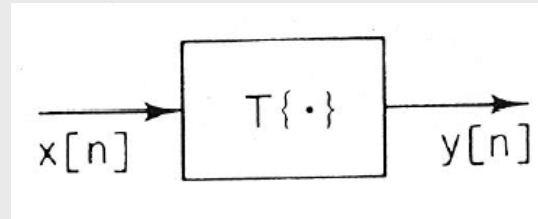


En general:

$$x[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] \delta[n - k]$$

Sistemas discretos

$$y[n] = T \{x[n]\}$$

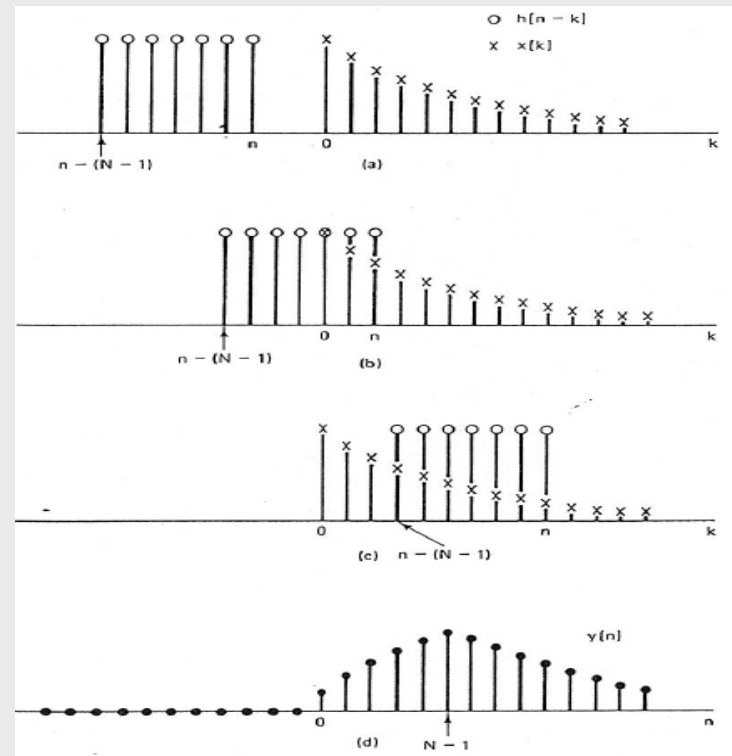


La respuesta del sistema al impulso

$$h_k[n] = \delta[n-k]$$

$$y[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] h[n-k]$$

$$y[n] = x[n] * h[n]$$



Convolución Discreta

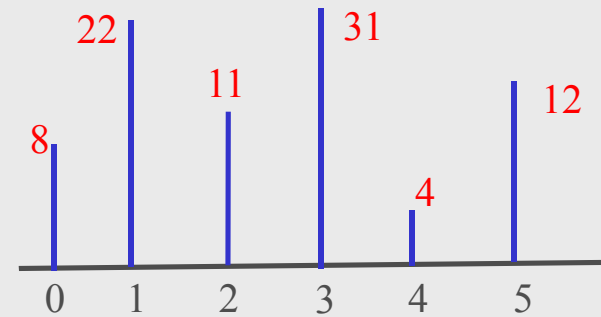
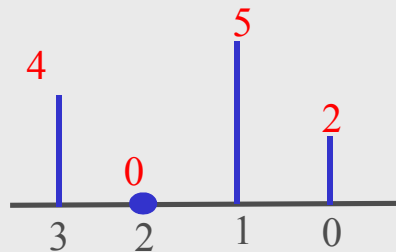
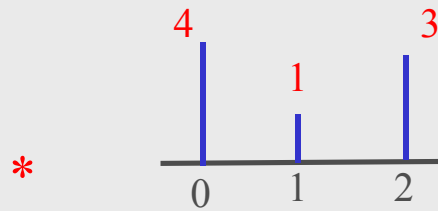
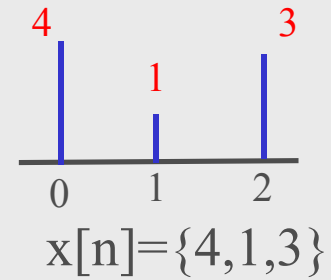
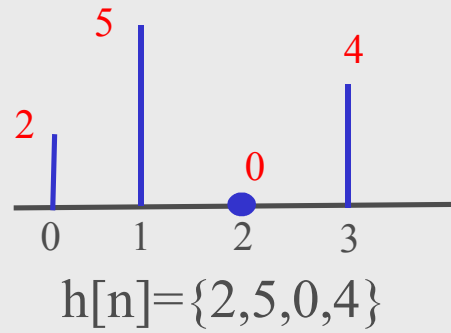
En la práctica se trabaja con secuencias de longitud finita. Para hacer la convolución, una de las secuencias se refleja y se desplaza sucesivamente.

El índice del comienzo de la convolución es la suma de los índices de comienzo de las respectivas señales. Si las dos señales comienzan en $n=n_0$ y $n=n_1$, la convolución comienza en $n=n_0+n_1$.

Métodos para calcular la convolución a partir de dos secuencias

- Método de la tira deslizante
- Método de las Suma por Columnas
- Método de la malla

Convolución Discreta



Convolución Discreta

Método de las Suma por Columnas

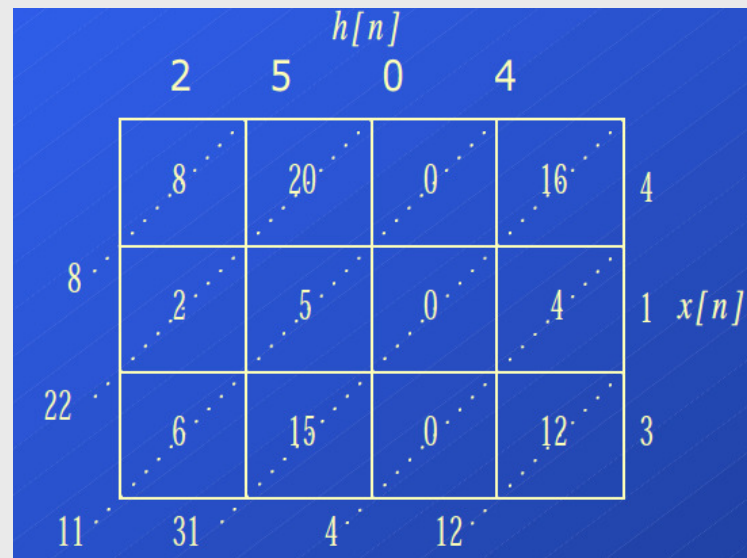
Hacemos el mismo ejemplo. No es necesario “reflejar” una de las secuencias.

n	0	1	2	3	4	5
h	2	5	0	4		
x	4	1	3			
	8	20	0	16		
		2	5	0	4	
			6	15	0	12
y	8	22	11	31	4	12

$$y[n] = \{8, 22, 11, 31, 4, 12\}, n=0, 1, 2, \dots, 5$$

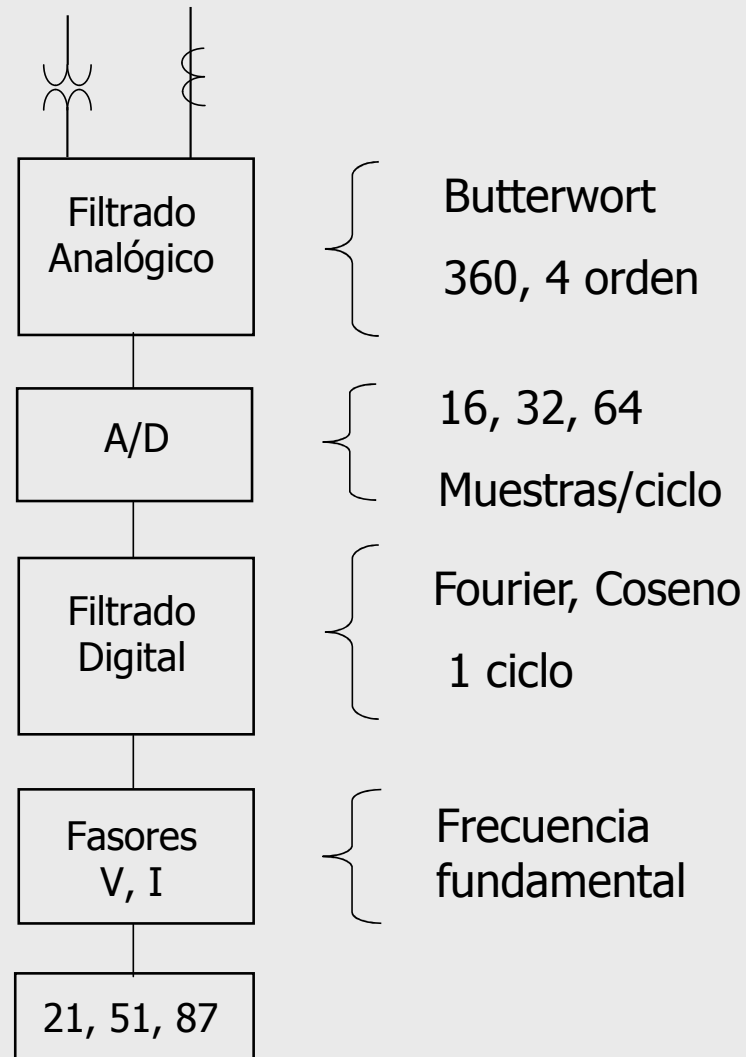
Convolución Discreta

Método de la malla



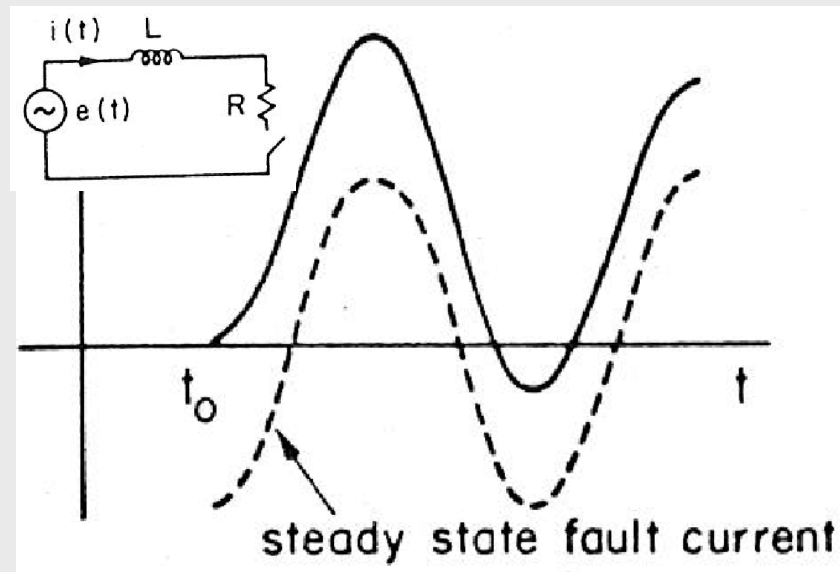
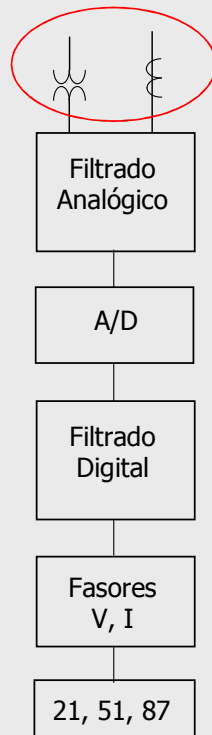
$$y[n] = \{8, 22, 11, 31, 4, 12\}, n=0, 1, 2, \dots, 5$$

Procesamiento de señales por relevadores de protección

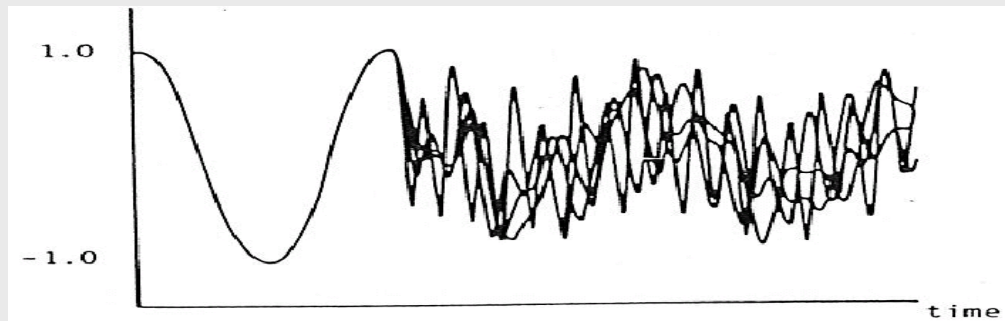
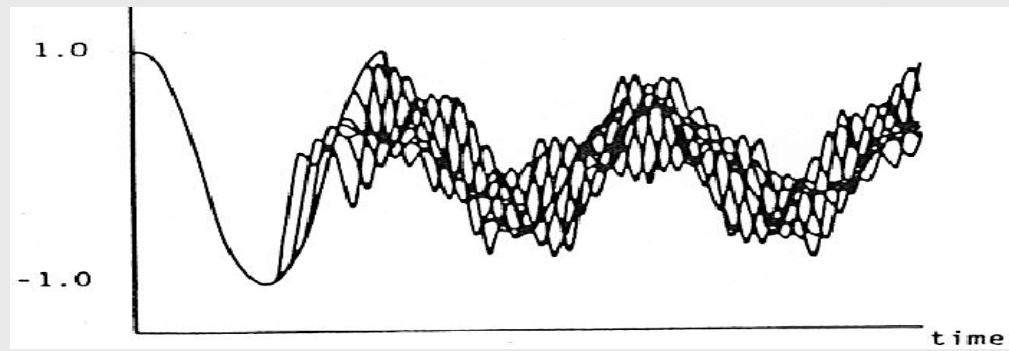
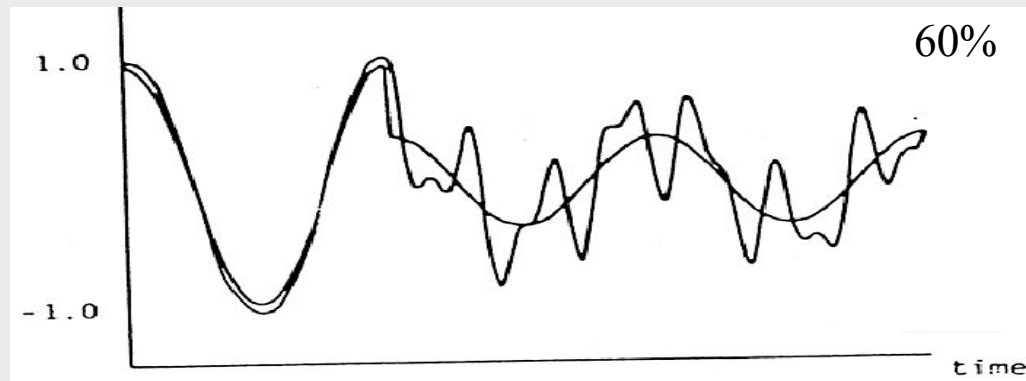


Fuentes de ruido de las señales de entrada

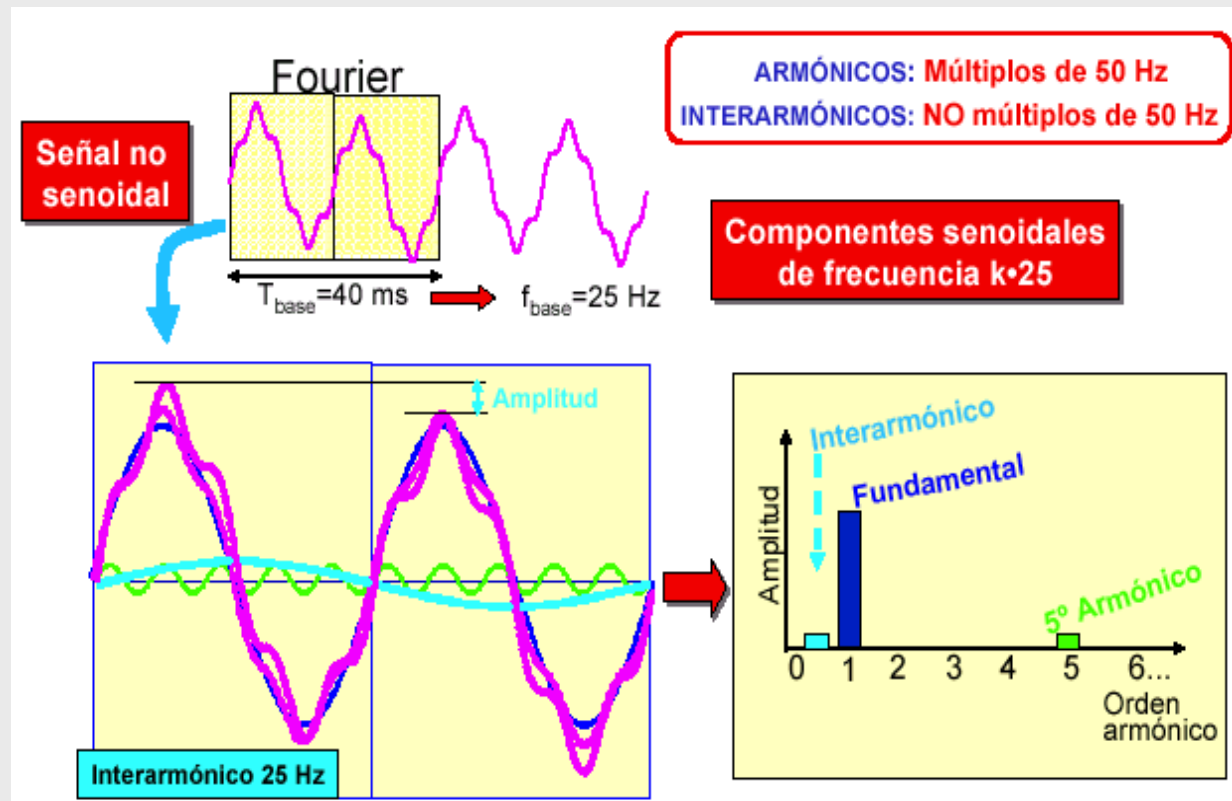
- Componentes aperiódicos exponenciales
- Oscilaciones amortiguadas de alta frecuencia
- Oscilaciones subarmónicas
- Armónicas



Fuentes de ruido de las señales de entrada



Fuentes de ruido de las señales de entrada



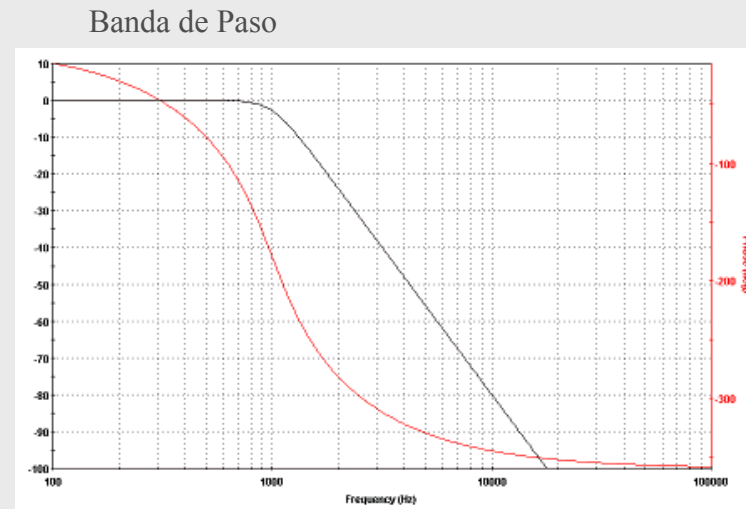
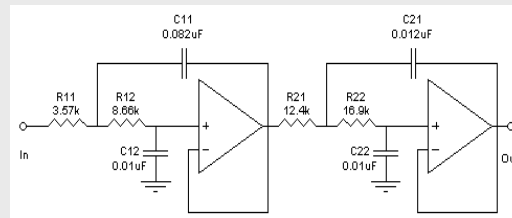
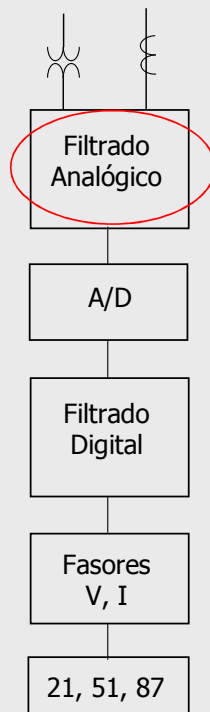
Filtrado analógico

Características deseables de los filtros

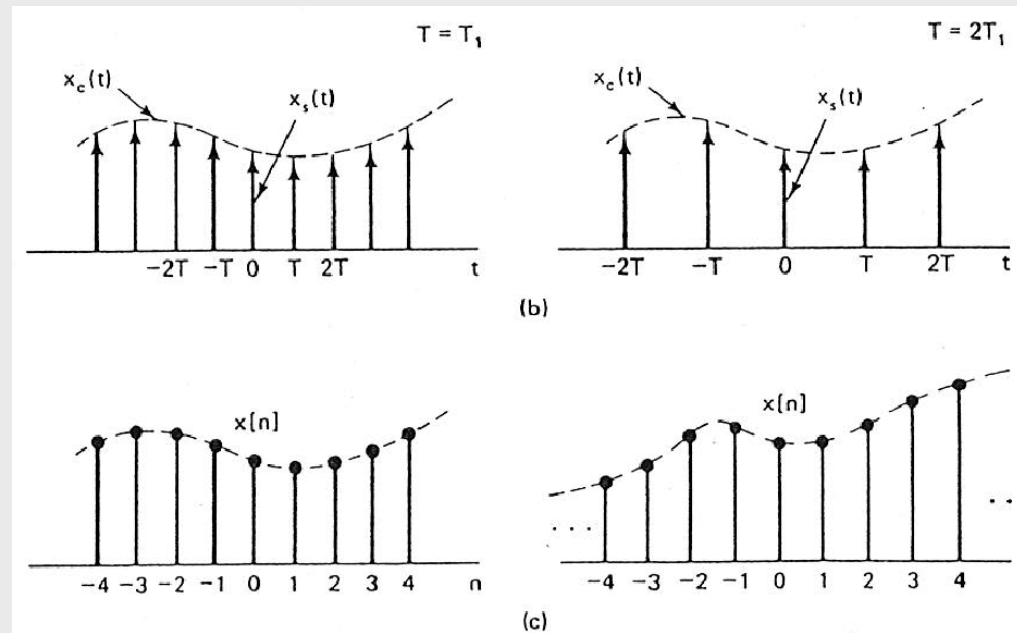
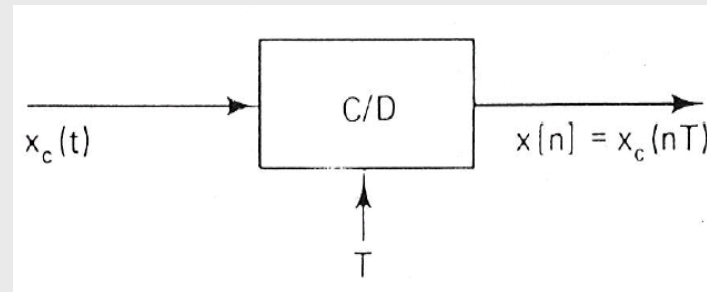
- Respuesta adecuada en la banda de paso
- Rechazo de armónicas
- Velocidad de respuesta
- Facilidad de diseño y construcción

Butterworth

360 Hz, 4 orden



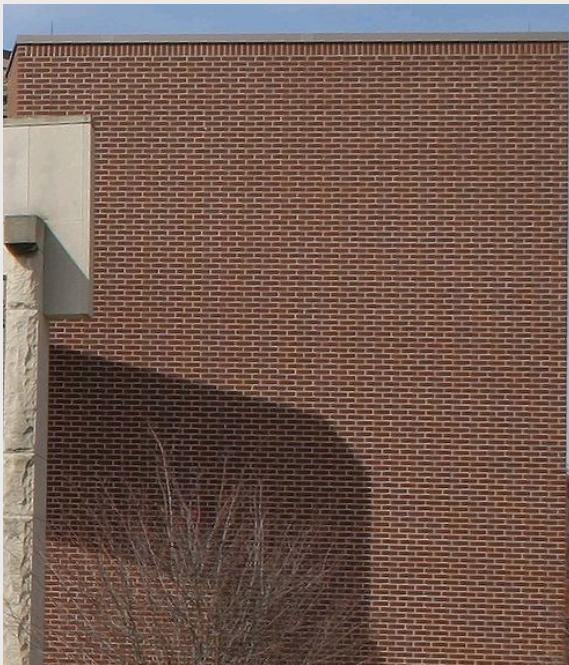
Conversión Análogo digital



16, 32, 64
Muestras/ciclo

Teorema de muestreo

Teorema de Nyquist $\omega_s > 2 \omega_M$



Filtros digitales

Tipos de Filtros

- Filtros de respuesta impulsiva finita (FIR)
Su salida depende de una historia finita en tiempo de la señal de entrada
- Filtros de respuesta impulsiva infinita (IIR)
Su salida depende de toda la historia previa de la señal de entrada



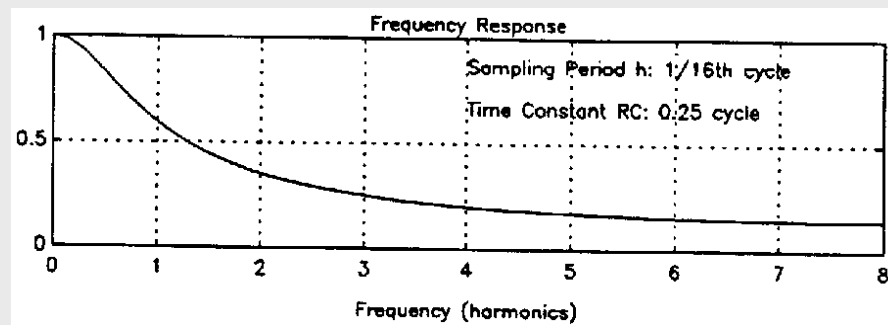
Los filtros FIR son mas adecuados para protección por dos razones:

- Dejan de tener en cuenta rápidamente la condición de prefalla y se concentran en analizar las señales correspondientes a la falla
- Tienen ceros naturales en sus respuestas de frecuencia, que pueden colocarse por diseño en la cd y armónicas

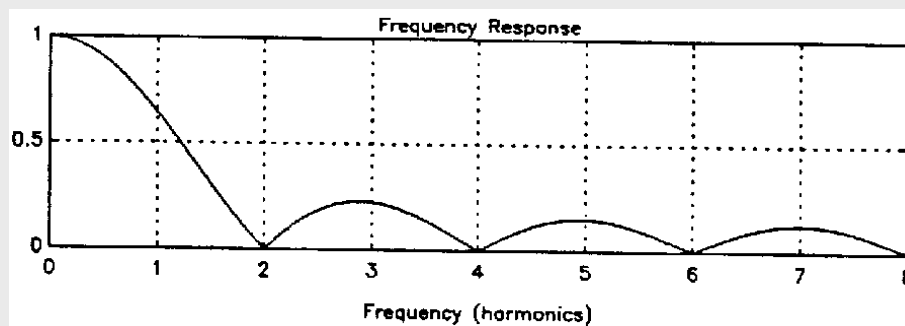
Filtros digitales

Tipos de Filtros

- Filtros de respuesta impulsiva infinita (IIR)



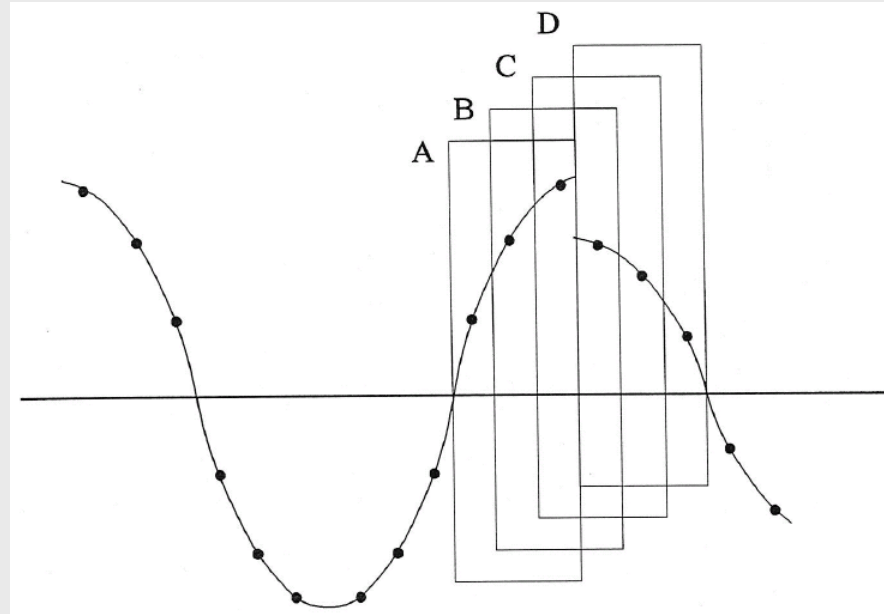
- Filtros de respuesta impulsiva finita (FIR)



Filtros digitales

Ventana de datos

Rectangular
de 1 ciclo

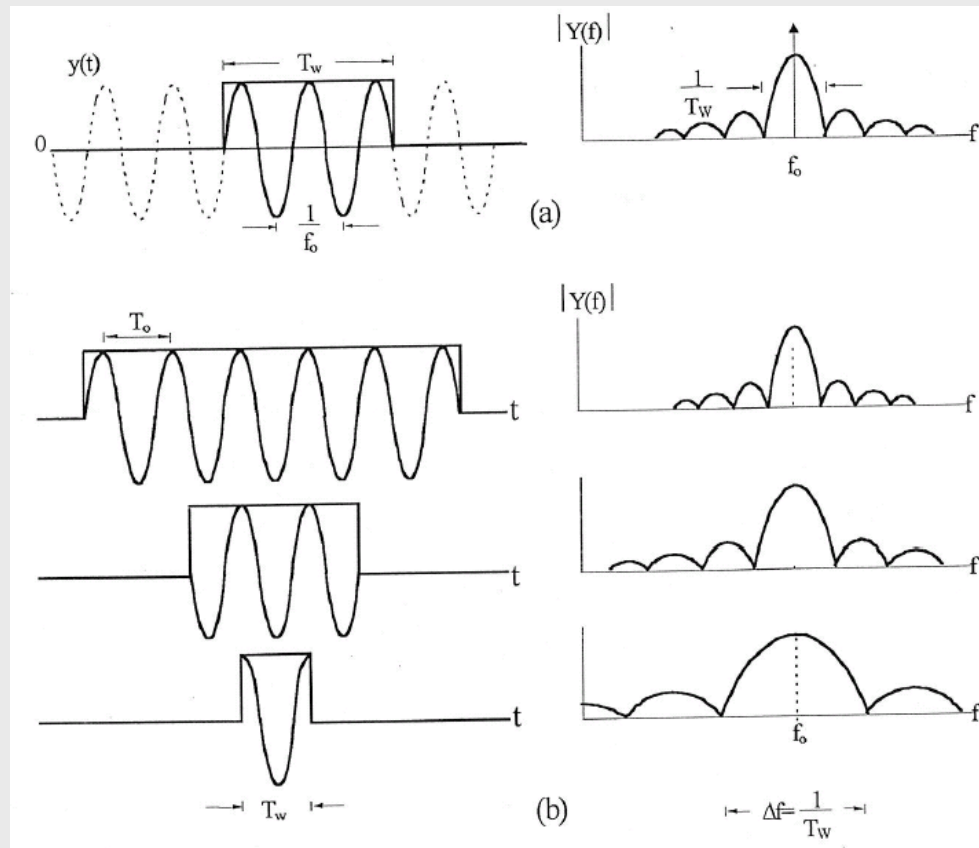


Tipos de Ventanas

- Rectangular
- Hamming
- Piramidal
- Hanning
- Gaussiana
- Blackman

Filtros digitales

Efecto de la ventana de datos sobre el espectro de la señal observada



Fourier

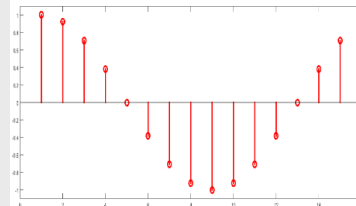
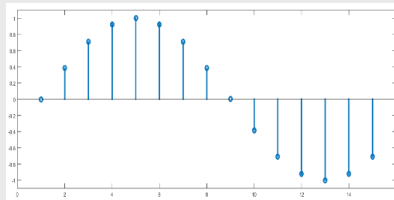
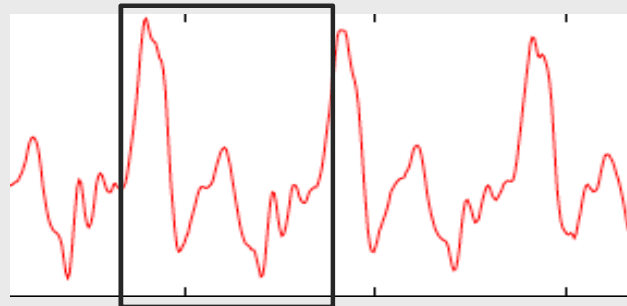
$$y(t) = \int_0^t x(\tau) e^{j\omega\tau} d\tau$$

$$Y_c = \int_0^T x(t) \cos(\omega t) dt$$

$$Y_s = \int_0^T x(t) \sin(\omega t) dt$$

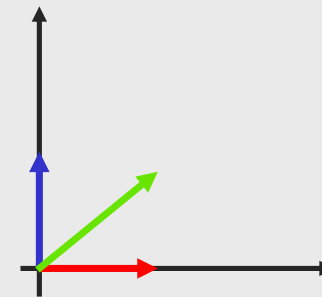
$$Y_c^{(i)} = \frac{2}{K} \sum_{k=1}^K x_k \cos(k\theta)$$

$$Y_s^{(i)} = \frac{2}{K} \sum_{k=1}^K x_k \sin(k\theta)$$

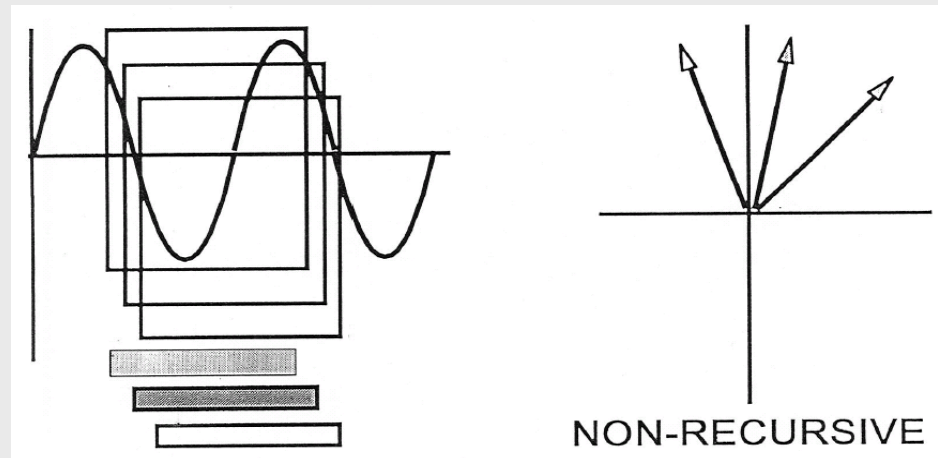


$$|Y^{(i)}| = \sqrt{[Y_c^{(i)}]^2 + [Y_s^{(i)}]^2}$$

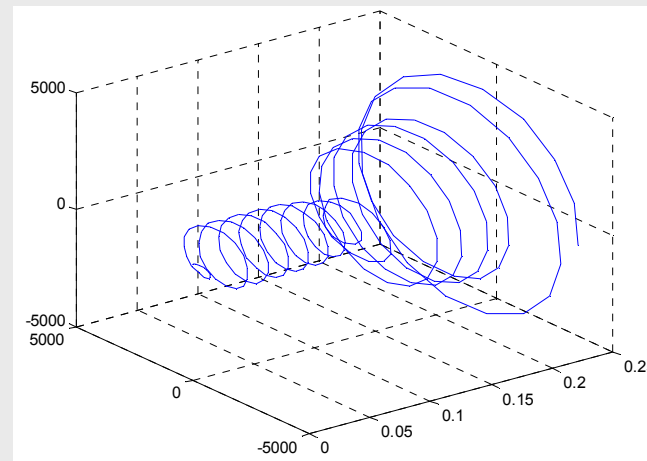
$$\phi^{(i)} = \arctan \frac{Y_s^{(i)}}{Y_c^{(i)}} = \arctan \frac{Y_s}{Y_c} - \theta_i$$



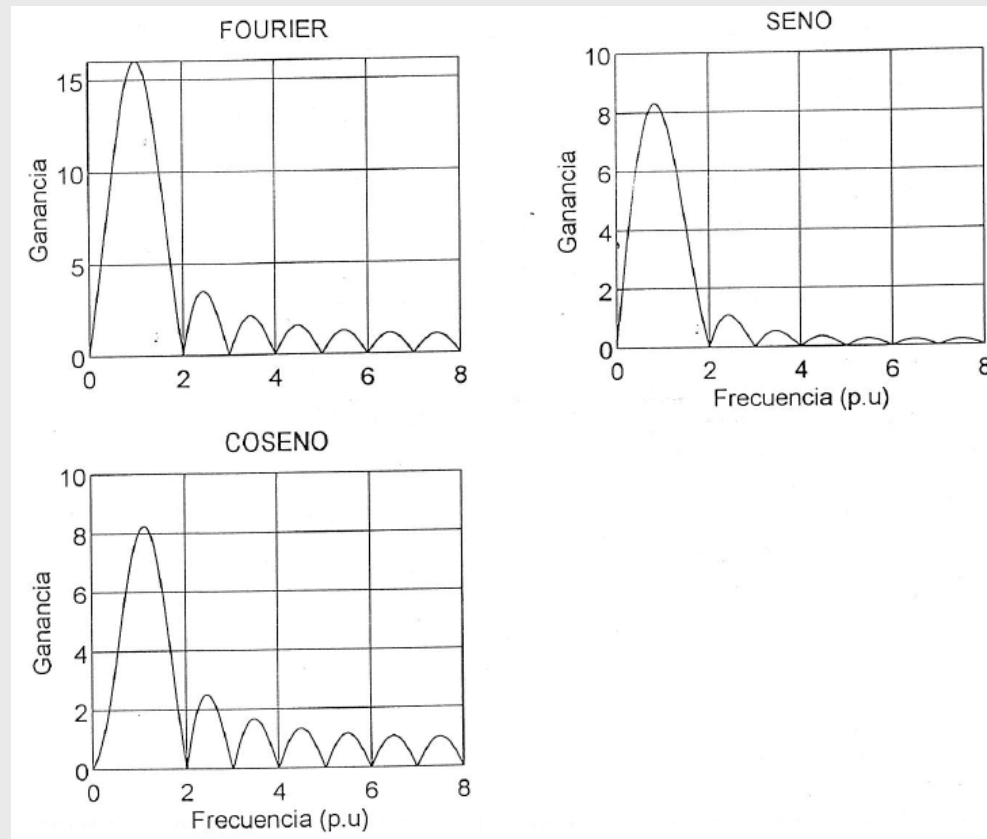
Fourier



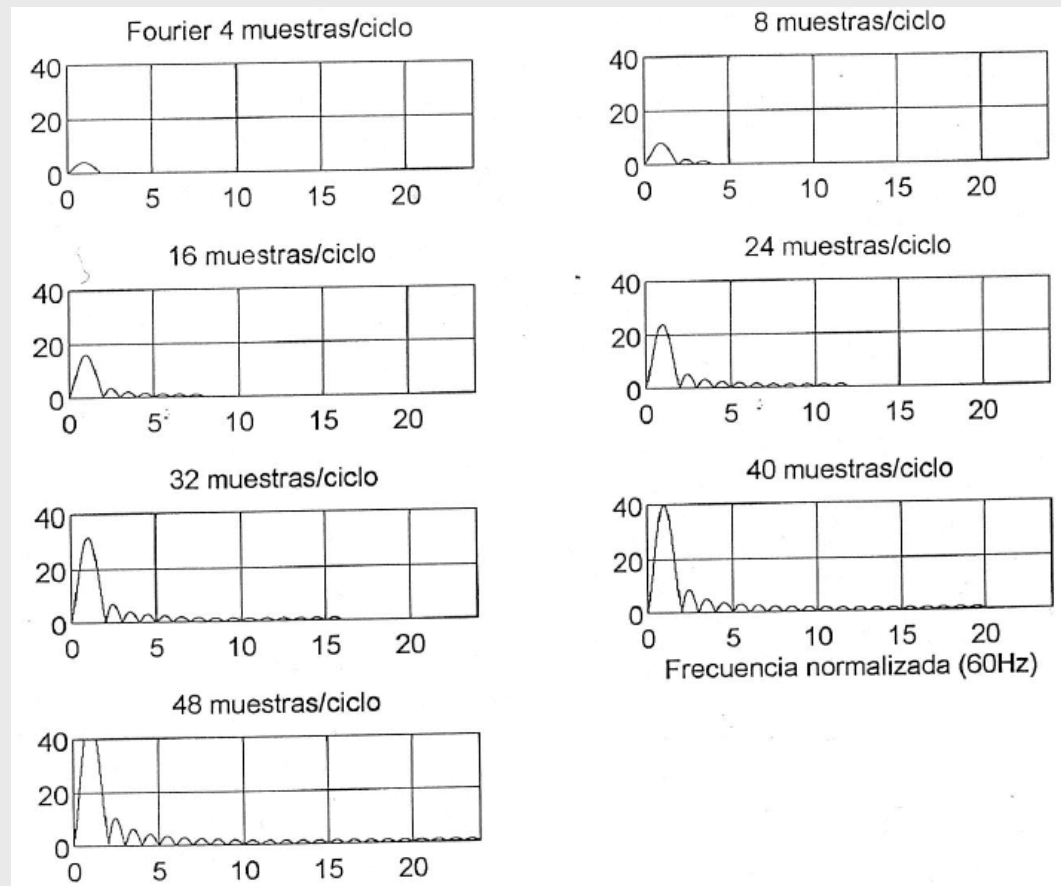
Fourier, Coseno



Respuesta a la frecuencia en estado estable

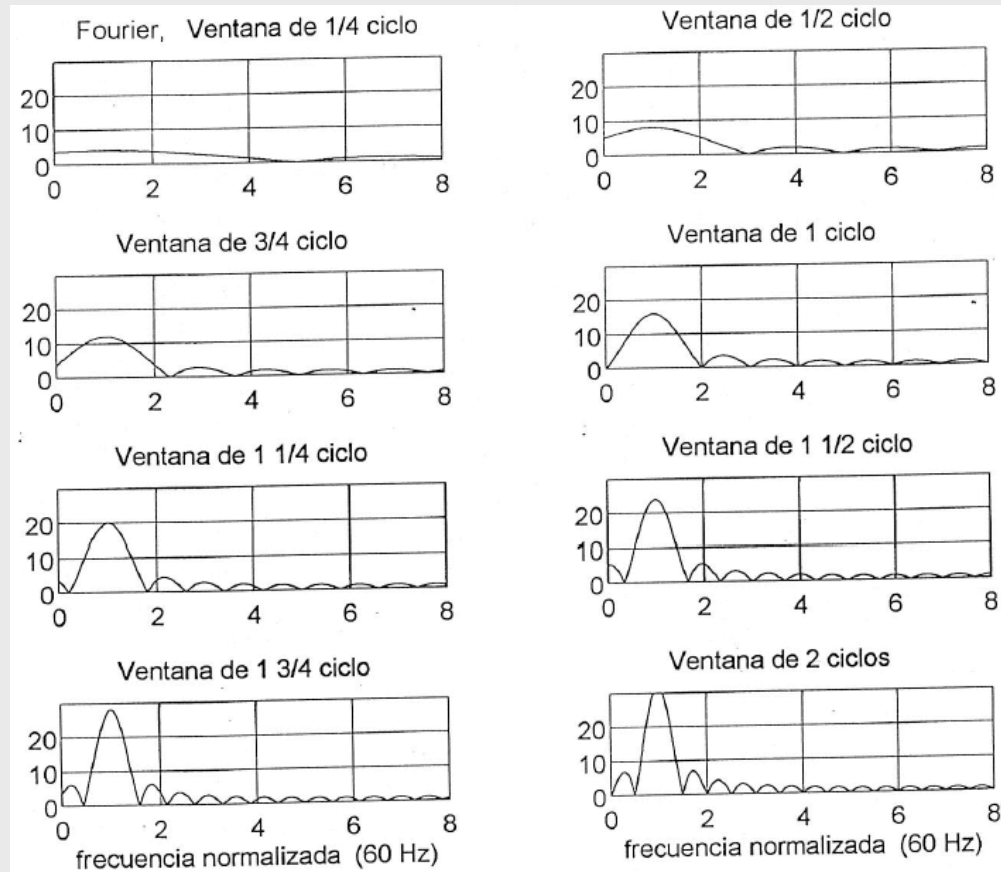


Efecto de la frecuencia de muestreo sobre la respuesta a la frecuencia (Filtro Fourier)

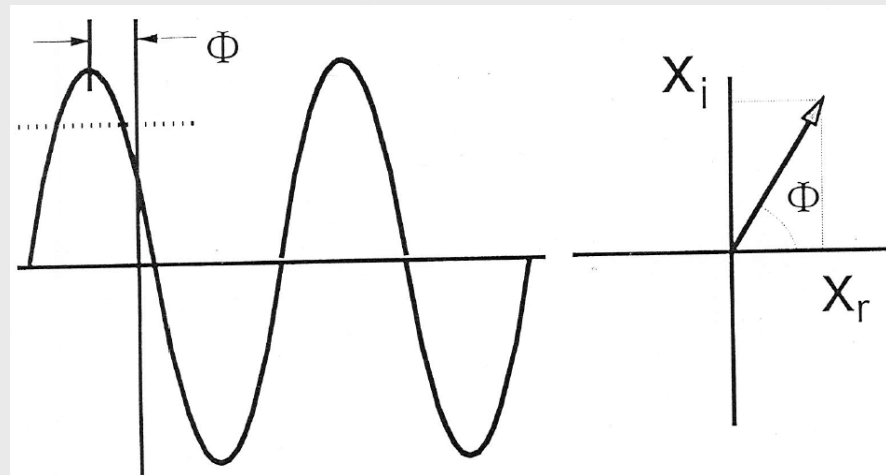
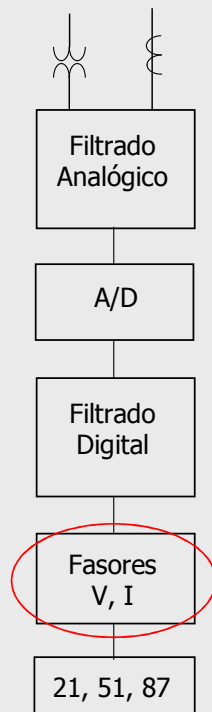


Efecto de la longitud de ventana sobre la respuesta a la frecuencia

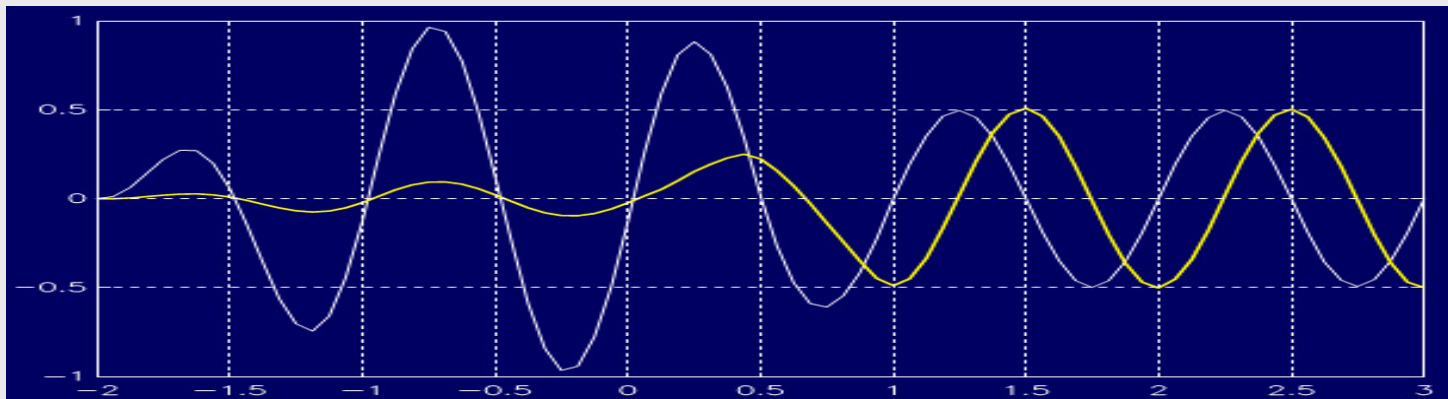
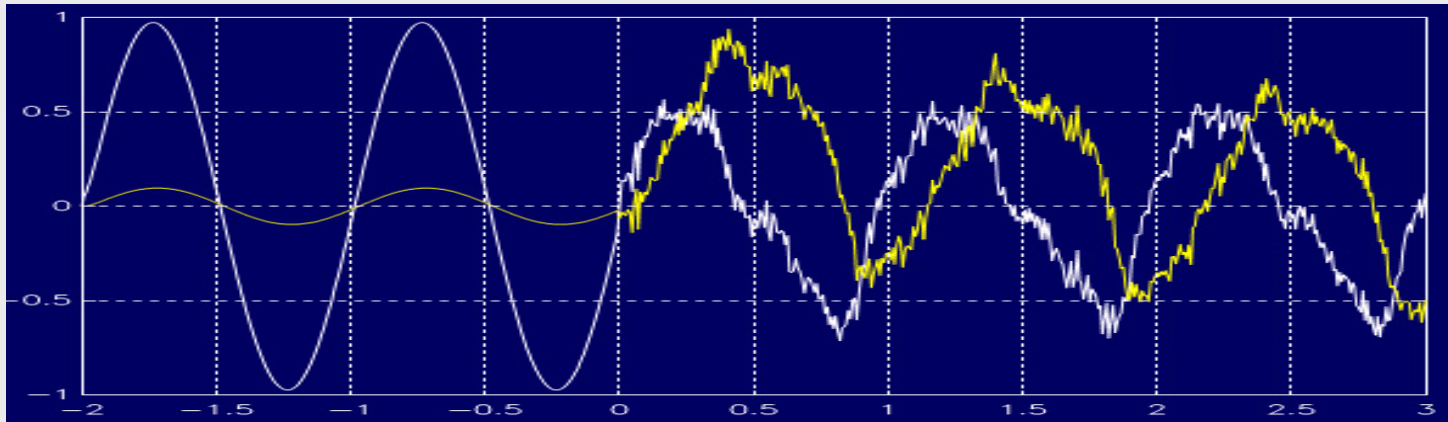
(Filtro Fourier)



Fasor



Efecto del filtrado



Relevador de protección

Relevadores que responden a la componente fundamental

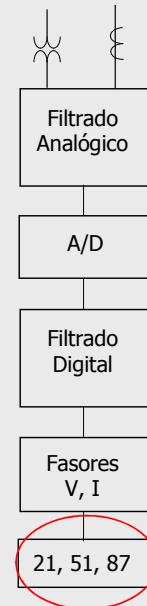
- Relevador de sobrecorriente (50,51)
- Relevador de distancia (21)
- Relevador diferencial (87)

Relevadores que responden a componentes armónicas

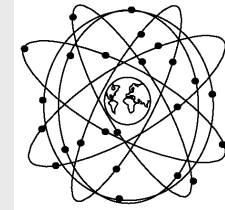
- Relevador diferencial con retención por armónicas (3a y 5a)

Relevadores que responden a componentes transitorias

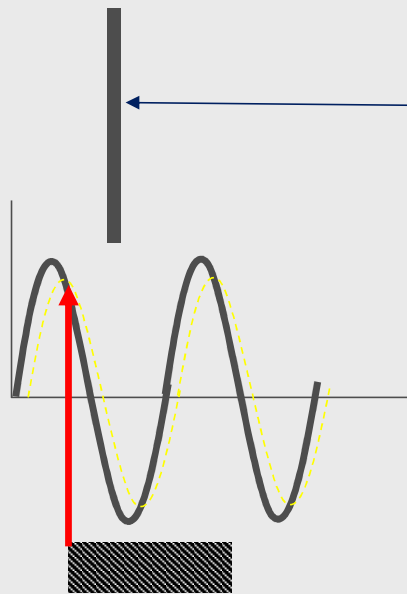
- Relevadores de onda viajera



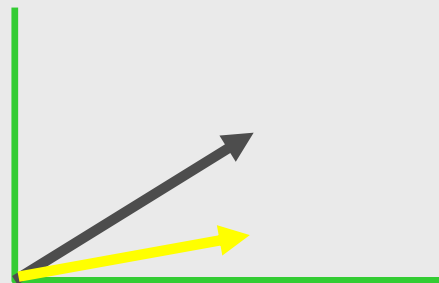
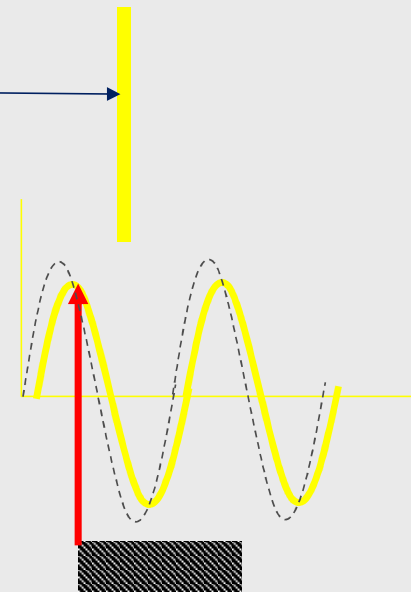
Sincronización de cantidades eléctricas



Subestación A



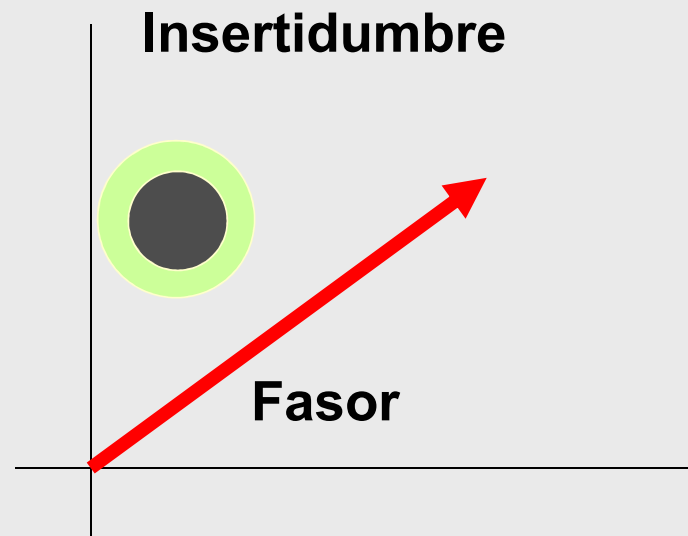
Subestación B



Mediante la sincronización de fasores es posible tener los fasores en la misma referencia de tiempo

Fuentes de inexactitud en los cálculos de un fasor

- Efecto de Aliasing
- Interarmónicas
- Ruido



Unidad de medición fasorial

