

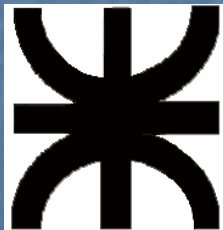
MEDICIONES DE IMPEDANCIA EN TIEMPO REAL

Dr. Ing. Héctor Osvaldo Pascual

GRUPO DE I+D “TSSE”

(TRATAMIENTO DE SEÑALES EN SISTEMAS
ELECTRICOS)

LABORATORIO DE ELCTROTECNIA



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL LA PLATA

¿ PARA QUE MEDIR Z ?

➤ Ante una alteración se modifican U e I , motivo por el cual se tiene mayor sensibilidad para detectarla si se utilizan ambos parámetros.

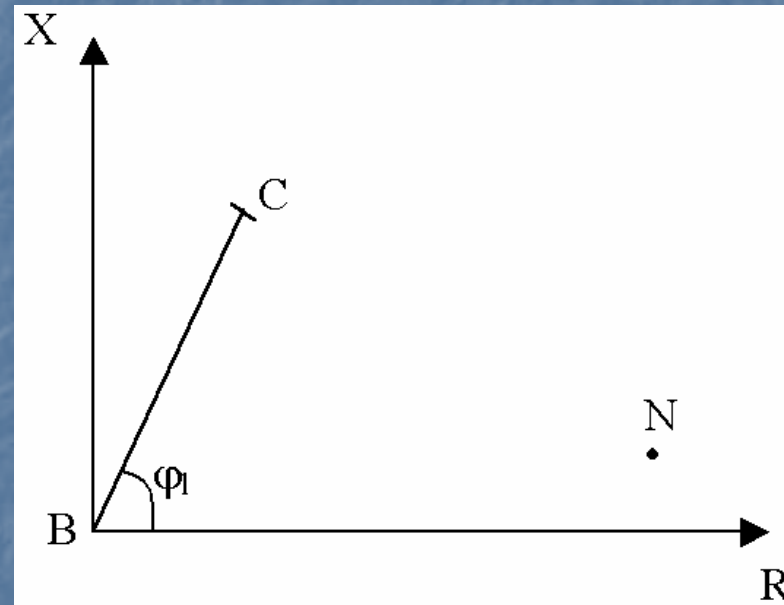
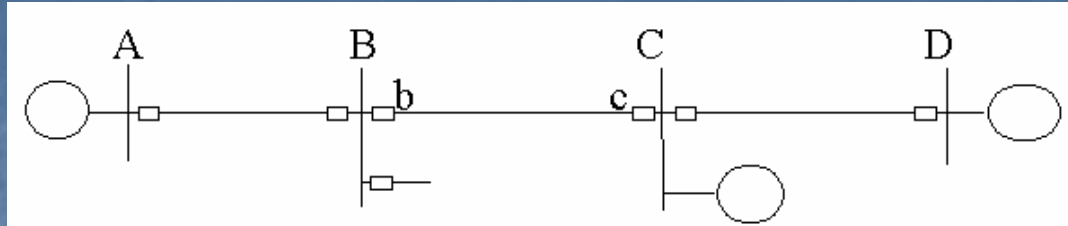
➤ Utilizar el cálculo de Z para funciones de protección y control.

➤ Detección de comportamientos incorrectos en equipamiento eléctrico (Bobinas, Transformadores, etc)

¿ POR QUE EN TIEMPO REAL ?

- Se pretende detectar las variaciones de Z con la mayor rapidez posible.
- Tomar acciones en función de los cambios de Z en el menor tiempo posible (Si es factible en tiempos menores al de un ciclo de la frecuencia fundamental).

Representación del calculo de Z



PROBLEMÁTICA EN LA MEDICIÓN DE Z

**Deformaciones
provenientes del
Sistema
Eléctrico**

**Deformaciones
ocasionadas
por TA y TV**

**Medición del
fasor Z (50 Hz)**



Utilización de Filtros digitales

Las características de los filtros digitales del tipo FIR están dadas en función de la cantidad de coeficientes del filtro y de los valores asignados a dichos coeficientes b_k .

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M-1} b_k x(n-k)$$

Esta última permite calcular el valor discreto de la señal filtrada $y(n)$ a partir de las últimas M muestras de la señal de entrada, lo que implica una ventana de datos de M muestras (deslizante).

1º Método a mostrar

Utilización de filtros de Fourier

En el filtro de Fourier las componentes ortogonales del fasor de frecuencia fundamental, correspondiente a la señal de entrada $x(n)$, se obtienen mediante la combinación de un filtrado Seno y uno Coseno.

Considerando Ventana de 1 ciclo

$$\hat{x}_{0R} = \frac{2}{N_c} \sum_{n=0}^{N_c-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi n}{N_c}\right)$$

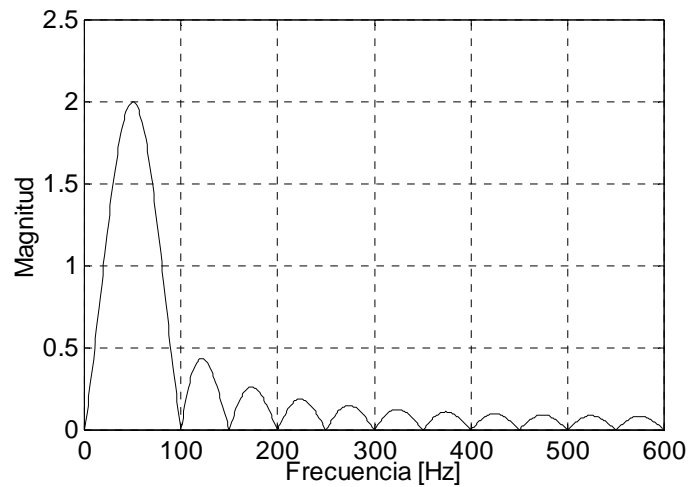
$$\hat{x}_{0I} = -\frac{2}{N_c} \sum_{n=0}^{N_c-1} x(n) \sen\left(\frac{2\pi n}{N_c}\right)$$

$$|\hat{x}_o| = \sqrt{(\hat{x}_{or})^2 + (\hat{x}_{oi})^2}$$

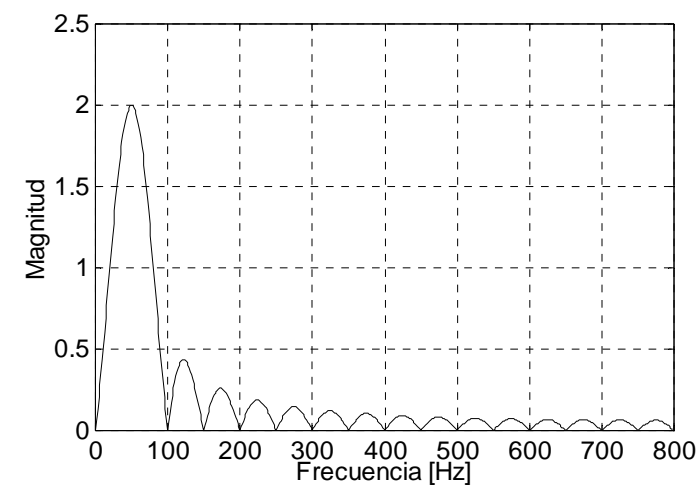
$$\varphi_o = \arctg\left(\frac{\hat{x}_{oi}}{\hat{x}_{or}}\right)$$

$$\alpha = 2\pi \frac{F_o}{F_s}$$

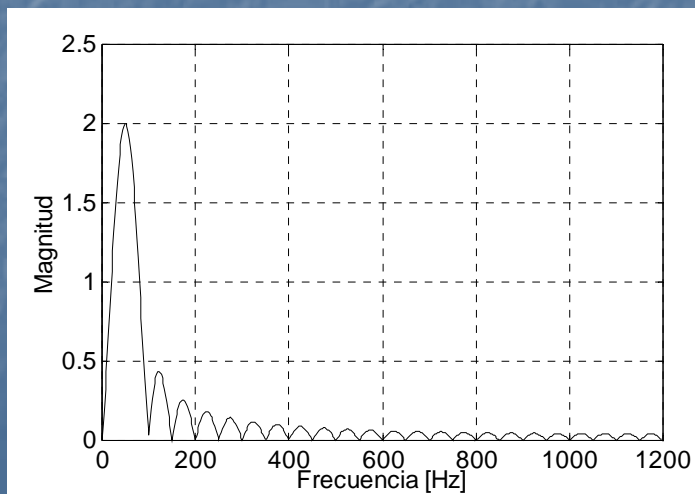
Rta. en frecuencia para distintos Muestreos (Ventana de 1 ciclo)



1200 muestras por seg.



1600 muestras por seg.



2400 muestras por seg.

**Se modifica sólo la
RESOLUCIÓN del
algoritmo.
Impacta sobre el
FILTRO ANTI
ALIASING.**

Filtro analógico anti-aliasing



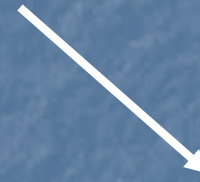
Para este tipo de sistemas se utilizan filtros de Butterworth o Chebyshev de 2º orden.



Elección de frecuencia de corte.



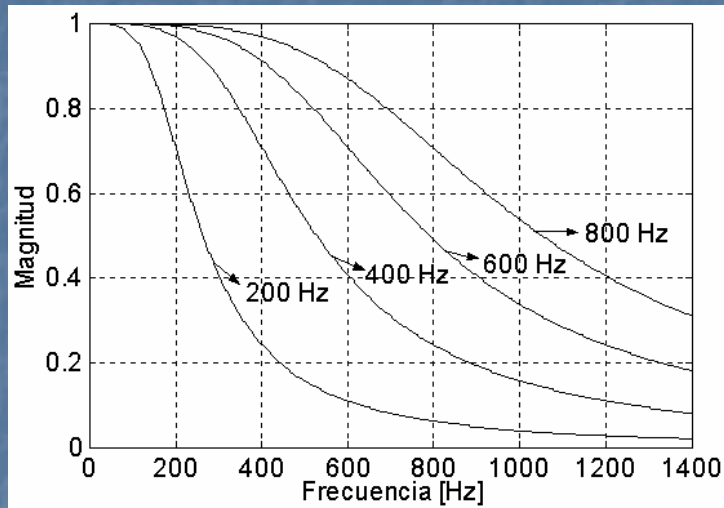
Impacta sobre la atenuación en los lóbulos laterales.



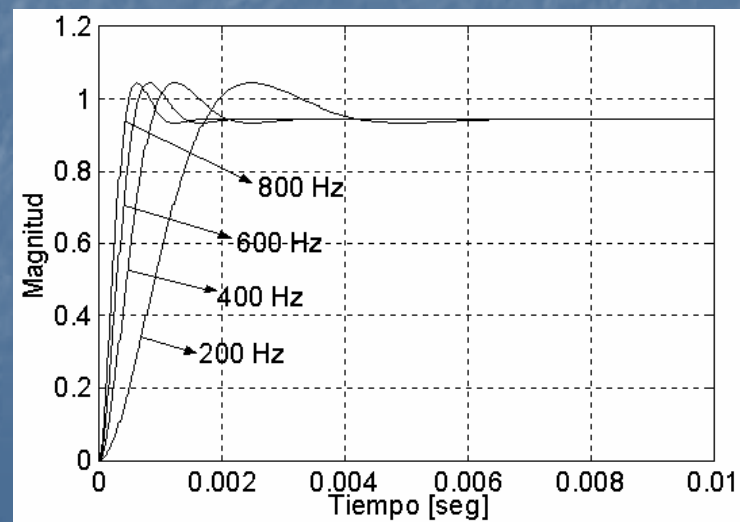
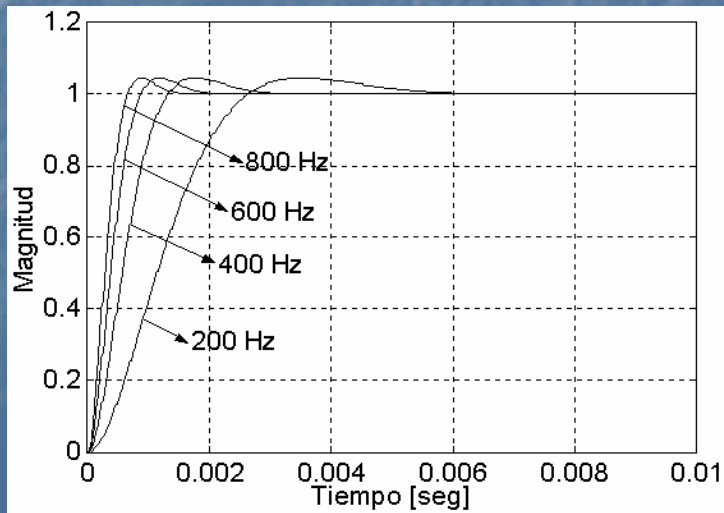
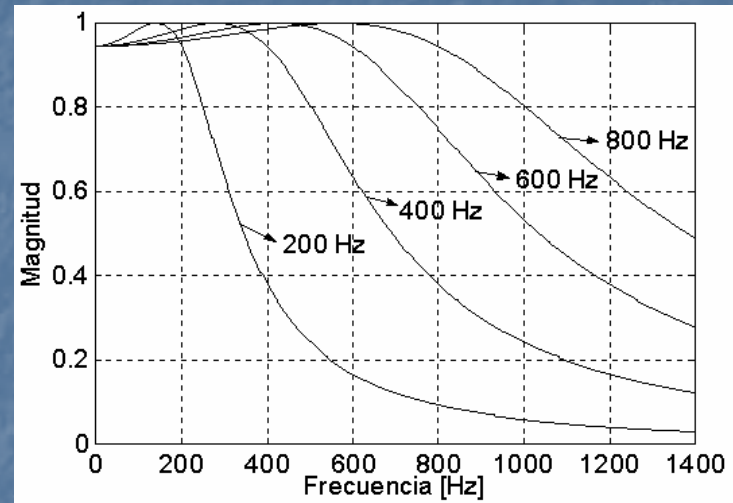
Impacta sobre el retardo en tiempo.

Filtro analógico anti-aliasing

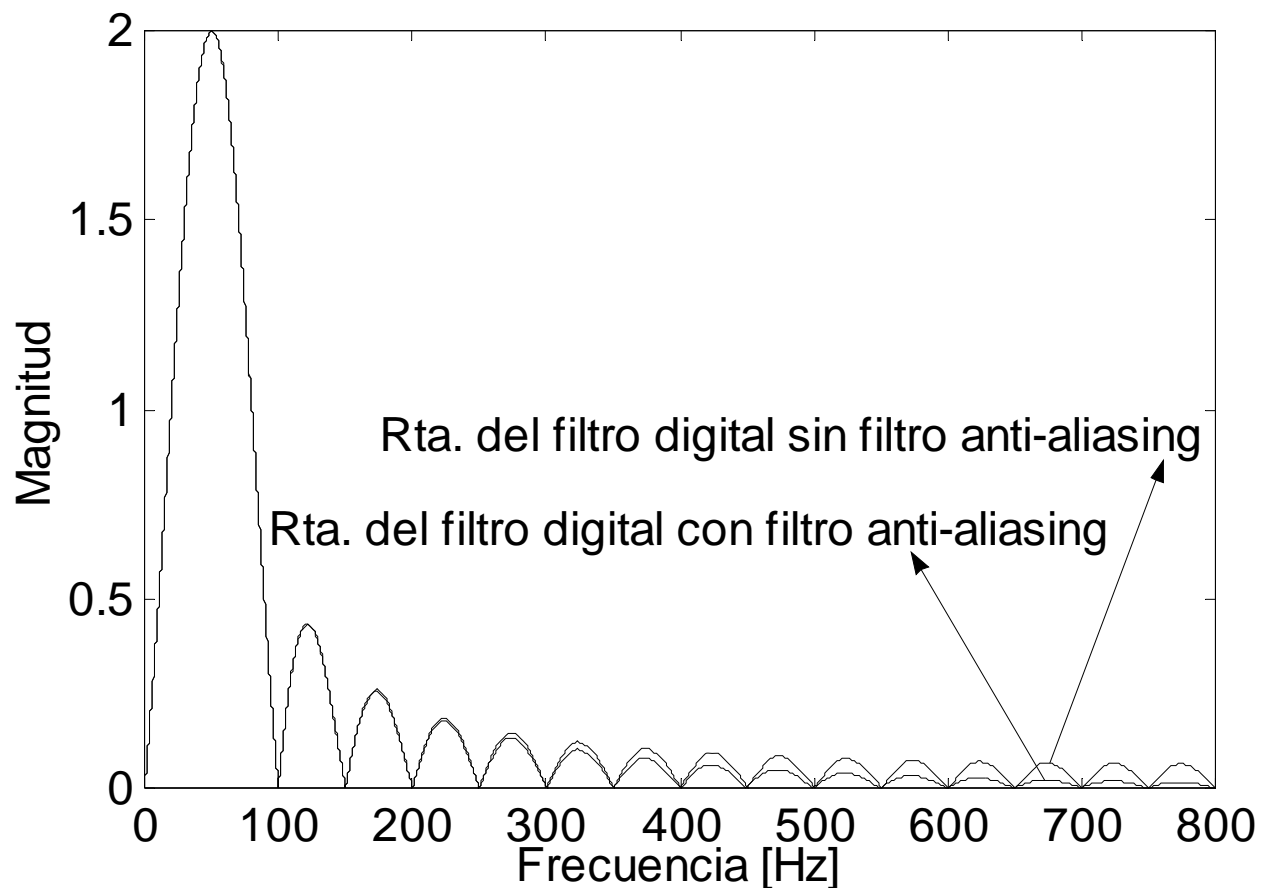
Filtro de Butterworth



Filtro de Chebyshev



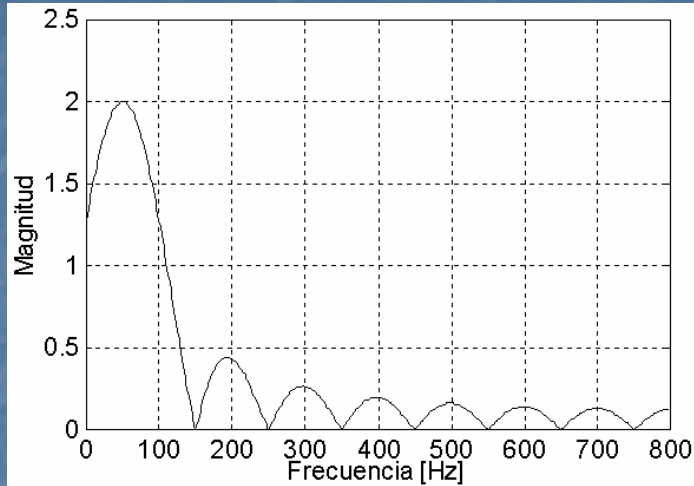
Efecto del filtro anti-aliasing (Butterworth de 2° orden con frecuencia de corte de 400 Hz) sobre el filtro digital



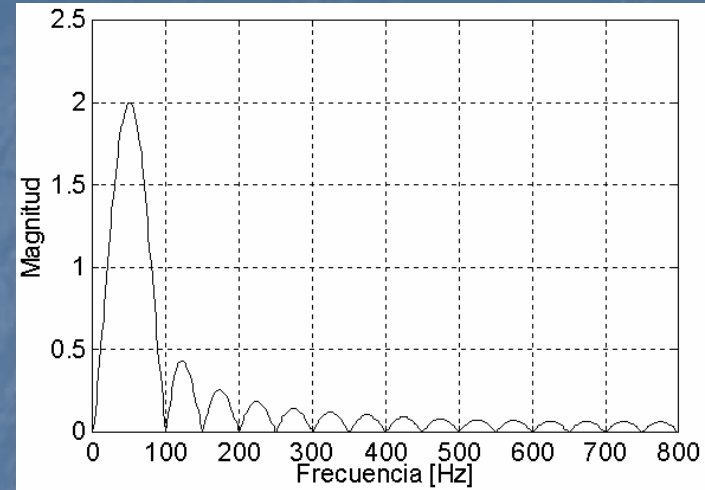
Fourier (1 ciclo)

Rta. en frecuencia para distintas Ventanas

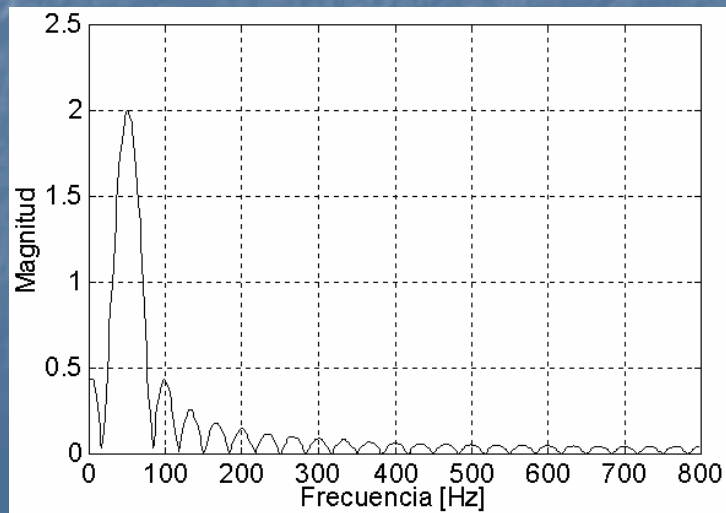
Ventana de 1/2 ciclo



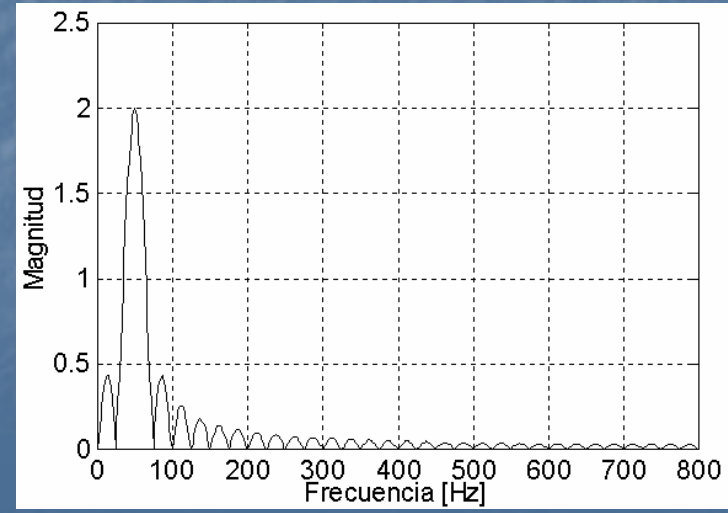
Ventana de 1 ciclo



Ventana de 1 y 1/2 ciclo



Ventana de 2 ciclos



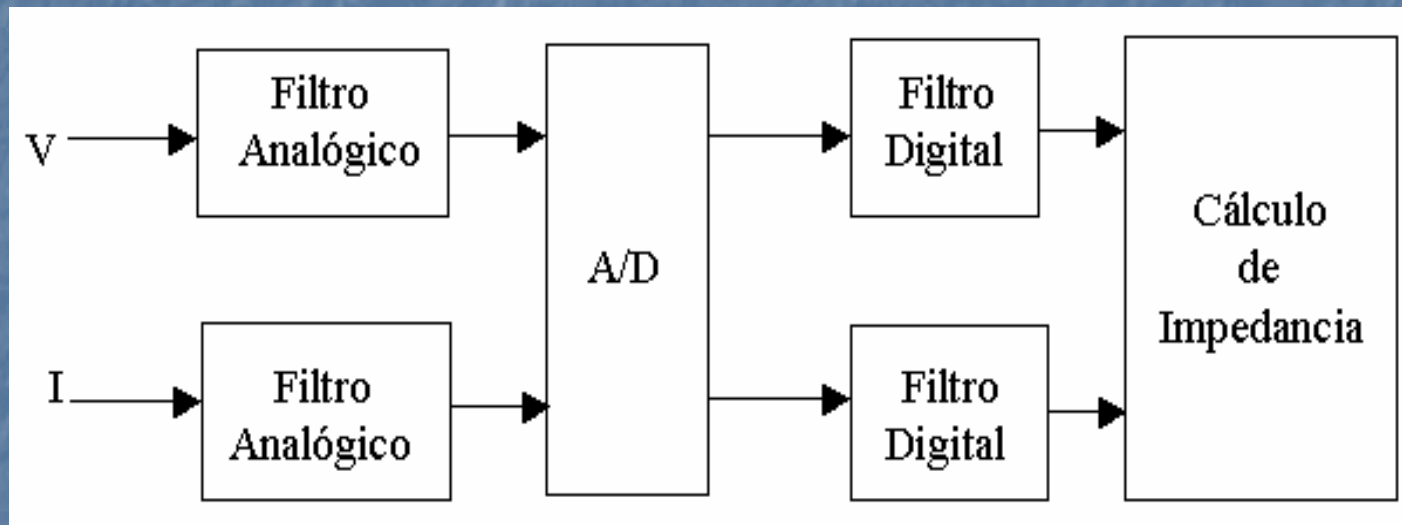


Comportamiento TRANSITORIO del filtro digital

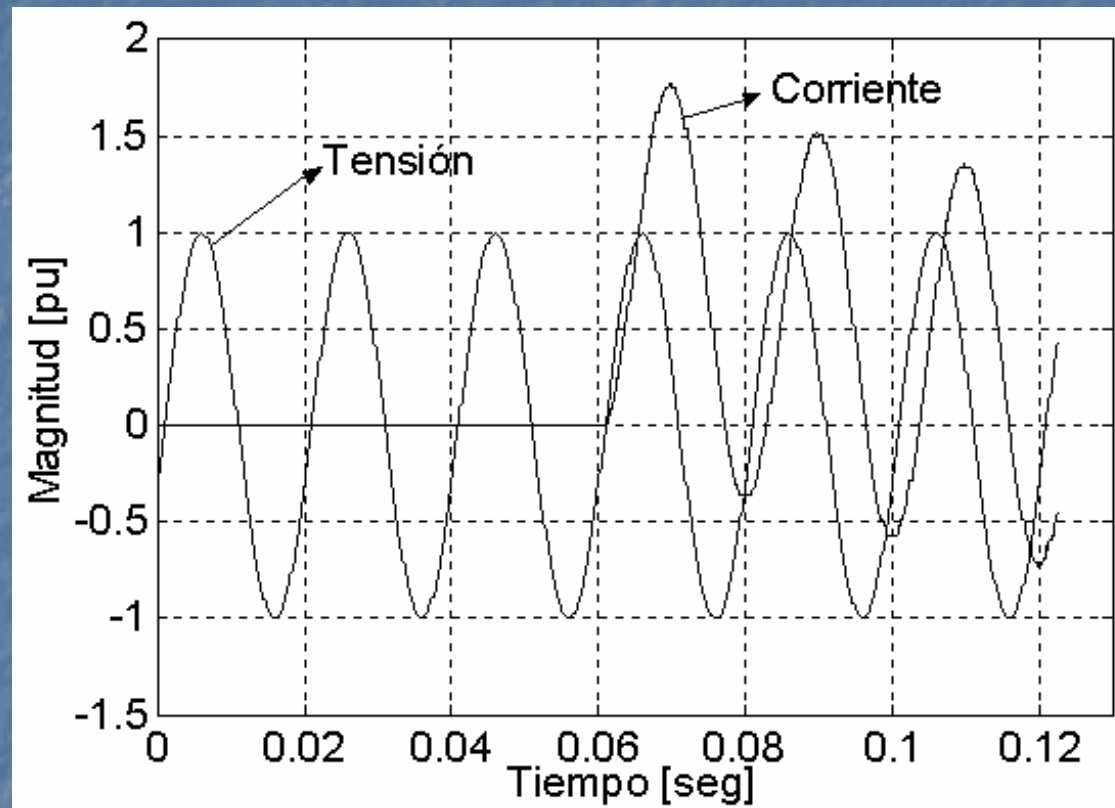
Consideraciones para el análisis transitorio

Se emplean filtros de Fourier con ventanas de datos de $1/2$, 1 , $1 \frac{1}{2}$ y 2 ciclos, frecuencia de muestreo de 1600 muestras/seg (32 muestras/ciclo), y se utiliza un filtro anti-aliasing de Butterworth de 2° orden, con frecuencia de corte en 400 Hz.

Esquema empleado para realizar el análisis transitorio



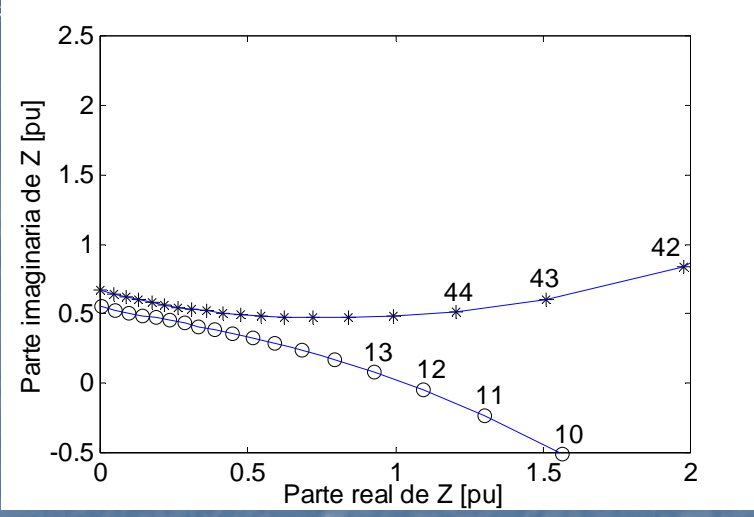
Señales típicas, Utilizadas para un ejemplo de comportamiento transitorio



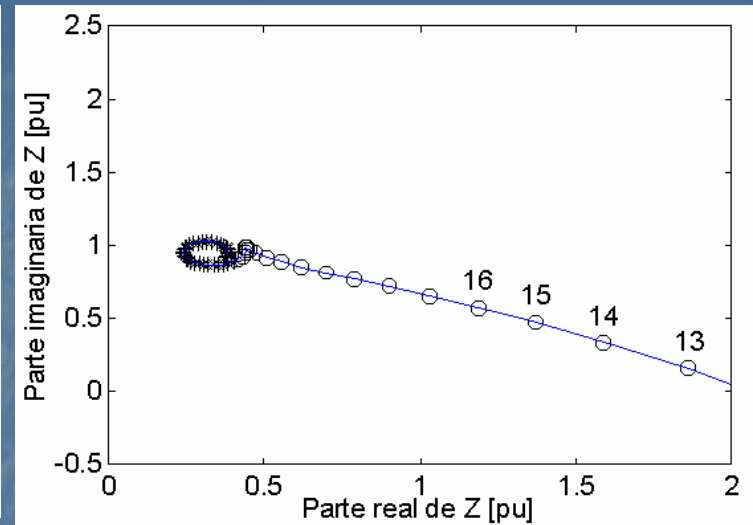
Valor de la impedancia final a medir = $(0.34+j0.94)$ pu



Filtro de Fourier (ventana 1/2 ciclo)

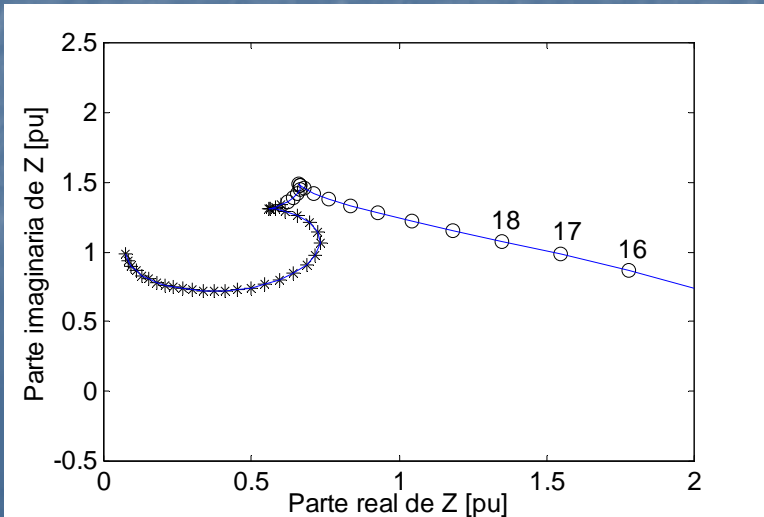


Filtro de Fourier (ventana 1 ciclo)

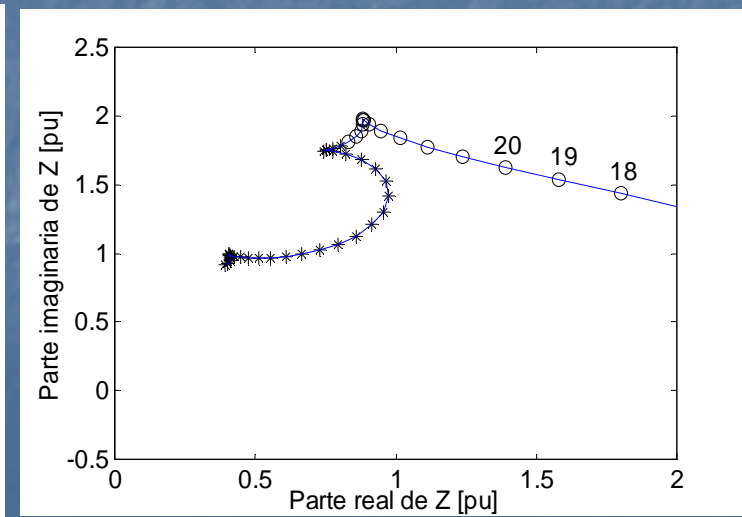


Valor de la impedancia final a medir = $(0.34+j0.94)$ pu

Filtro de Fourier (ventana 1 y 1/2 ciclo)



Filtro de Fourier (ventana 2 ciclos)



Características del Filtro Digital a Utilizar:

Filtro digital de Fourier de Ventana de 1 Ciclo (correspondiente a la frecuencia fundamental 50 Hz)

Frecuencia de muestreo de 1600 muestras/seg ($N_c=32$ muestras/ciclo).

Características del Filtro Anti-aliasing:

Filtro analógico de Butterworth de 2° orden, con frecuencia de corte en 400 Hz

Implementación

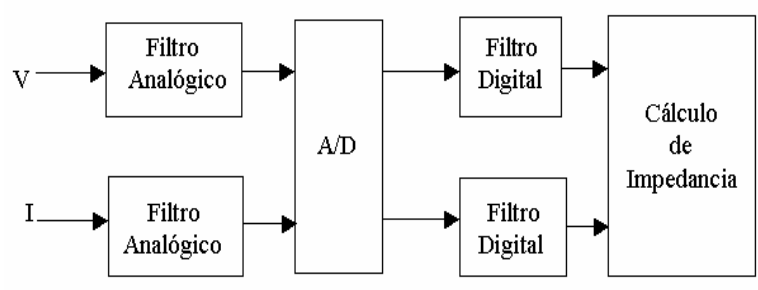
Optima

Entradas Multiplexada

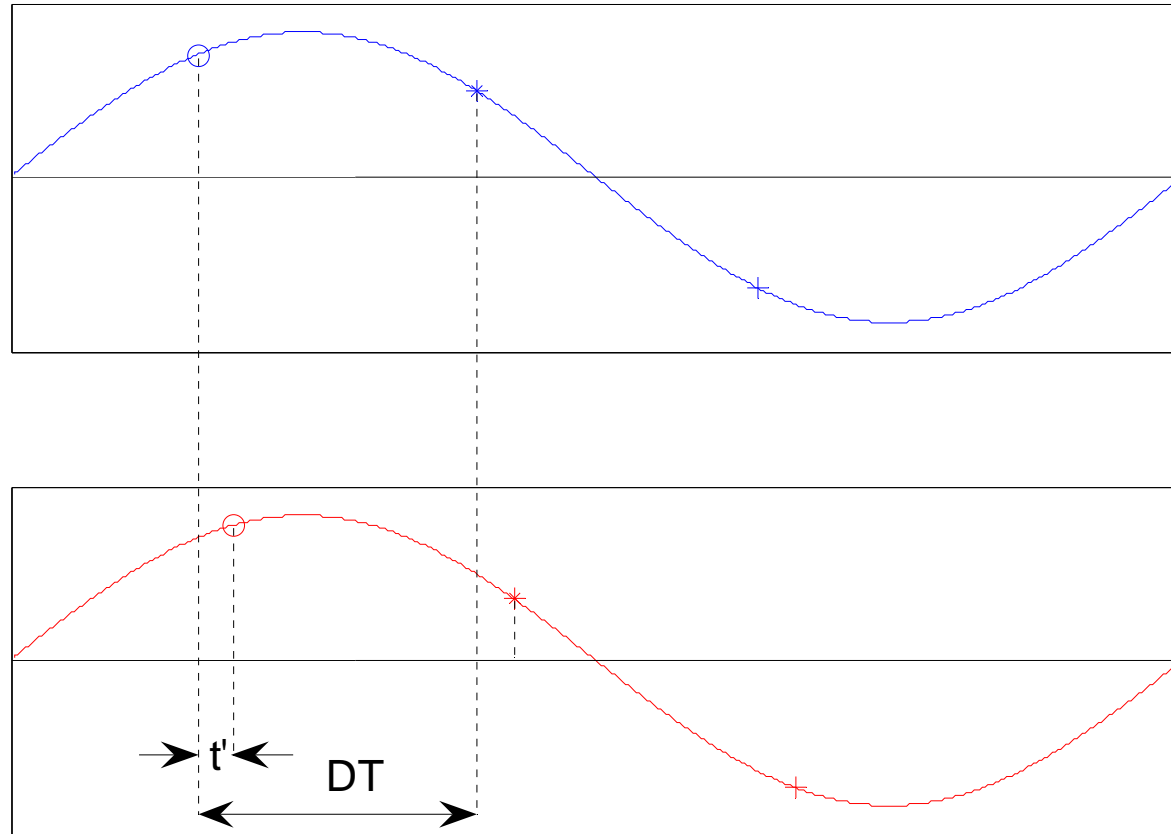
Muestreo simultaneo

Placas más económicas y muy comunes en un entorno industrial

Introducen error en la medición de Z

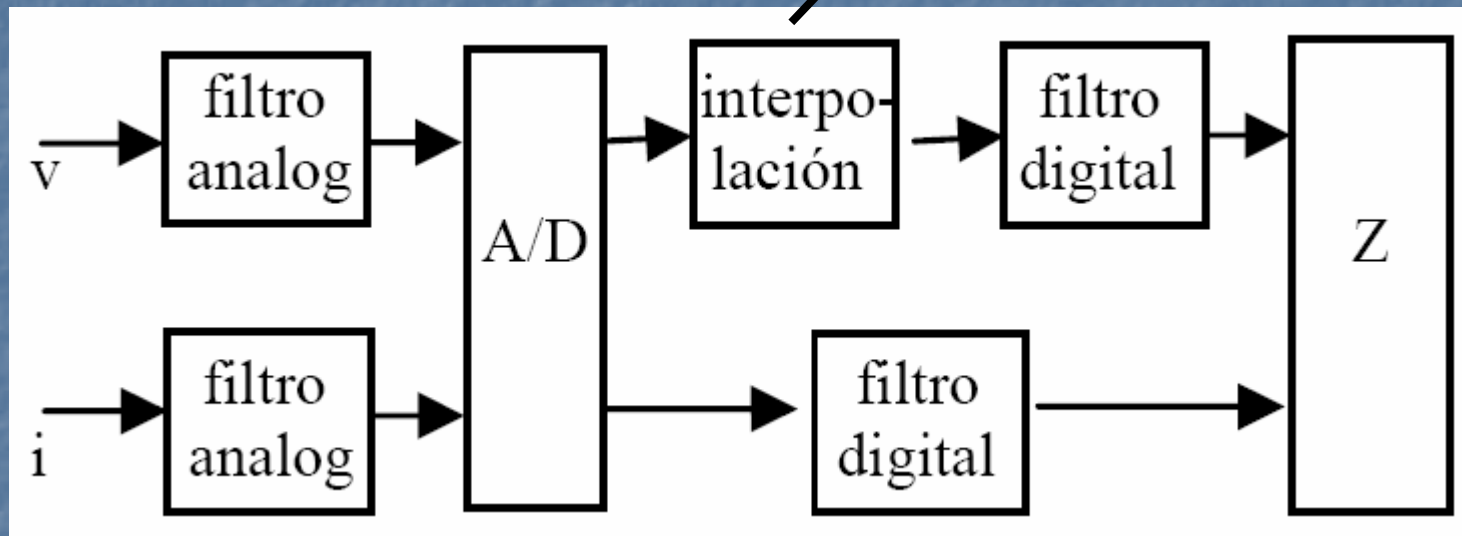


Muestreo con placa con entrada multiplexada



Implementación utilizando placa con muestreo multiplexado

Corre el punto muestreo de tensión



Método utilizando de interpolación

Funciones de Splines para realizar una aproximación polinómica fragmentaria con trazadores cúbicos y frontera sujeta.

$$V_1(t) = a_1 + b_1(t - t_1) + c_1(t - t_1)^2 + d_1(t - t_1)^3$$

$$a_1 = v(t_1)$$

$$b_1 = \frac{v(t_2) - v(t_1)}{h} - \frac{h(2c_1 + c_2)}{3}$$

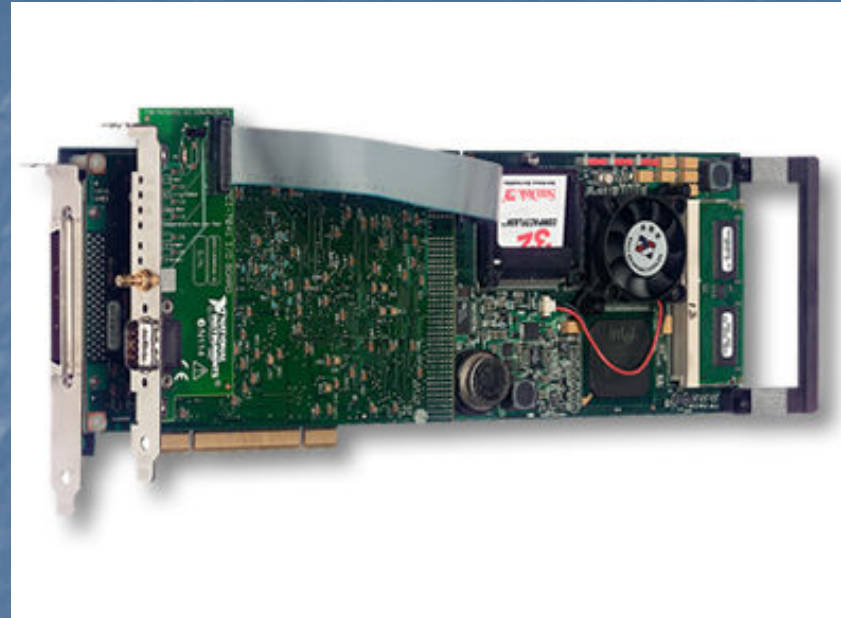
$$d_1 = \frac{c_2 - c_1}{3h}$$

$$\begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2h & h & 0 \\ h & 4h & h \\ 0 & h & 2h \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{3[v(t_1) - v(t_0)]}{h} - 3v'(t_0) \\ \frac{3[v(t_2) - v(t_1)]}{h} - 3[v(t_1) - v(t_0)] \\ 3v'(t_2) - \frac{3[v(t_2) - v(t_1)]}{h} \end{bmatrix}$$

$$v'(t_0) = \frac{-3v(t_0) + 4v(t_1) - v(t_2)}{2h}$$

$$v'(t_2) = \frac{-3v(t_2) + 4v(t_1) - v(t_0)}{-2h}$$

Implementación (Prototipo de prueba, placa empleada)



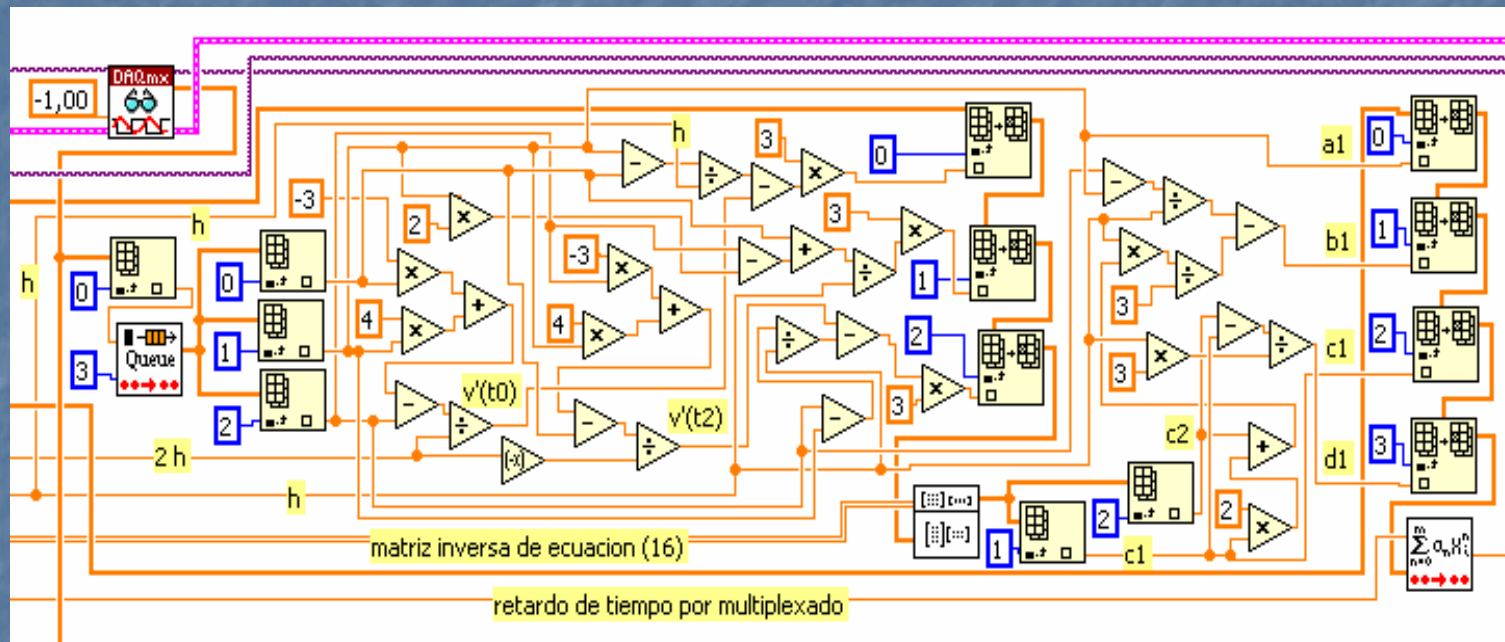
↓
Computadora tipo
PC

↓
Software LabView

(Lenguaje de programación gráfica que utiliza **iconos** en lugar de líneas)

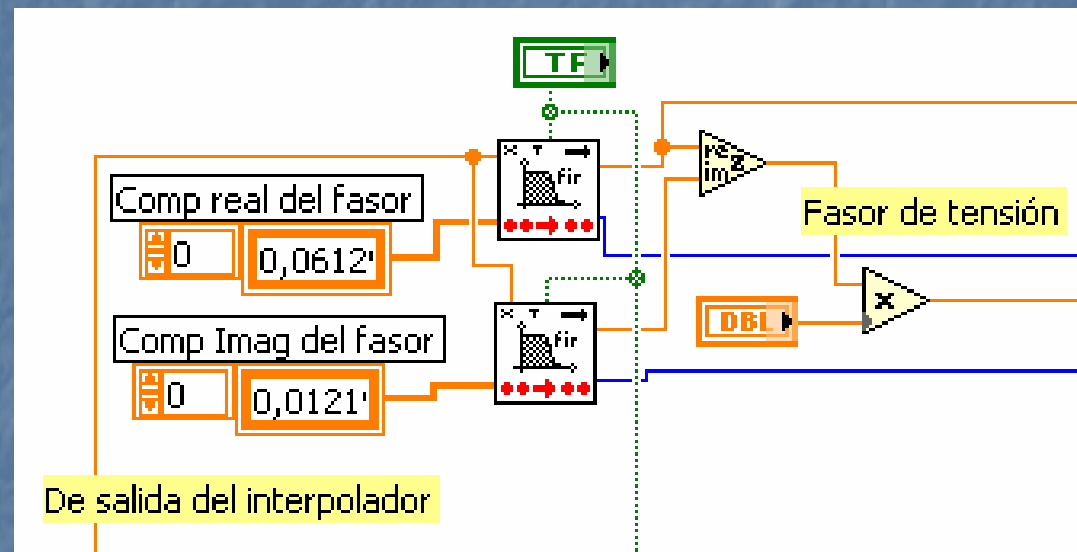
Implementación

Esquema de programación gráfica para la interpolación en el canal de tensión

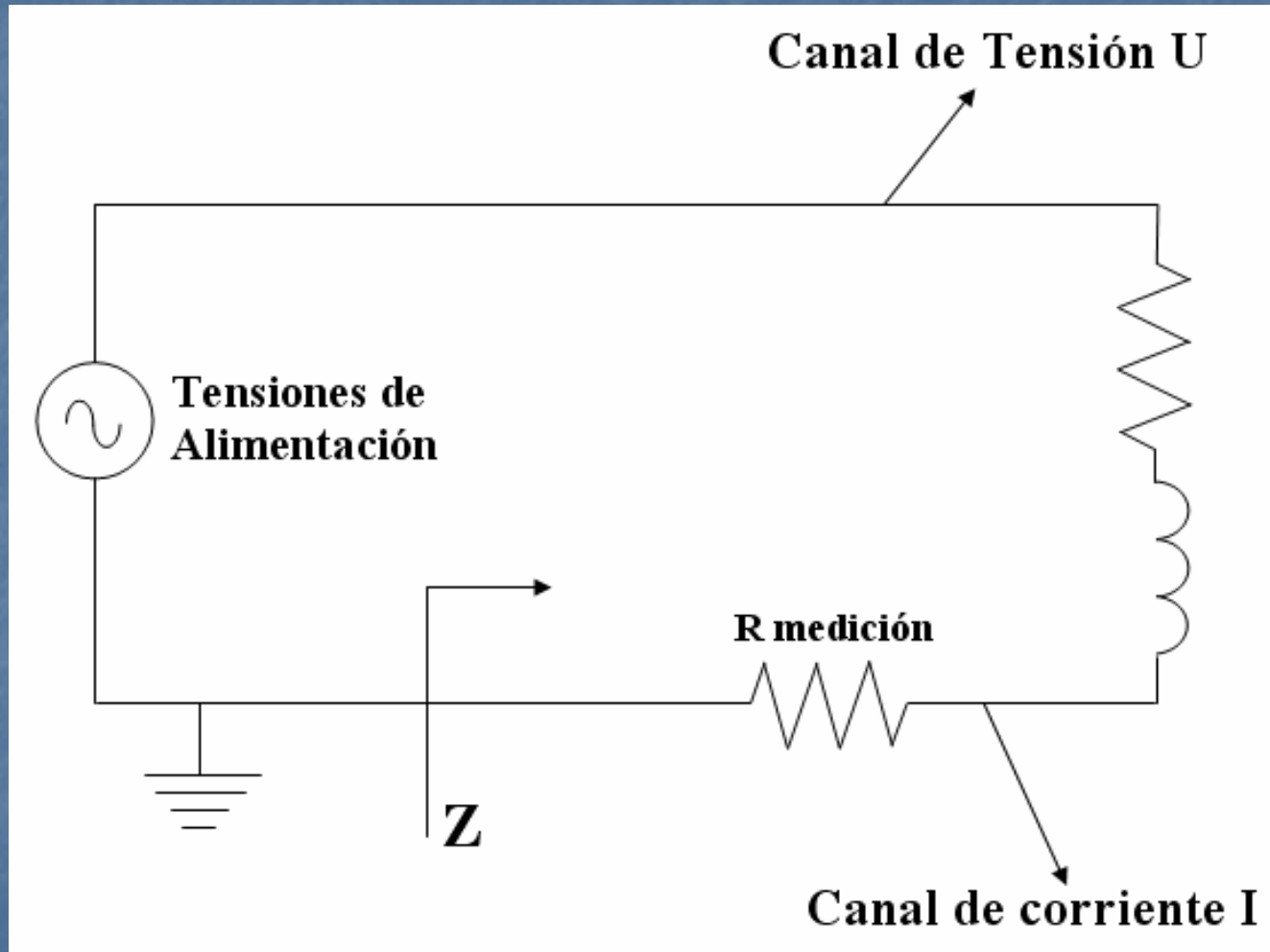


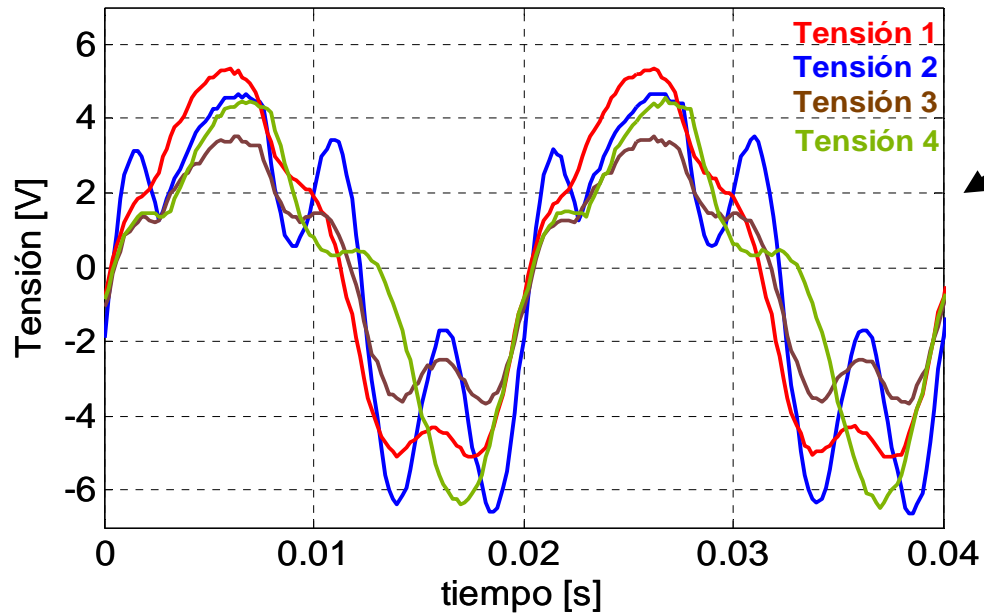
Implementación

Esquema de programación gráfica para la implementación del filtro de Fourier



Circuito de verificación de resultados





Señales de tensión ingresadas al sistema

$Z_{real} = (57 + j87) \text{ ohms}$

Señal de entrada al sistema	R [Ω]	XL [Ω]
Tensión 1	57.5	86.8
Tensión 2	57.5	86.9
Tensión 3	57.5	87
Tensión 4	57.6	86.9

Análisis de resultados

➤ Los errores cometidos en las mediciones realizadas no superan el 1 % para la medición de la componente resistiva y -0.2 % en la medición de la componente reactiva de la impedancia de frecuencia fundamental

➤ Los citados errores no son significativos si el presente sistema es utilizado en funciones de protección.

2º Método a mostrar

Utilización de filtros distintos para U e I.

Contemplando las deformaciones típicas de U e I provenientes del Sistema Eléctrico

Contenido Frecuencial alto en la señal de U.

Sería conveniente utilizar filtros que posean BUENA ATENUACION para las FRECUENCIAS ALTAS.

Contenido Frecuencial bajo en la señal de I.

Sería conveniente utilizar filtros que posean BUENA ATENUACION para las FRECUENCIAS BAJAS.

Los filtros usados son: Seno y Coseno

Filtro Seno para U

$$\hat{x}_{or\ volt} = \frac{2}{N_c} \sum_{n=0}^{N_c-1} x_{volt}(n) \sin\left(\frac{2\pi n}{N_c}\right)$$

$$|\hat{x}_{o\ volt}| = \sqrt{[\hat{x}_{or\ volt}^{(t)}]^2 + [\hat{x}_{or\ volt}^{(t-N_c/4)}]^2}$$

$$\varphi_{o\ volt} = \arctg \left[\frac{\hat{x}_{or\ volt}^{(t-N_c/4)}}{\hat{x}_{or\ volt}^{(t)}} \right]$$

Filtro Coseno para I

$$\hat{x}_{or\ curr} = \frac{2}{N_c} \sum_{n=0}^{N_c-1} x_{curr}(n) \cos\left(\frac{2\pi n}{N_c}\right)$$

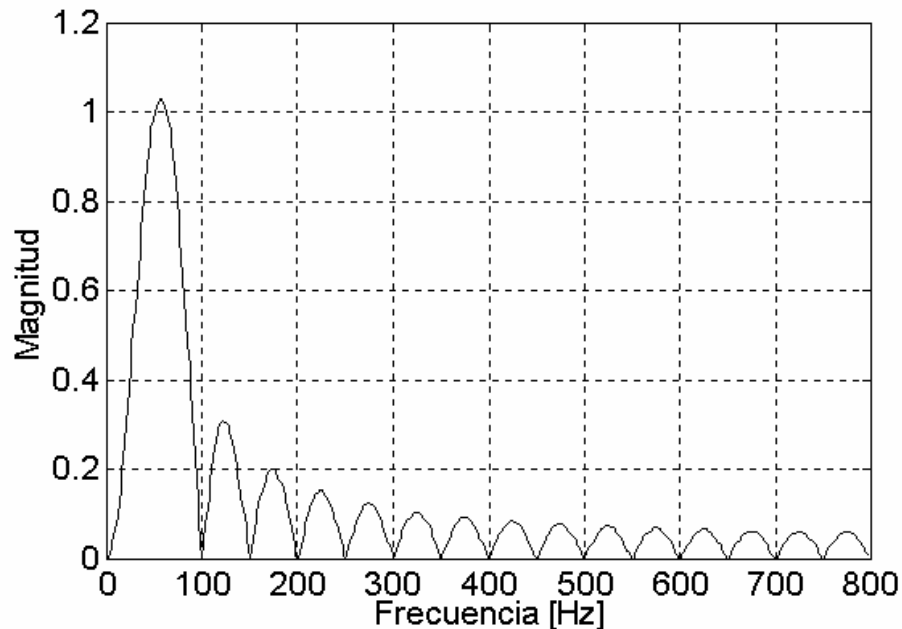
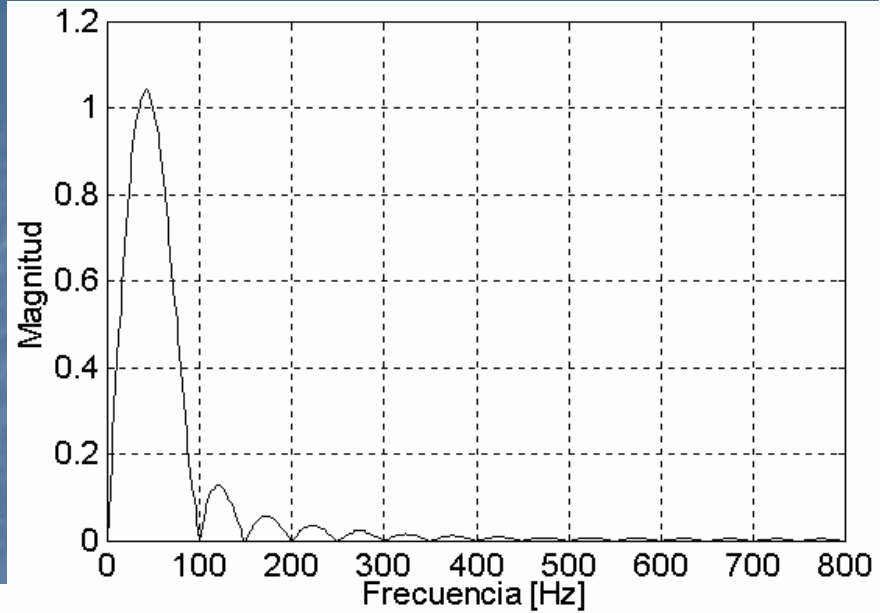
$$|\hat{x}_{o\ curr}| = \sqrt{[\hat{x}_{or\ curr}^{(t)}]^2 + [\hat{x}_{or\ curr}^{(t-N_c/4)}]^2}$$

$$\varphi_{o\ curr} = \arctg \left[\frac{\hat{x}_{or\ curr}^{(t-N_c/4)}}{\hat{x}_{or\ curr}^{(t)}} \right]$$

$$\theta = 2\pi \frac{F_o}{F_s}$$

Algoritmo de filtrado digital Seno y Coseno

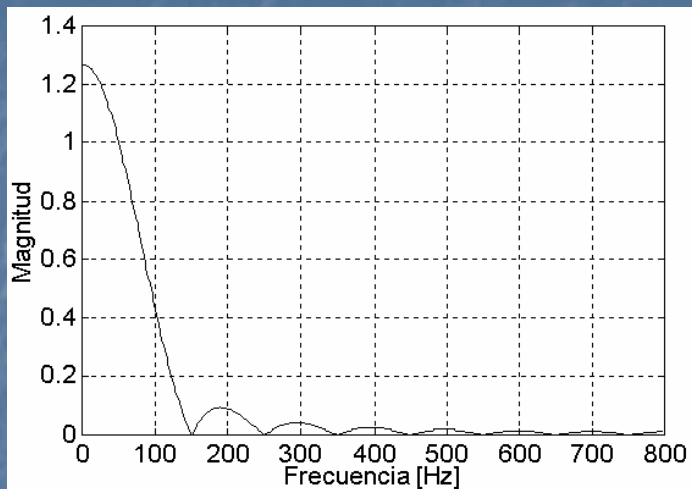
Algoritmo Seno,
Ventana de 1 ciclo



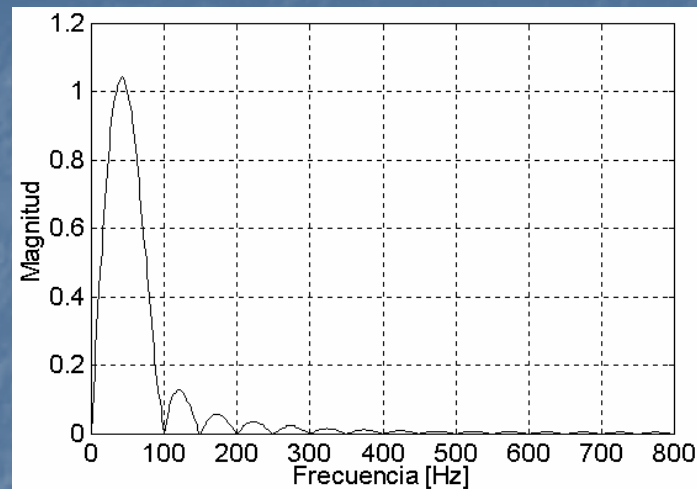
Algoritmo Coseno,
Ventana de 1 ciclo

Rta. en frecuencia para Filtro Seno

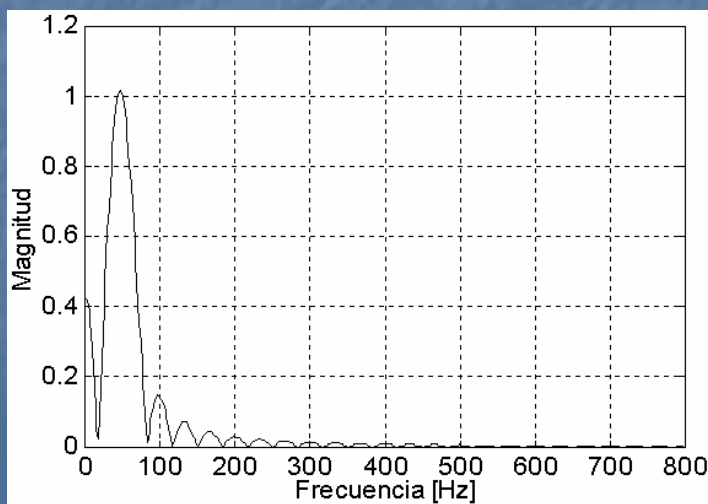
Ventana de 1/2 ciclo



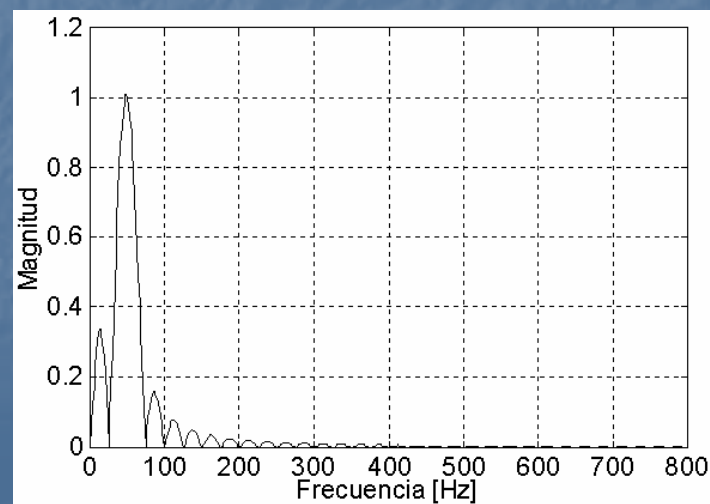
Ventana de 1 ciclo



Ventana de 1 y 1/2 ciclo

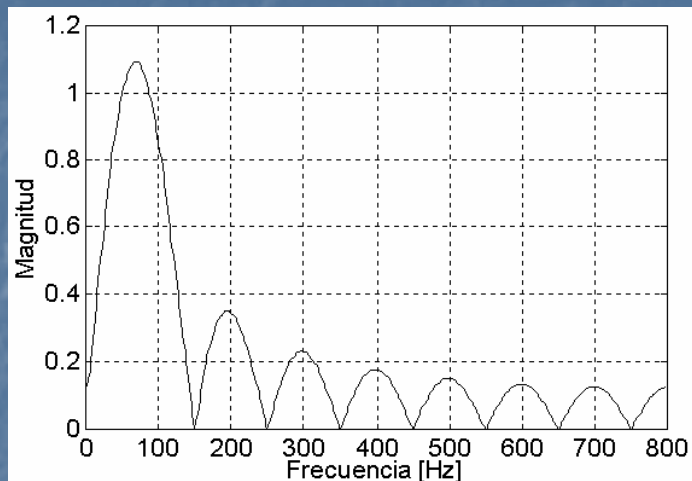


Ventana de 2 ciclos

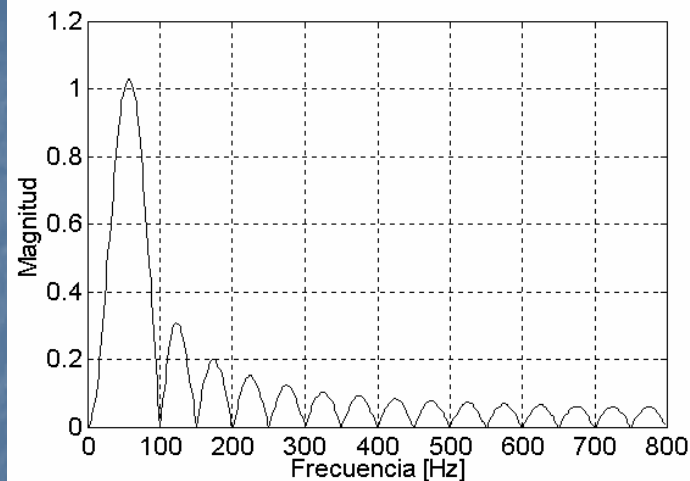


Rta. en frecuencia para Filtro Coseno

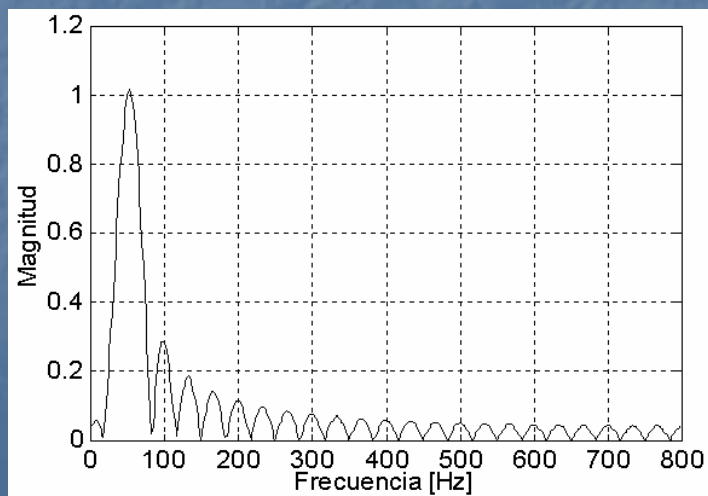
Ventana de 1/2 ciclo



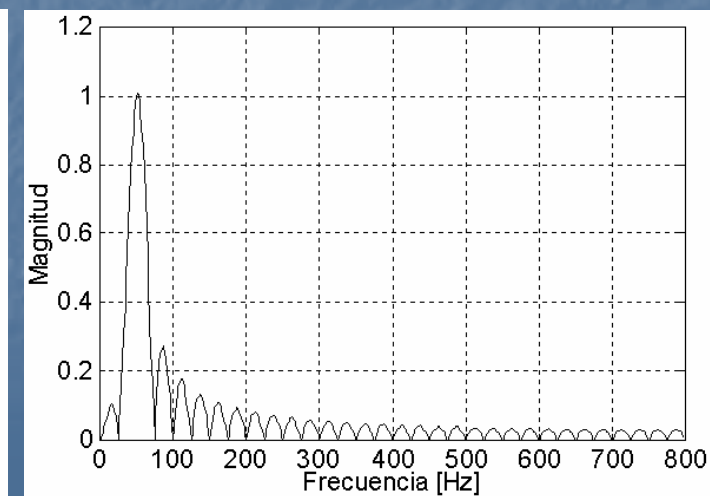
Ventana de 1 ciclo



Ventana de 1 y 1/2 ciclo

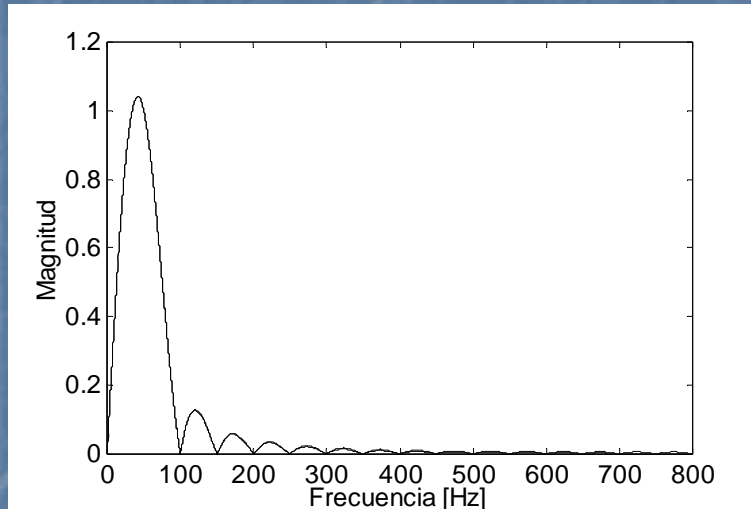


Ventana de 2 ciclos



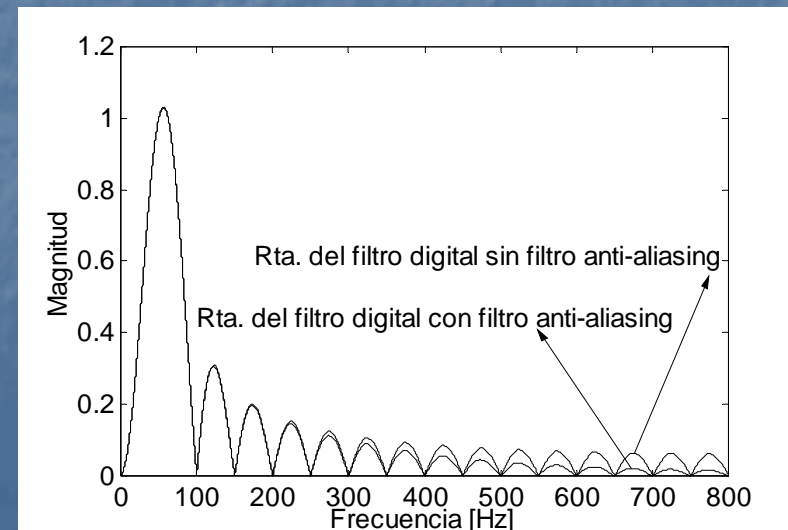
Filtro analógico anti-aliasing

Contemplando lo dicho se utilizan filtros de Butterworth de 2° orden con frecuencia de corte de 400 Hz.



← Efecto del filtro analógico sobre el Algoritmo Seno. (Ventana de 1 ciclo)

Efecto del filtro analógico sobre el Algoritmo Coseno. →



Corrección del defasaje entre señales por utilizar filtros diferentes

Debido a la combinación de los filtros Seno y Coseno en los canales de tensión y corriente, el fasor de impedancia Z calculado sufre un adelanto de $\pi/2$ radianes, el cual se corrige contemplando lo siguiente:

$$\textit{Parte imaginaria de } Z_{\text{correcto}} = - \textit{Parte real de } Z_{\text{medido}}$$

$$\textit{Parte real de } Z_{\text{correcto}} = \textit{Parte imaginaria de } Z_{\text{medido}}$$

Características de los Filtros Digitales a Usar:

Filtro digital Seno para el canal de tensión U, con Ventana de 1 Ciclo (correspondiente a la frecuencia fundamental 50 Hz)

Filtro digital Coseno para el canal de corriente I, con Ventana de 1 Ciclo (correspondiente a la frecuencia fundamental 50 Hz)

Frecuencia de muestreo de 1600 muestras/seg ($N_c=32$ muestras/ciclo).

Características del Filtro Anti-aliasing:

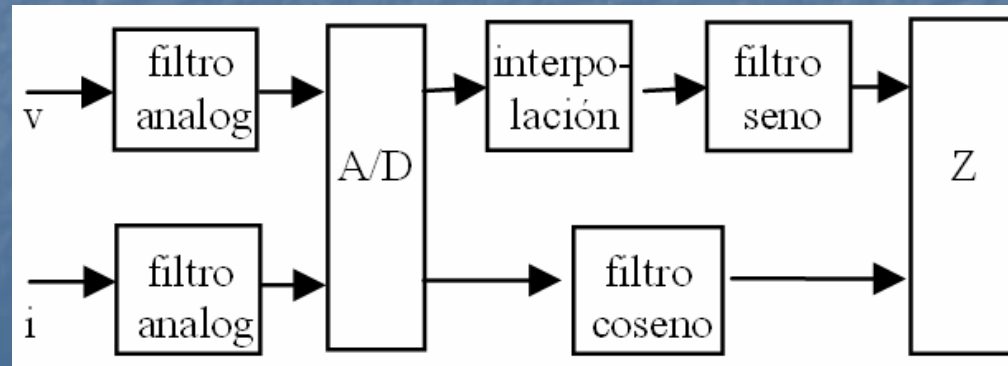
Filtro analógico de Butterworth de 2° orden, con frecuencia de corte en 400 Hz

Implementación

Se realiza con placa de Entradas Multiplexadas

Placas más económicas y muy comunes en un entorno industrial

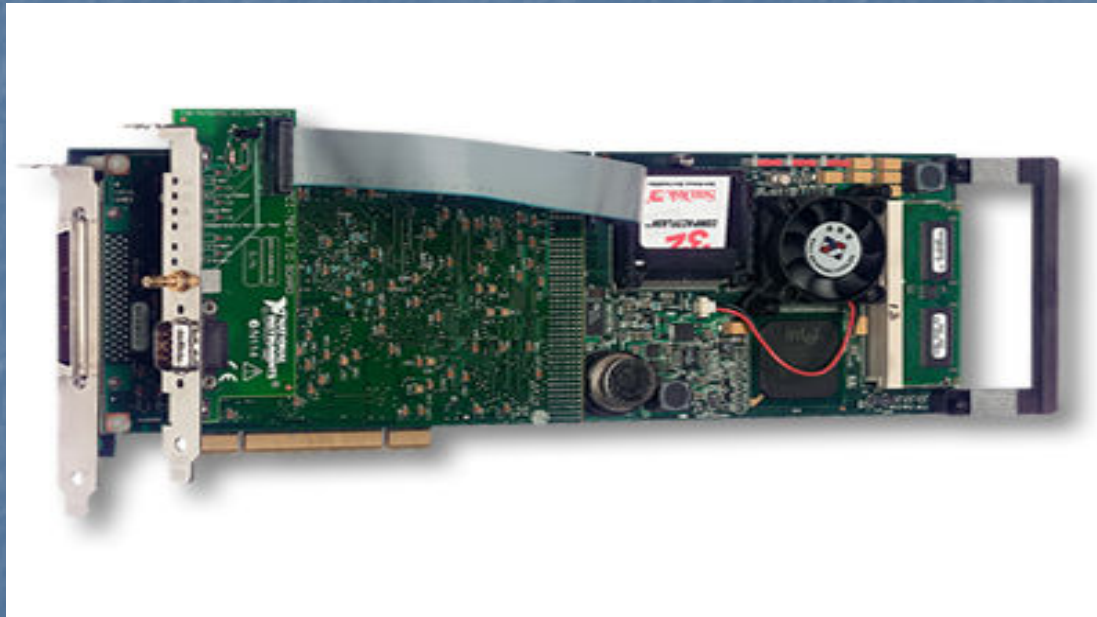
Introducen error en la medición de Z



Interpolación, placa y software utilizado

Funciones de Splines para realizar una aproximación polinómica fragmentaria con trazadores cúbicos y frontera sujeta.

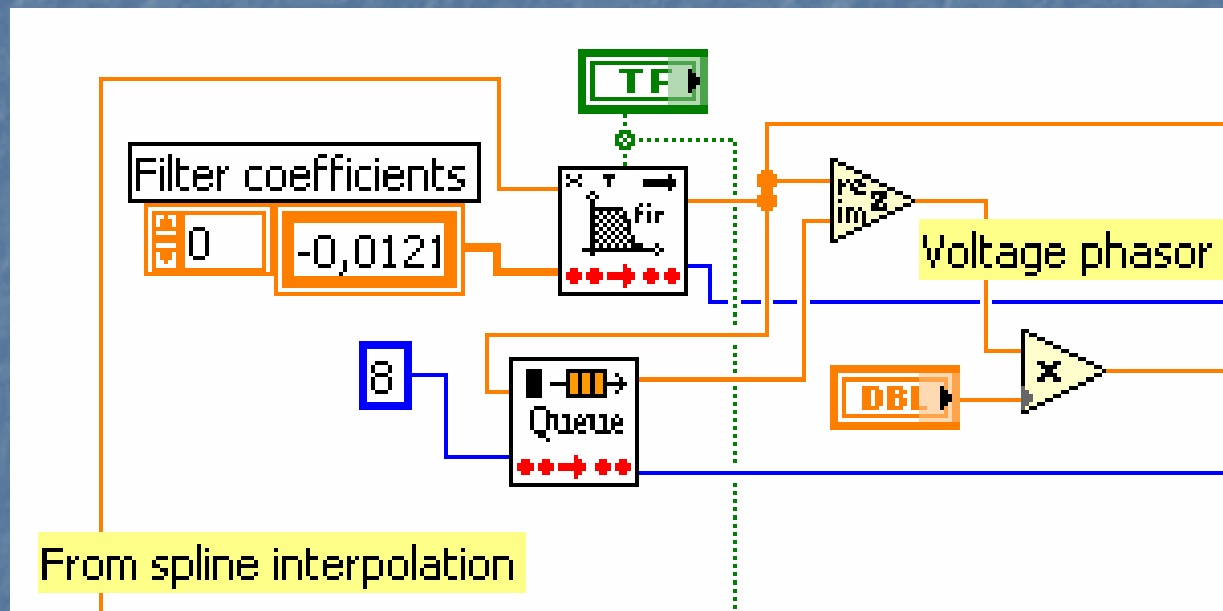
$$V_1(t) = a_1 + b_1(t - t_1) + c_1(t - t_1)^2 + d_1(t - t_1)^3$$



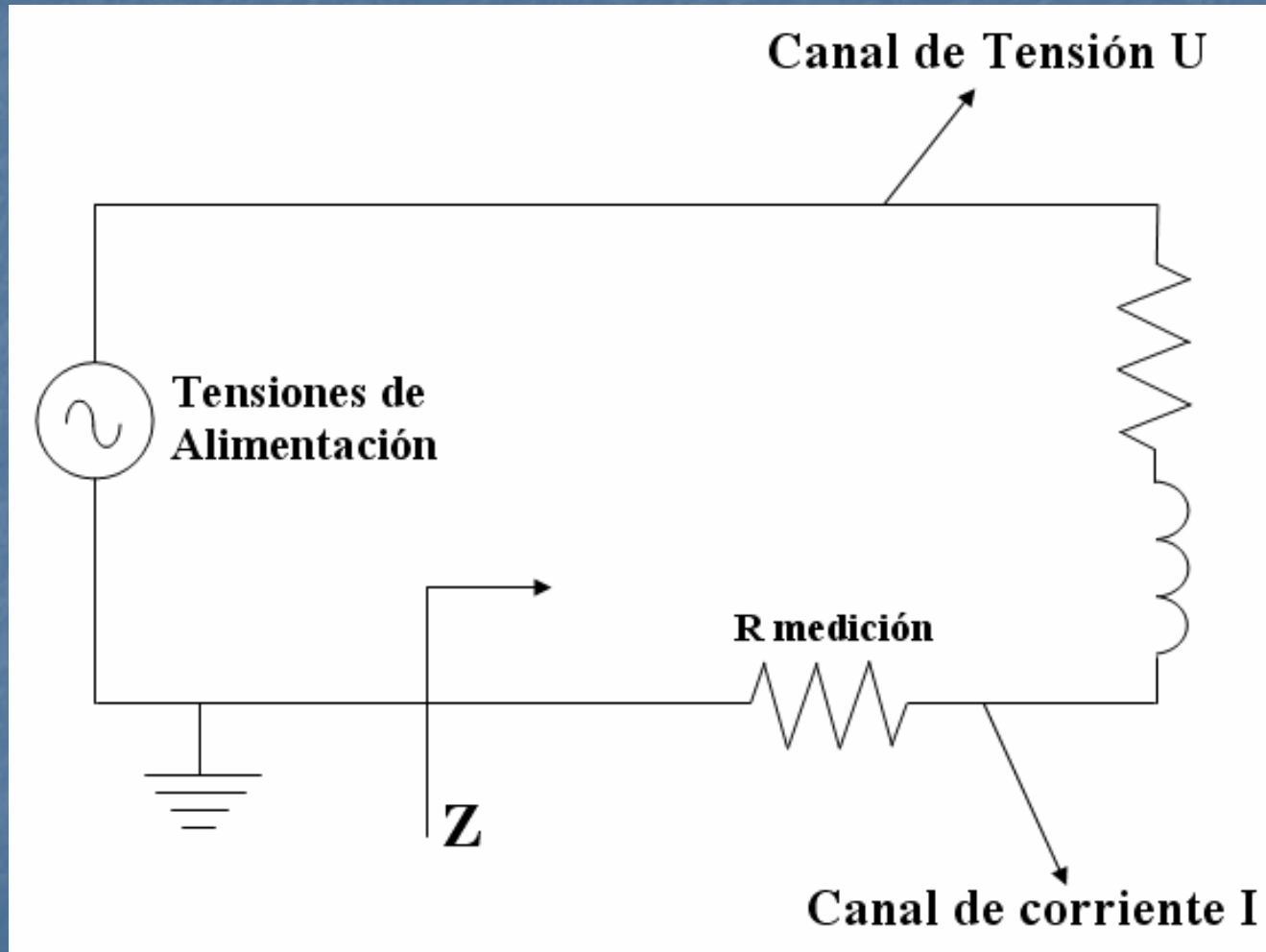
Software LabView

Implementación

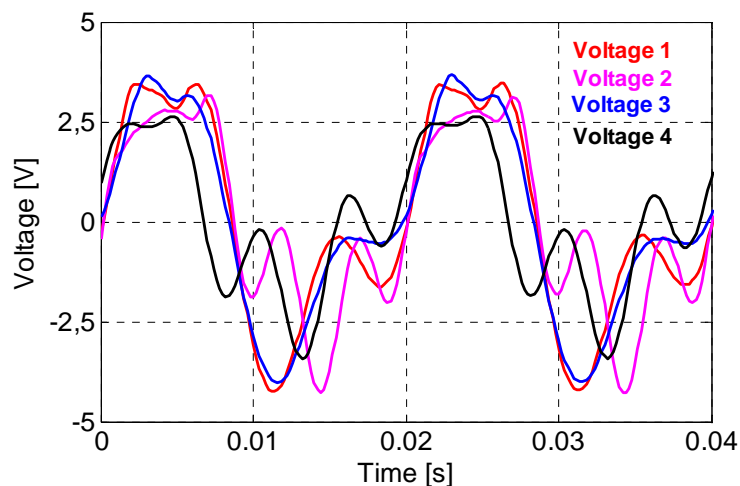
Esquema de programación gráfica para la implementación del filtro digital



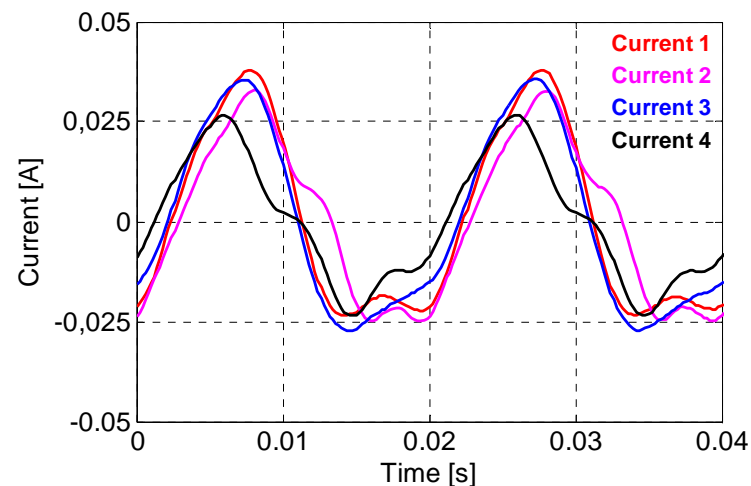
Circuito de verificación de resultados



Tensiones ingresadas al sistema



Corrientes ingresadas al sistema

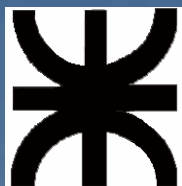


$$Z_{real} = (51 + j87) \text{ ohms}$$

Tensiones Ingresadas al sistema	R [Ω]	XL [Ω]
Tensión 1	51.3	87.5
Tensión 2	51.1	87.4
Tensión 3	50.6	87.3
Tensión 4	51.5	87.5

Conclusiones

Ambos sistemas propuestos presentan un comportamiento satisfactorio y los errores que se presentan no son significativos si se los utiliza para funciones de protección.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL LA PLATA

GUPO DE I+D "TSSE"

BIEL
light+building
CONGRESS

Trabajos de investigación en curso

- Corrección de las alteraciones de la corriente secundaria de un TA, considerando condiciones transitorias.
- Disminuir los errores introducidos por los transformadores de tensión en condiciones estables como en transitorias de funcionamiento.
- Junto con profesionales de UTN Reg. Concordia y Santa Fe, CTM De Salto Grande, EPE Santa Fe y Hangar Servicios estamos trabajando en el Diagnóstico del estado de aisladores poliméricos.

Dr. Ing. Héctor O. Pascual

E-mail: opascual@frlp.utn.edu.ar