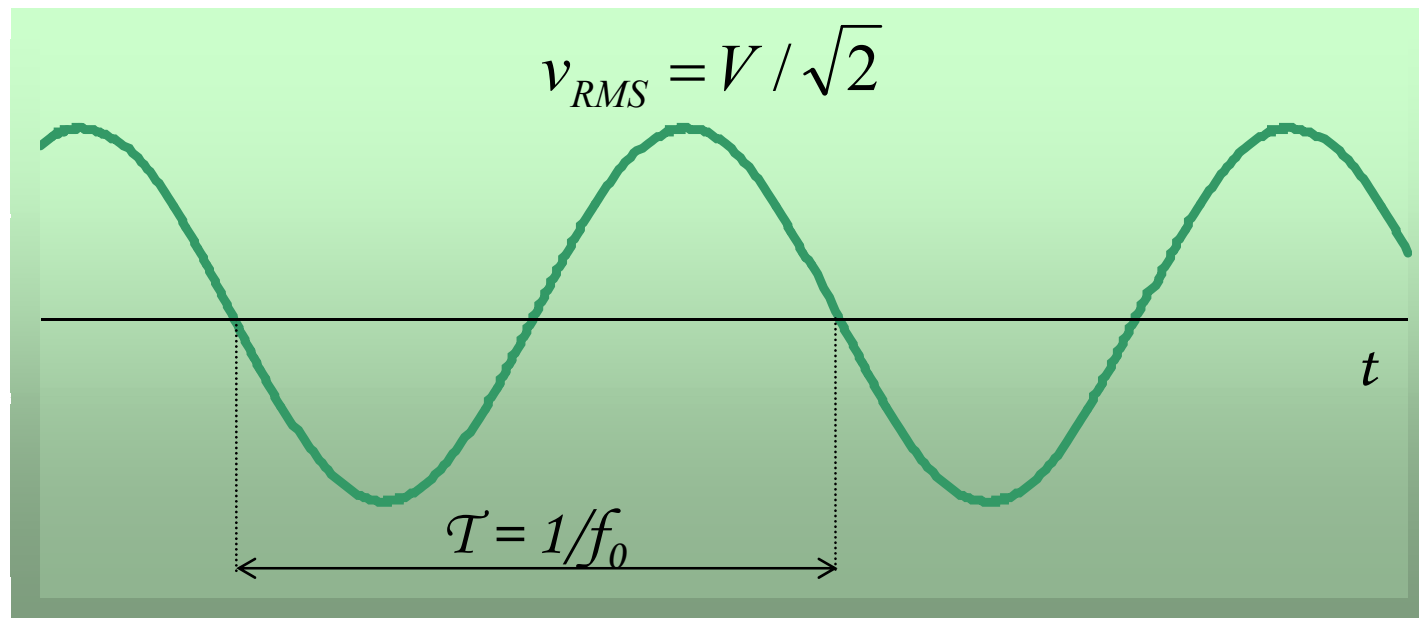


Taller: Técnicas digitales para la medición de alta exactitud de tensión, corriente y potencia



René Carranza, Sergio Campos, Adrián Castruita,
Eugenia García

Contenido

- 1. Introducción**
- 2. Medición del valor RMS de señales estacionarias por métodos digitales.**
- 3. Medición de tensión, corriente y potencia con métodos digitales.**
- 4. Conclusiones.**



1. Introducción

- Mensurandos en señales eléctricas
- Valor eficaz (RMS) en señales eléctricas periódicas
- Medición digital del valor eficaz

Mensurandos en señales eléctricas

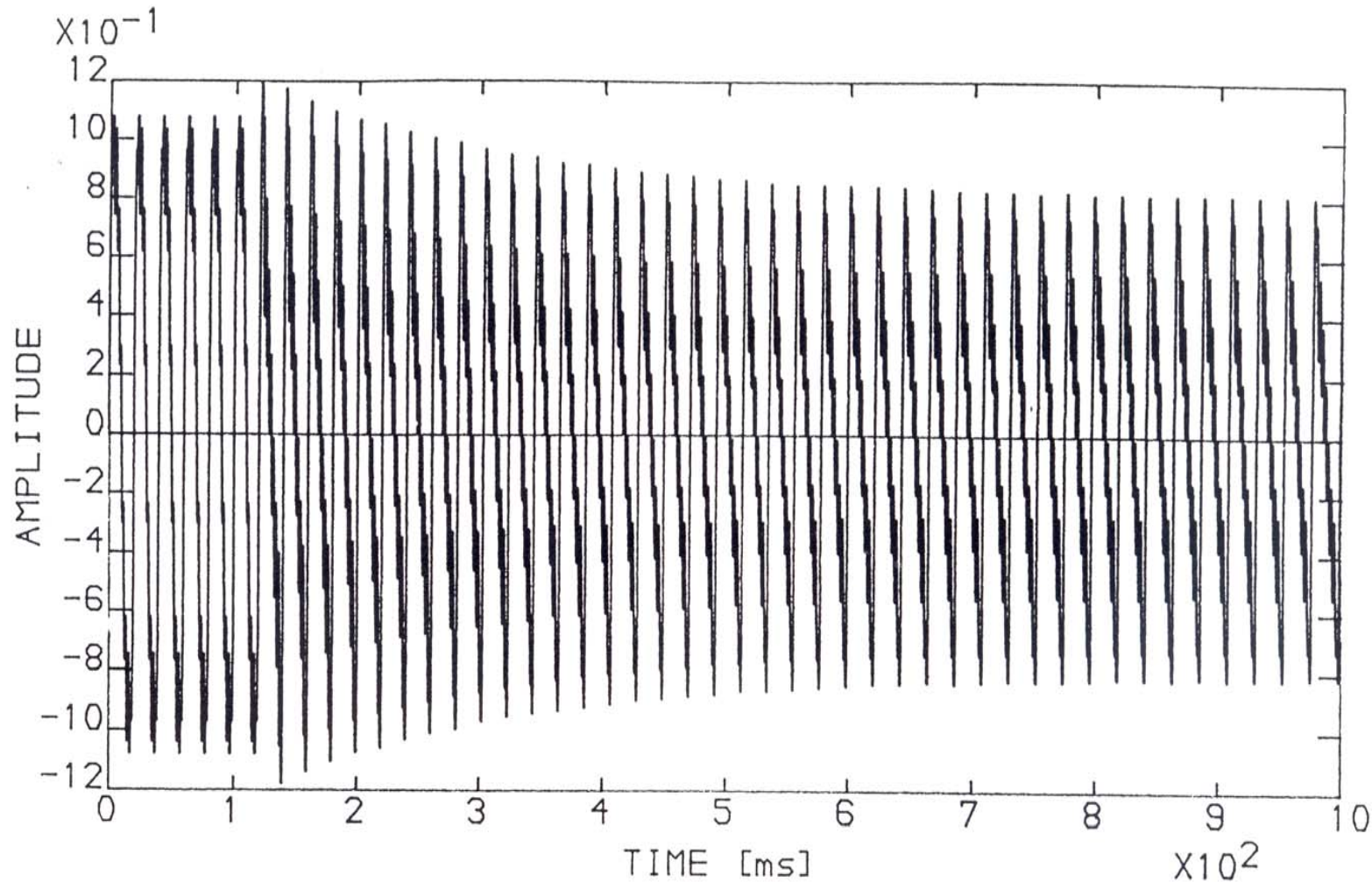
Una señal eléctrica se puede expresar como una función del tiempo:

$$v(t) = V_0 + V_1(t) \text{sen}(2\pi f_1(t)t + \phi_1(t)) + \sum_{k=2}^K V_k(t) \text{sen}(2\pi f_k(t)t + \phi_k(t)) + r(t)$$

magnitud	símbolo
Componente de corriente continua (offset)	V_0
Modulación de amplitud de la fundamental	$V_1(t)$
Modulación de la frecuencia fundamental	$f_1(t)$
Fase de la fundamental	$\phi_1(t)$
Amplitud modulada de la k-armónica	$V_k(t)$
Frecuencia de la k-armónica	$f_k(t)$
Fase de la k-armónica	$\phi_k(t)$
Ruido aditivo	$r(t)$

Mensurandos en señales eléctricas

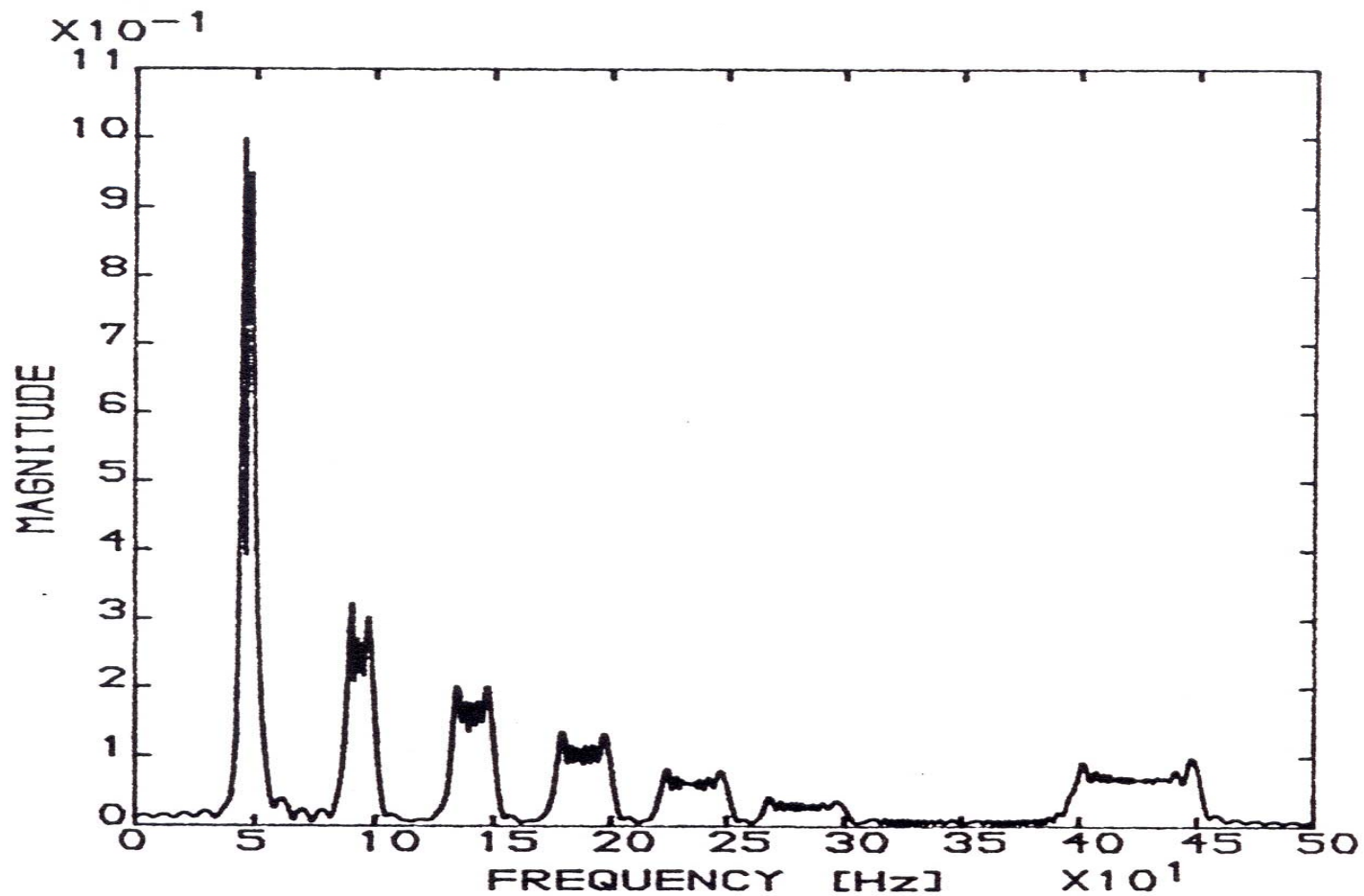
Sin embargo, es necesario un método específico de medición para cada mensurando.



- V_0
- $V_1(t)$
- $f_1(t)$
- $\varphi_1(t)$
- $V_k(t)$
- $f_k(t)$
- $\varphi_k(t)$
- $r(t)$

Mensurandos en señales eléctricas

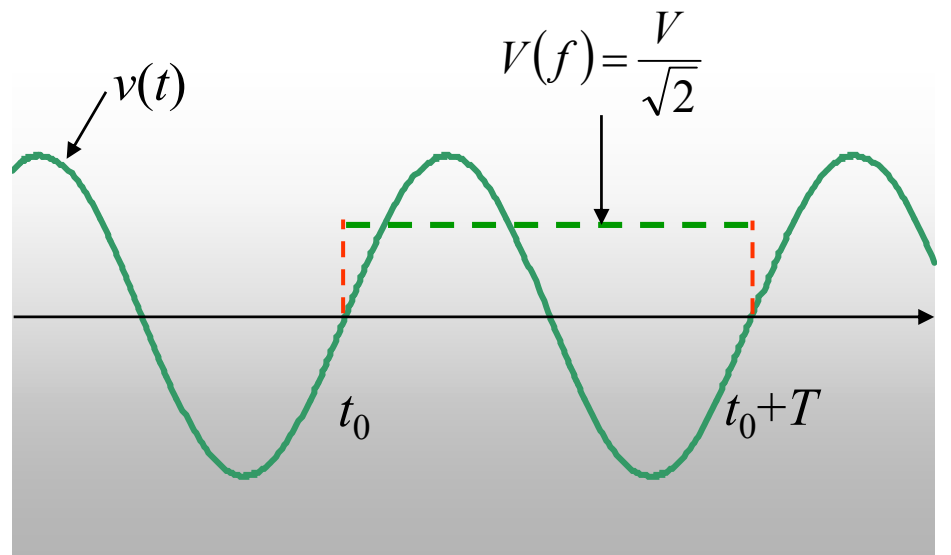
El análisis espectral de la señal usando TDF



Valor eficaz (RMS) en señales periódicas

Para una señal eléctrica con periodo T , el valor eficaz (RMS):

$$v_{\text{eficaz}} = \sqrt{\int_{t_0}^{t_0+T} \frac{v^2(t)}{T} dt} = \frac{V}{\sqrt{2}}$$

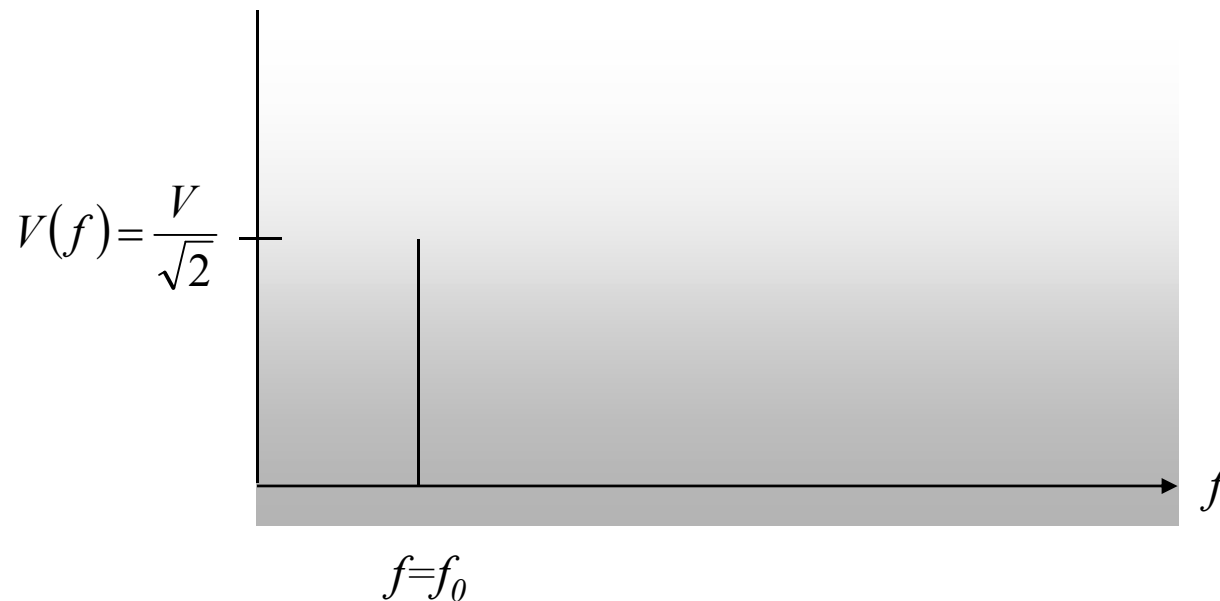


Valor eficaz (RMS) en señales periódicas

Si la señal $v(t)$ es sinusoidal, su contenido de frecuencias es:

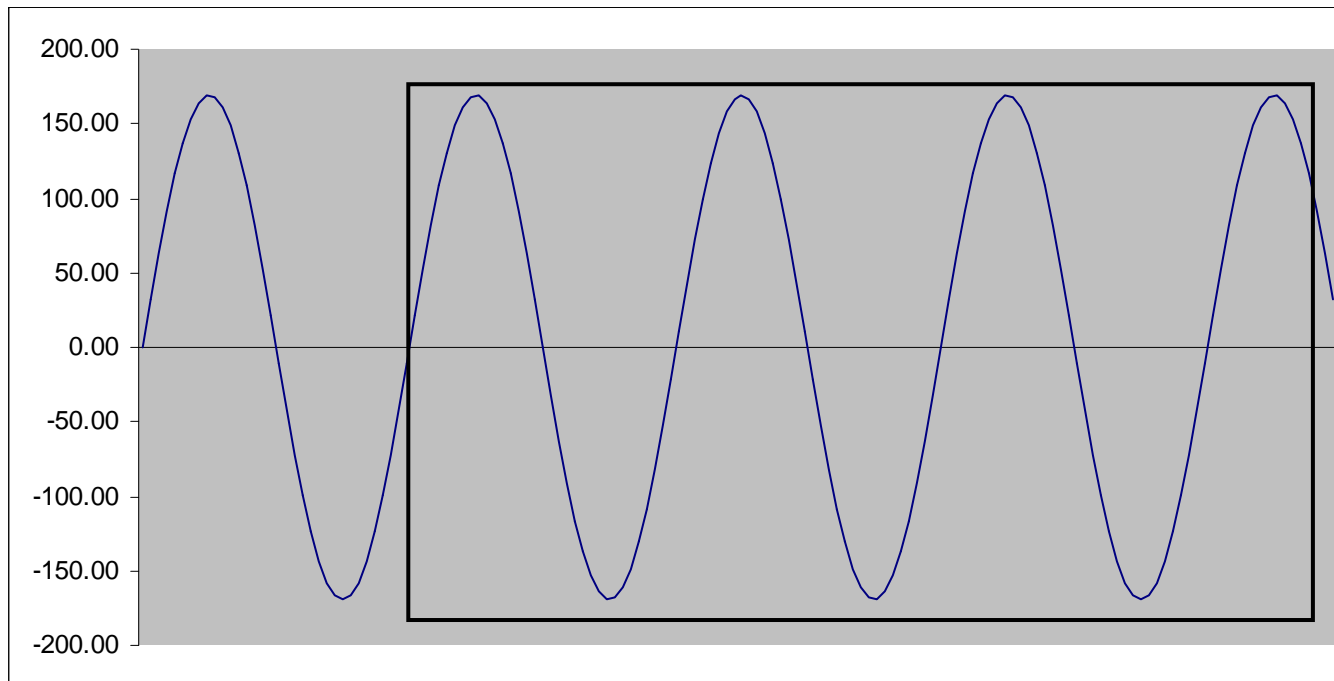
$$V(f) = \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} v(t) e^{-j2\pi t} dt$$

El mensurando $v(t)$ tiene una componente de frecuencia $f=f_0$.



Medición digital del valor eficaz (RMS) en señales periódicas

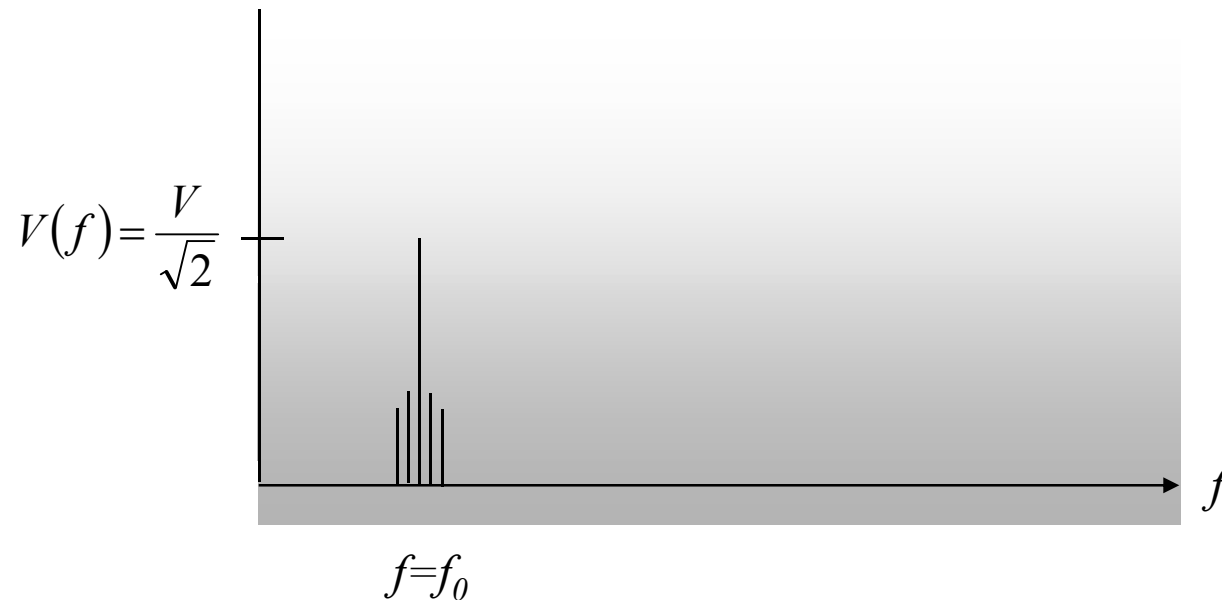
1. Medición de V_{eficaz} en periodos no-enteros T



Valor eficaz (RMS) en señales periódicas

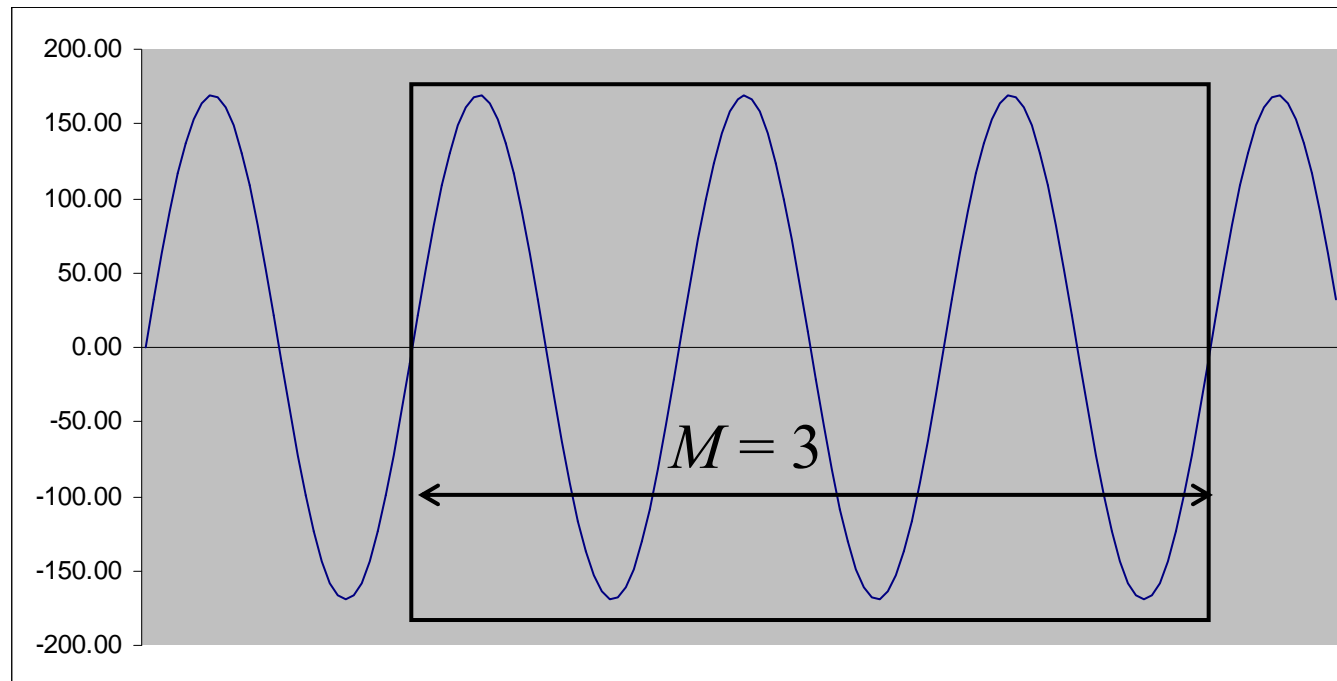
Si el periodo de integración no es número entero de T , se produce un error (FUGA ESPECTRAL) en la medición de V_{eficaz}

Fuga espectral: aparición de otras componentes de frecuencia que no están presentes en la señal bajo medición



Medición digital del valor eficaz (RMS) en señales periódicas

2. En la medición digital de V_{eficaz} resulta indispensable medir un número entero M de T

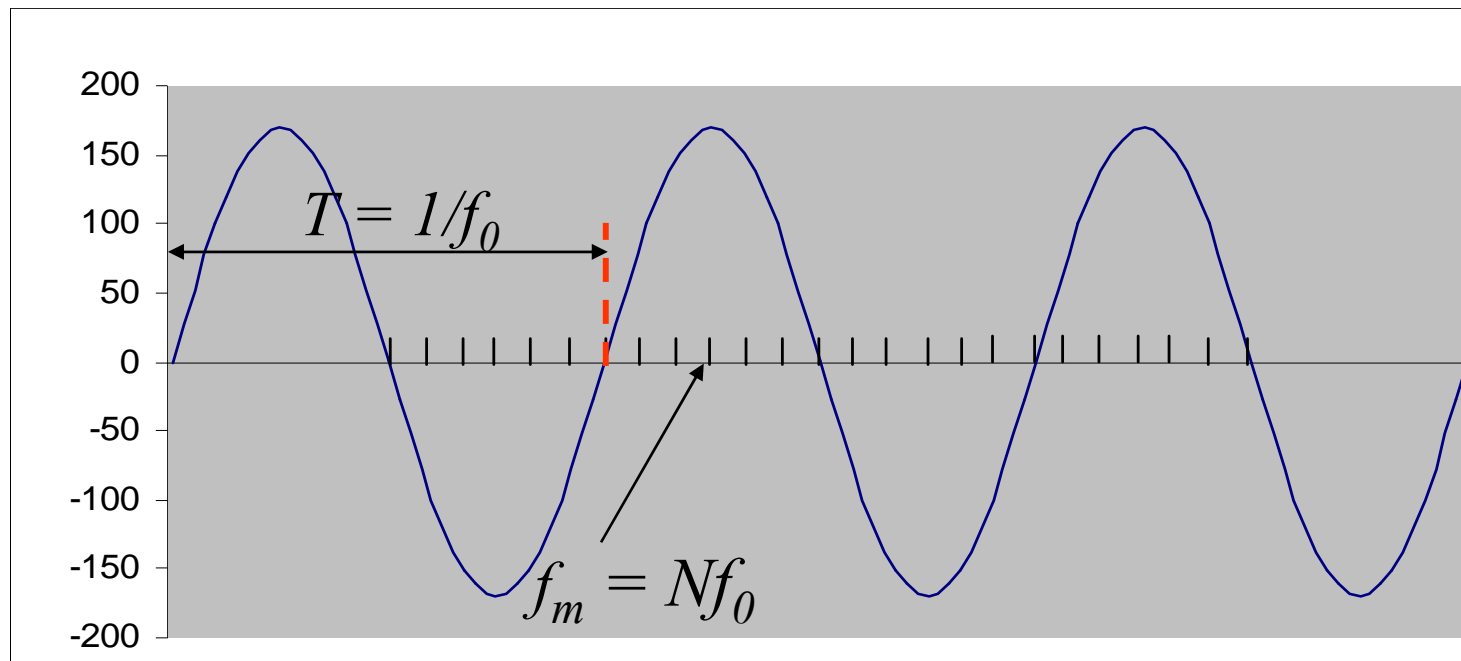


Medición digital del valor eficaz (RMS) en señales periódicas

3. Para minimizar errores en medición de V_{eficaz} ,

➤ se mide la frecuencia fundamental f_0

➤ la frecuencia de muestreo f_m es igual a un número entero N de f_0





3. El algoritmo Swerlein.

- Disponibilidad del algoritmo Swerlein
- Aportaciones del algoritmo Swerlein
- Uso del multímetro Agilent 3458A
- Trazabilidad a patrón nacional

Disponibilidad del algoritmo Swerlein

Los usuarios en general tienen acceso a la información del algoritmo de Swerlein en la página web de AGILENT TECHNOLOGIES:

➤ Artículo de R. Swerlein:

http://we.home.agilent.com/upload/cmc_upload/Swerleins_algorithm.pdf

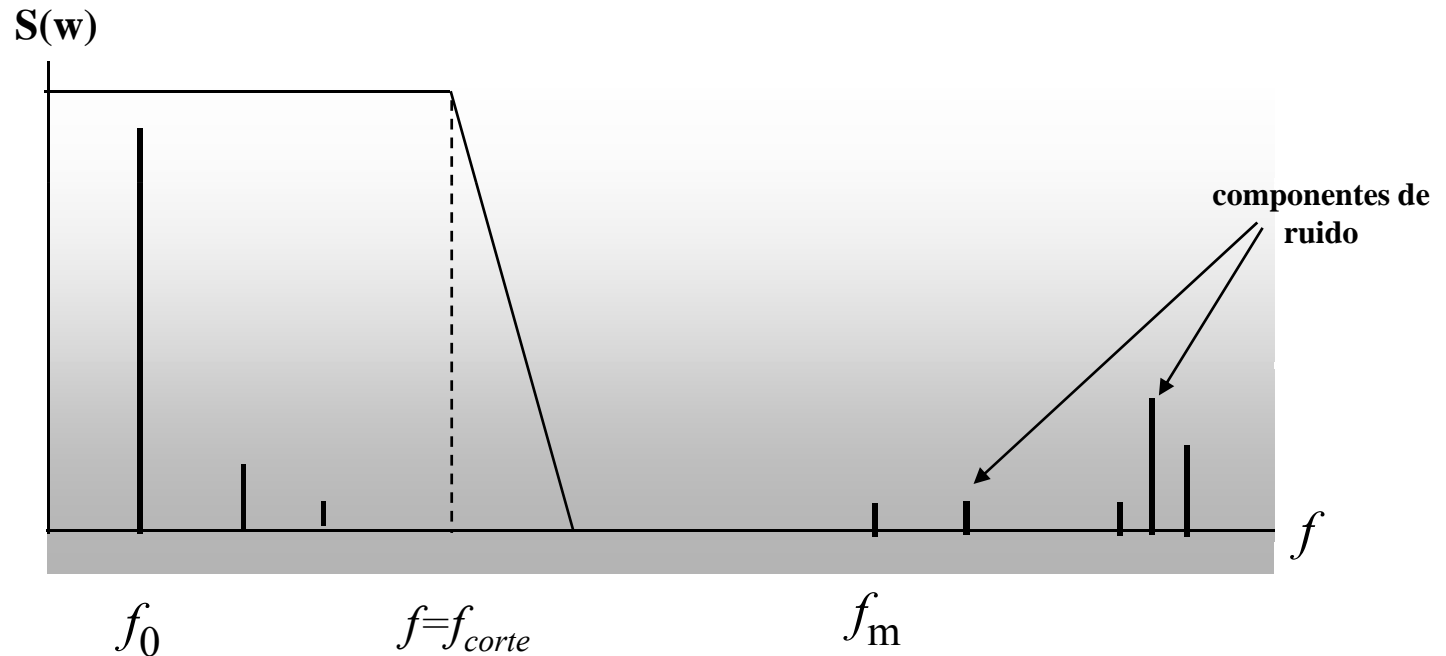
➤ Algoritmo:

➤ http://we.home.agilent.com/cgi-bun/bvpub/agilent/editorial/cp-MiscEditorial.jsp?COUNTRY_CODE=ZZ&OID=536982537&NAV_ID=11250.536881781.03&LANGUAGE_CODE=ENG

➤ Los interesados en el algoritmo deben contactar al autor para más información y copias del programa.

Aportaciones del algoritmo Swerlein

1. Para asegurar que la pureza espectral de la señal de entrada no influye en el resultado de medición de V_{eficaz} , es indispensable una mínima distorsión armónica total de la fuente de tensión



Recomendación: asegurar que la fuente de tensión tenga una distorsión armónica total menor a 0,02%

Aportaciones del algoritmo Swerlein

2. Para asegurar que la pureza espectral de la señal de entrada no influye en el resultado de medición de V_{eficaz} , se mide la frecuencia fundamental f_m , y se corrige el error de frecuencia del digitalizador

$$f_{0\ corr} = f_{0\ med} * \left[1 - \frac{\text{error frecuencia (ppm)}}{1 \times 10^6} \right]$$

Recomendación: asegurar que el digitalizador está calibrado en frecuencia

Aportaciones del algoritmo Swerlein

3. Para minimizar la influencia de armónicas, calcula la frecuencia de muestreo f_m

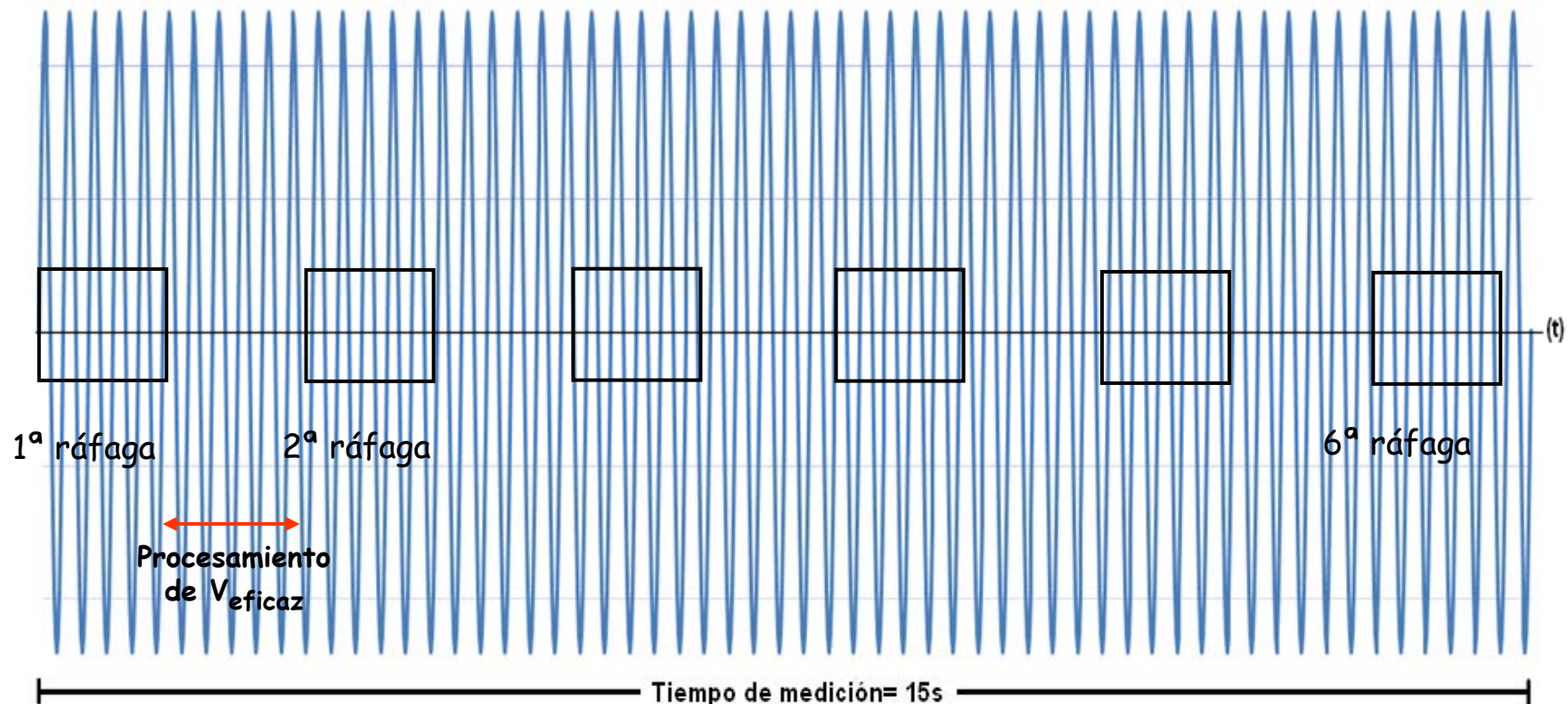
$$f_m = 2 N_{arm} f_{0\ corr}$$

Ejemplo: $N_{arm} = 8$ armónicas

$$f_m = 2(8)(60\text{Hz}) = 960 \text{ Hz.}$$

Aportaciones del algoritmo Swerlein

4. Para minimizar los efectos un número no-entero de muestras en el periodo de observación, calcula el valor eficaz mediante un promedio de valores obtenidos en varias ventanas de menor duración, identificadas como ráfagas



Aportaciones del algoritmo Swerlein

5. Para minimizar Fuga Espectral en las ráfagas, calcula un número entero M de periodos de la fundamental, permitiendo 1.5 ms de procesamiento de datos para cada ráfaga

$$T_{ráfaga} = \frac{T_{medición}}{N_{ráfagas}} \left(\frac{1/f_m}{0.0015 + 1/f_m} \right)$$

Calcula el tiempo de ráfaga de acuerdo a f_m

$$M = T_{ráfaga} f_{0\ corr}$$

Número de periodos de la fundamental por ráfaga

$$N_{muestras} = \frac{M}{f_{0\ corr} T_m}$$

Número de muestras por ráfaga

Aportaciones del algoritmo Swerlein

6. Corrige la frecuencia de muestreo f_m para incluir las armónicas que pueden aparecer dentro de una ráfaga

$$f_m = \frac{f_0 \left(N_{muestras} - \frac{M}{20 + N_{arm}} \right)}{M}$$

Aportaciones del algoritmo Swerlein

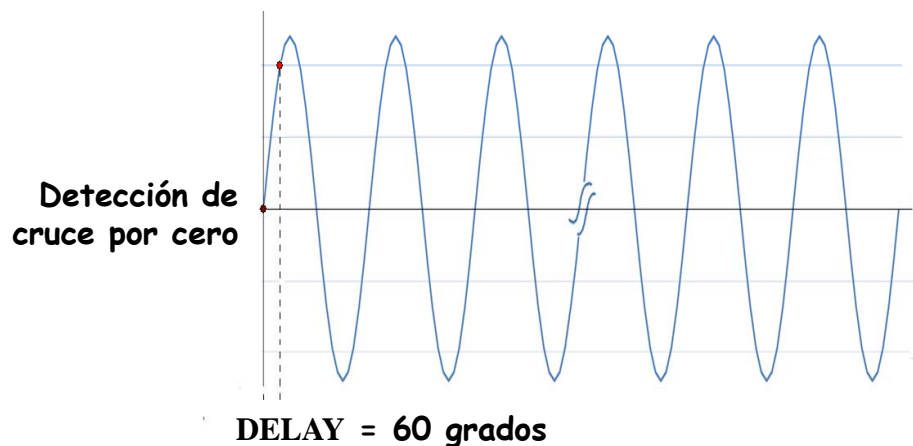
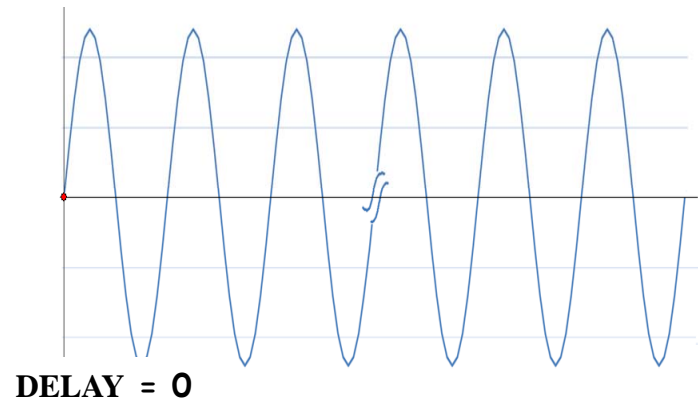
7. El tiempo de integración T_{int} (APER) en el convertidor analógico-digital considera la frecuencia de muestreo y un tiempo ($15\mu s$) dedicado a colocar el valor digitalizado en la memoria del digitalizador

$$T_{int} = \frac{1}{f_m} - 15 \mu s$$

Tiempo de
integración = APER

Uso del multímetro Agilent 3458A

1. Para minimizar los efectos de un número no-entero de ciclos de observación,
 - introduce corrimientos de fase (DELAY) al inicio de cada ciclo,
 - detección de cruce por cero



Funciones 3458A:

DELAY

Cruce por cero

Uso del multímetro Agilent 3458A

2. El valor eficaz V_{eficaz} durante el tiempo de medición:

- Obtiene el valor eficaz de cada ráfaga con la mediad y desv. estándar
- Corrige por tiempo de integración y ancho de banda

$$V_{eficaz} = 0$$

FOR I = 0 to $N_{ráfagas} - 1$

$$V_{rutina} = estadísticas(Media, D_{est}, N_{muestras})$$

$$V_{eficaz} = V_{eficaz} + (D_{est})^2 + (Media)^2$$

$$V_{eficaz} = V_{eficaz} + Media$$

NEXT I

$$V_{eficaz} = \sqrt{\frac{V_{eficaz}}{N_{ráfagas}}}$$

$$V_{eficaz} = V_{eficaz} AB_{corr} / \text{SINC}(\pi T_{int} f_{0\ corr})$$

Trazabilidad a patrón nacional

1. El valor eficaz V_{eficaz} medido se corrige contra patrón Fluke 792A:

Mediciones sobre calibrador Fluke 5720A : $120 V_{\text{RMS}} @ f_0$
= 60 Hz

Valor medido Transferencia Fluke 792A = 119,999 7 V \pm 4 μV/V	Valor medido Sistema Medición Digital CENAM = 119,999 8 V
---	--

Trazabilidad a patrón nacional

2. Mediciones Swerlein contra Fluke 792A utilizando un FLuke 5720A

Valor medido
Transferencia Fluke 792A
= 119,999 7 V \pm 4 μ V/V

Valor medido
Sistema Swerlein CENAM
= 119,999 8 V



4. Medición de tensión, corriente y potencia con métodos digitales.

- Mediciones con algoritmo Swerlein para tensión
- Medición de fase con Transformada Discreta de Fourier

Medición de fase con Transformada Discreta de Fourier

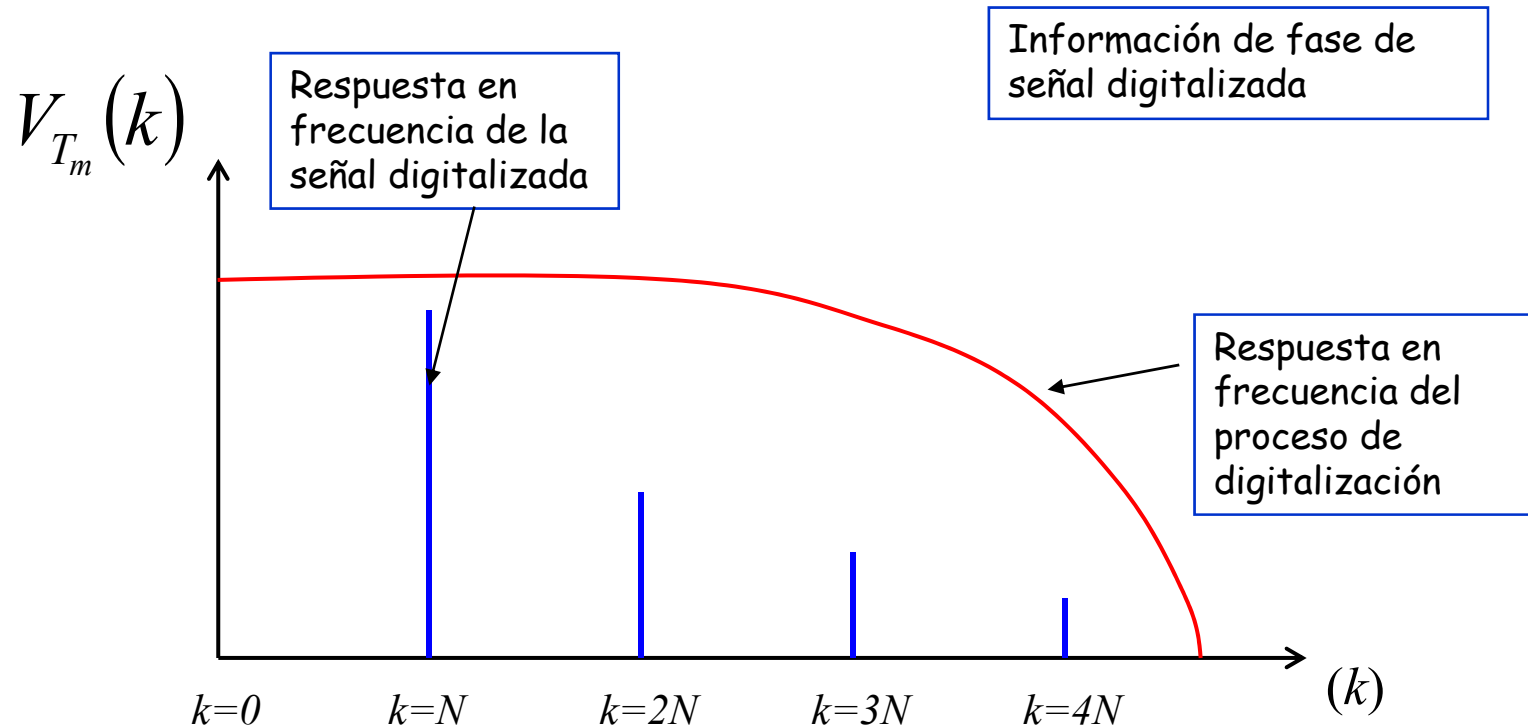


Medición de fase con Transformada Discreta de Fourier

1. Medición de f_0
2. Determinación de f_m
3. Determinación de M, N
4. Digitalización de señal de tensión y corriente con Agilent 3458 A
5. Procesamiento de señal digitalizada con Transformada Discreta de Fourier

Medición de fase con Transformada Discreta de Fourier

$$V_{T_m}(k) = \frac{2e^{-j\left(\frac{\pi T_{\text{int}} k}{NT_m}\right)}}{L} \frac{\pi T_{\text{int}} k}{NT_m} \sum_{n=0}^{L-1} v[nT_m] e^{-j\frac{2\pi kn}{L}}$$



Conclusiones:

1. Mediciones con SWERLEIN:

- Solo para señales periódicas y de alta pureza espectral
- Ofrece alta repetibilidad
- Mediciones muy confiables en baja frecuencia
- Requiere tiempos largos de medición

2. Trazabilidad mediciones a patrones nacionales

- Necesidad de calibrar el medidor SWERLEIN

3. Mediciones de potencia con TDF

- La medición de fase no requiere exactitud de amplitud de las señales