

The logo for MAGNA features the word in a bold, white, sans-serif font. The letter 'G' is replaced by a teal-colored geometric shape composed of nested, offset rectangular lines, creating a sense of depth and modernity. The background is black with large, diagonal teal shapes that have a gradient effect, adding a dynamic and architectural feel to the design.

MAGNA

INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

Programa de **MAGNA**
INSTITUCIÓN DE ESPECIALIZACIÓN PROFESIONAL

Especialización en Análisis Vibracional y Termografía del Mantenimiento

Mgtr. Johnny Chirinos Anampa

Certified Maintenance & Reliability Professional(CMRP)-License SMRP ID: 158434

Certified Reliability Leader(CRL) – License AMP ID: 151047

Analista de Vibraciones Categoría III ISO 18436-2 Registro N°1426-2013

Módulo 5

Procesamiento de Señales

JOHNNY CHIRINOS ANAMPA



Pasión profesional +

- > 18 años en Ingeniería, CBM y Tribología.
- > 25 proyectos desarrollados
- > 200 cursos impartidos
- > 2000 profesionales formados

Pasión de formación

Orientado a la personas para contribuir en la mejora de sus competencias técnicas y personales

Chisp@

Profesional con ideas, proactivo, inquieto, ágil, innovador, implicado, comprometido y despierto a las necesidades del mercado, los clientes y la organización.



Objetivo Estratégico

Experiencia con casos técnicos y de investigación.
 $+ E = (+ H + D) \times A$

@Johnny Chirinos

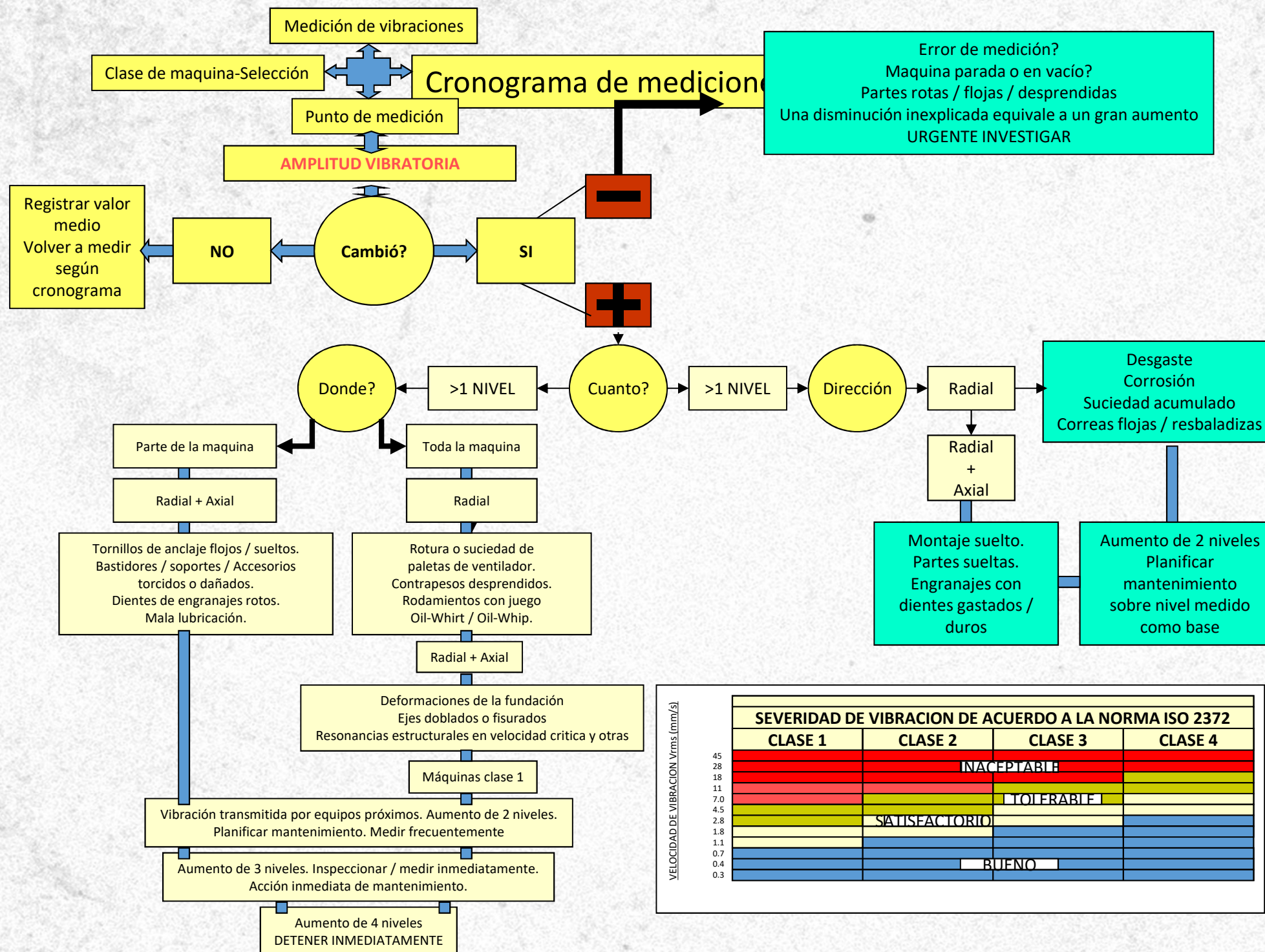
Agradecimiento a **David Faro** por estas ideas y compartir la misma pasión por CBM.

TEMARIO

- Filtros en análisis de vibraciones
- Muestreo y resolución
- Promediado en el procesamiento de datos/señales.

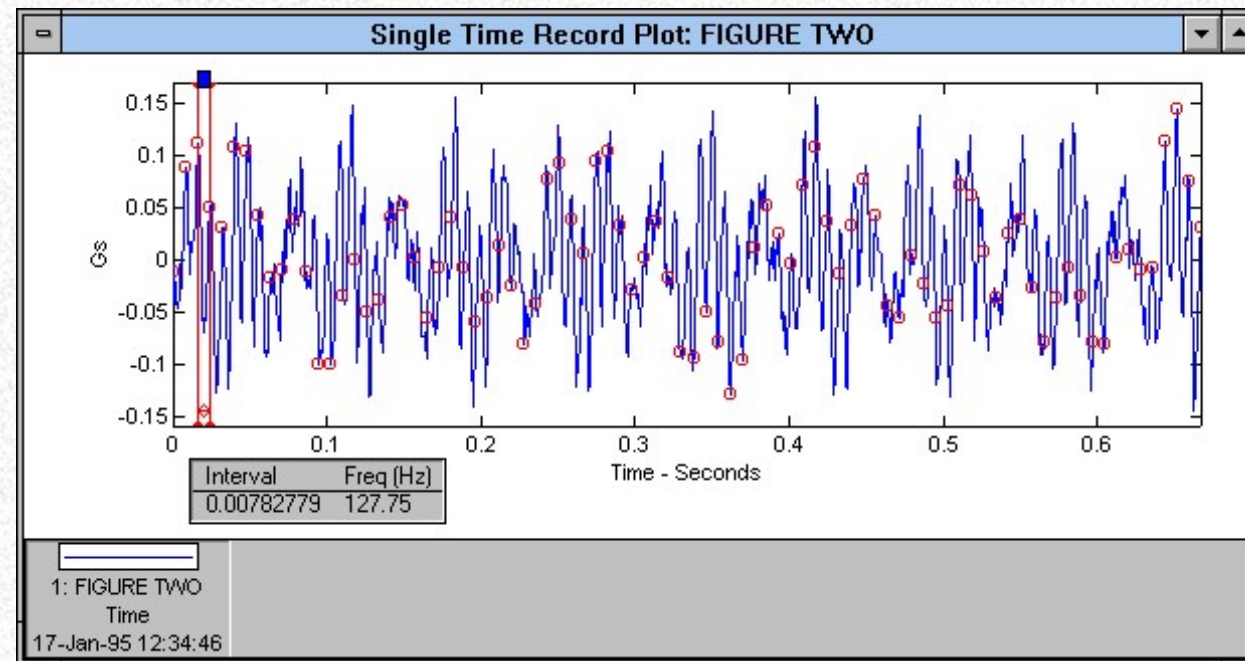
-
- # TEMARIO
- Filtros en análisis de vibraciones
 - Muestreo y resolución
 - Promediado en el procesamiento de datos/señales.

RECORDEMOS EL FLUJOGRAMA DE PROCESO – ANALISIS VIBRACIONAL



PROCESAMIENTO DE LAS SEÑALES DE ESPECTROS DE VIBRACION

Amplitud vs. Frecuencia

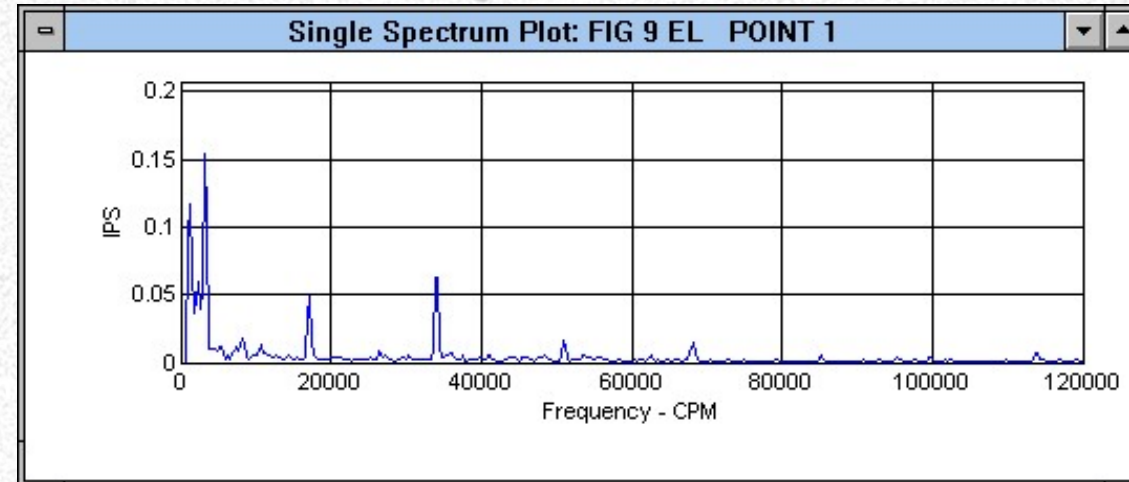


- La **amplitud** de la vibración indica la **severidad** del problema.
- La **frecuencia** de la vibración indica la **fuentes** del problema.

Monitoreo Multi-Parámetro

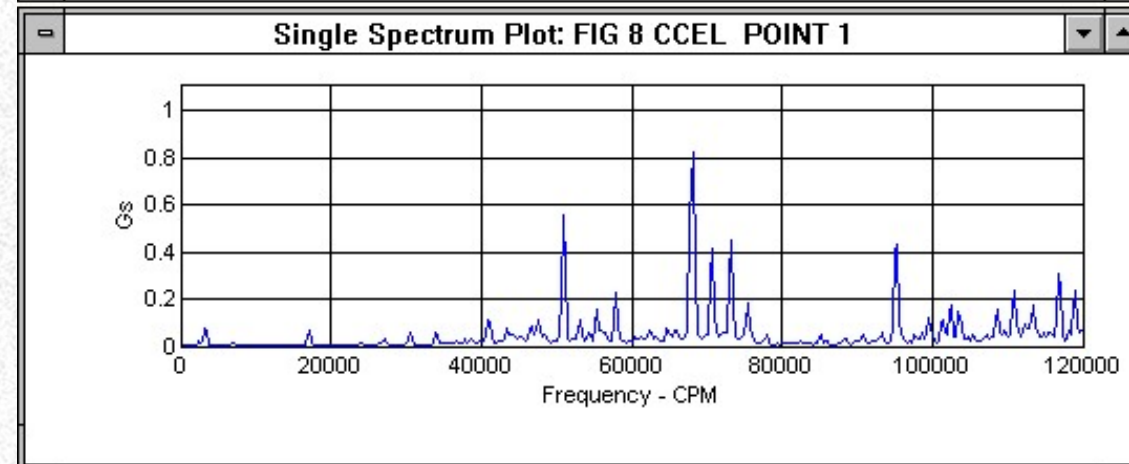
La misma información expresada en **velocidad** y **aceleración**

Espectro de
velocidad



On the same plot, the acceleration spectrum can be visualized by changing the units to g and the y-axis scale to 0.001. The acceleration spectrum shows a similar pattern of peaks, with the highest peak at approximately 5,000 CPM reaching a value of about 0.0015 g.

Espectro de
aceleración



Detección vs. Análisis

- Detección

Alarmas de límite son establecidas para cada medición. Cuando el valor de la medición excede el valor programado, el software de mantenimiento predictivo o colector de información notifica al analista la existencia del problema.

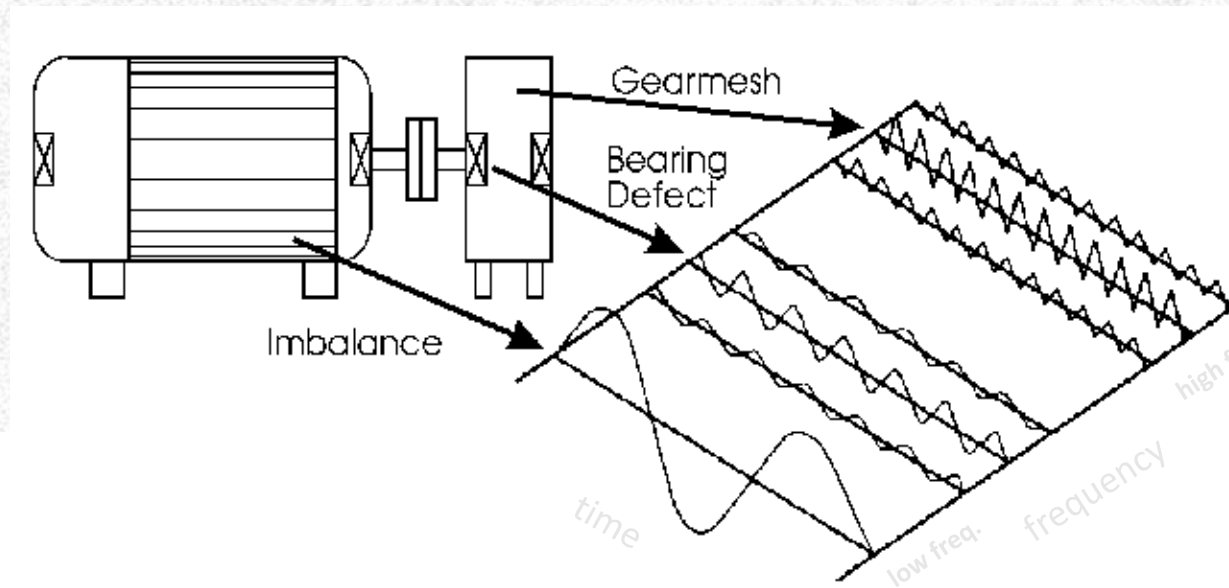
- Analisis

Una vez detectado, el análisis de mediciones anormales provee una visión más profunda del problema en sí, la severidad de este, y la posible causa que lo generó.

Configurando las Mediciones

- **Consideraciones Físicas**
 - Selección de la maquinaria
 - Seleccionar los planos de medición
 - Seleccionar la ubicación de sensores
 - Preparación de la superficie
 - Técnicas de montaje de los sensores
- **Consideraciones de la Base de Datos**
 - Parametros (multi-parametros)
 - Alarmas de límites
 - Configurando Fmax, ancho de banda de medición
 - Factores de escala

Análisis de Espectro FFT



Espectro FFT

Muestra a los componentes de la señal de vibración en sus respectivas frecuencias

amplitud



frecuencia

- Recolectar información útil
- Analizarla

CM-P0072 (9-93)

ADDITIONAL NOTES ON REVERSE SIDE? ☐ YES ☒ NO

Configuración de Espectro

- Corte para frecuencias bajas
- Ancho de banda
- Número de líneas
- Resolución de frecuencia
- Número de promedios
- Tiempo para cada promedio

Configurando Fmax

POINT Setup

ID: ☒ Enabled

Description: DAD: ▾

POINT Type: ▾ Schedule: days

Full Scale: IPS Input mV/EU:

Detection: ▾ Low Freq. Limit: Hz

Save Data: ▾

Freq. Type: ▾ Speed: RPM

Start Freq.: Hz Lines: ▾

End Freq.: Hz Storage Depth:

Window: ▾ Averages:

Autocapture: ▾

PROCESAMIENTO DE LA SEÑAL

1. El sensor de vibraciones, genera una señal análoga que entra al colector.
2. Esta señal es digitalizada, por medio de un convertidor analógico a digital.
3. La forma de la onda es reconstruida a partir de los datos digitalizados.
4. El número de muestras seleccionadas es siempre 2.56 veces el número de líneas seleccionado en el espectro.
5. Los datos digitalizados son procesados por un algoritmo FFT.
6. Los datos ingresan a una computadora cargada con un software capaz de almacenar los espectros y las formas de onda.

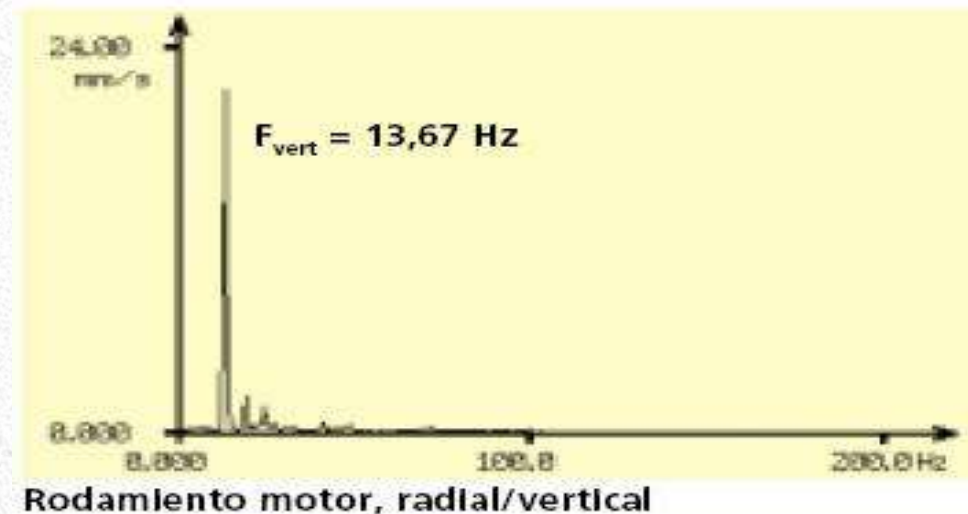
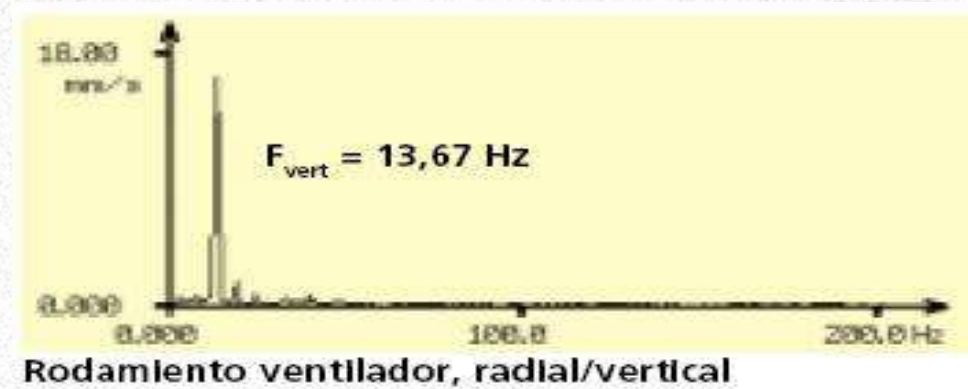
Procesamiento de Datos

Disparador (Triggering)

Analizador FFT

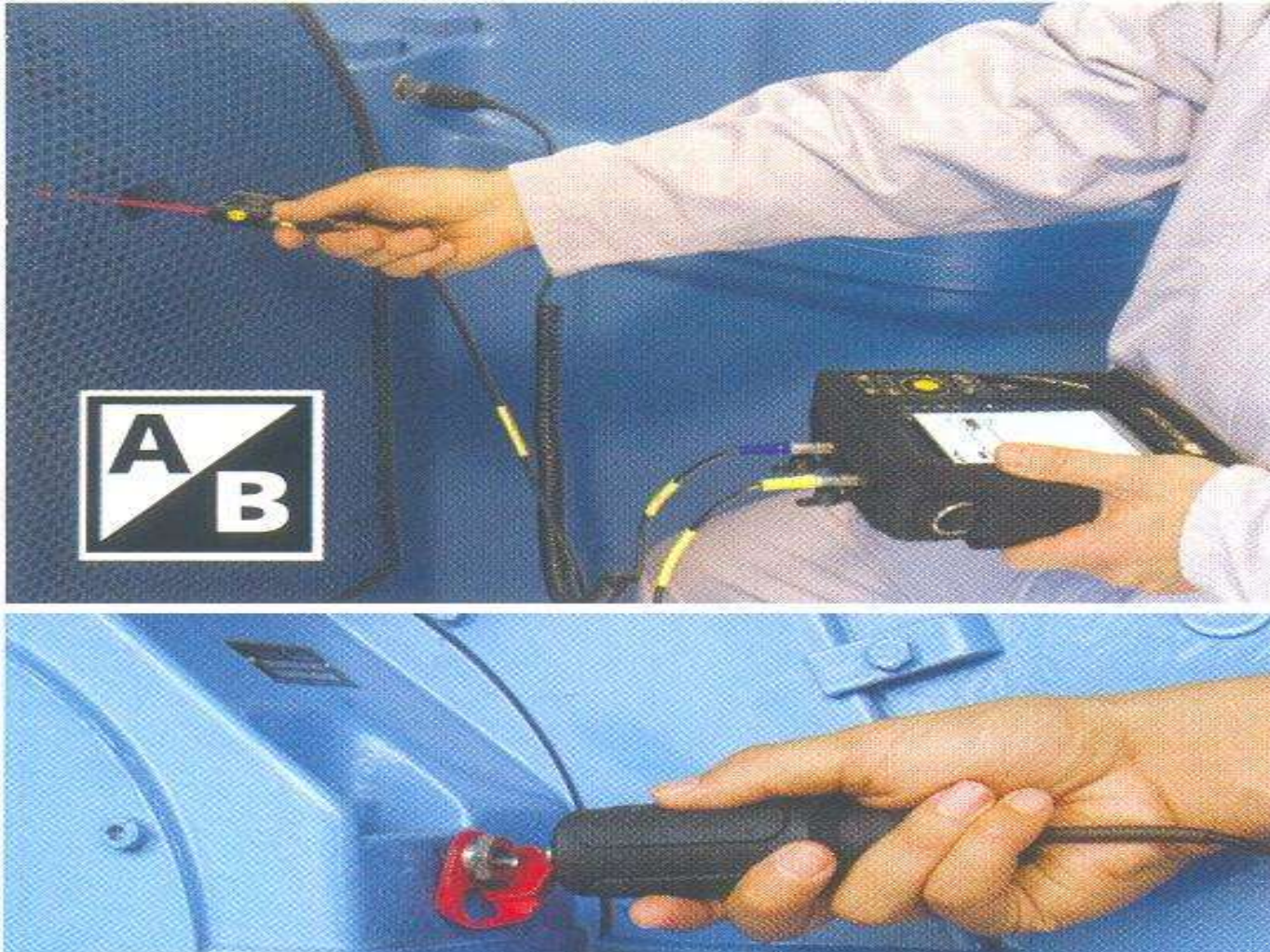
Amplificador Vertical

Amplificador Horizontal



Procesamiento de Datos

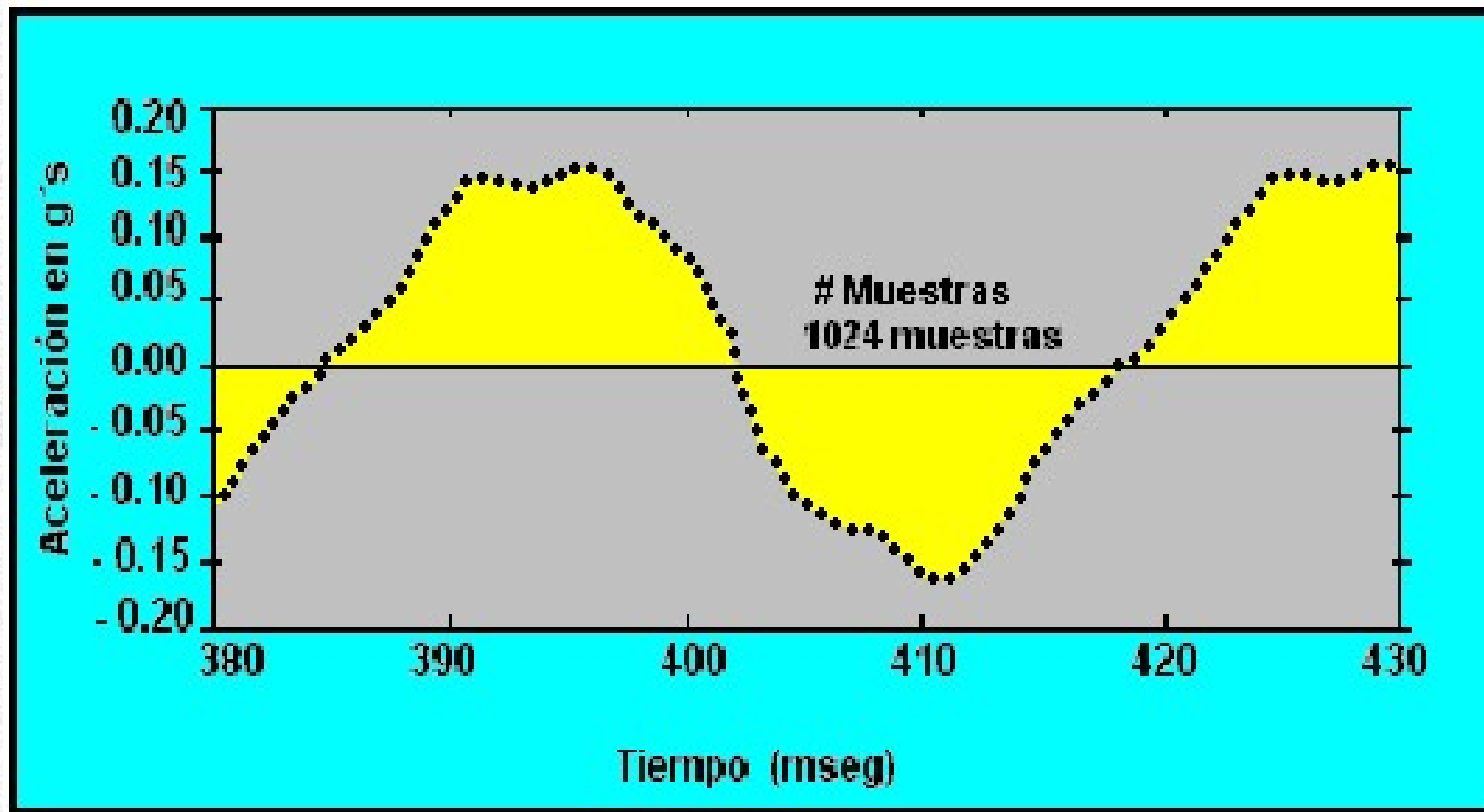
Colectores de Datos



Adquieren y almacenan parámetros de vibración como:
La vibración total, espectro, forma de onda, órbitas, diagrama de cascada, etc.

Procesamiento de Datos

Muestreo de Datos



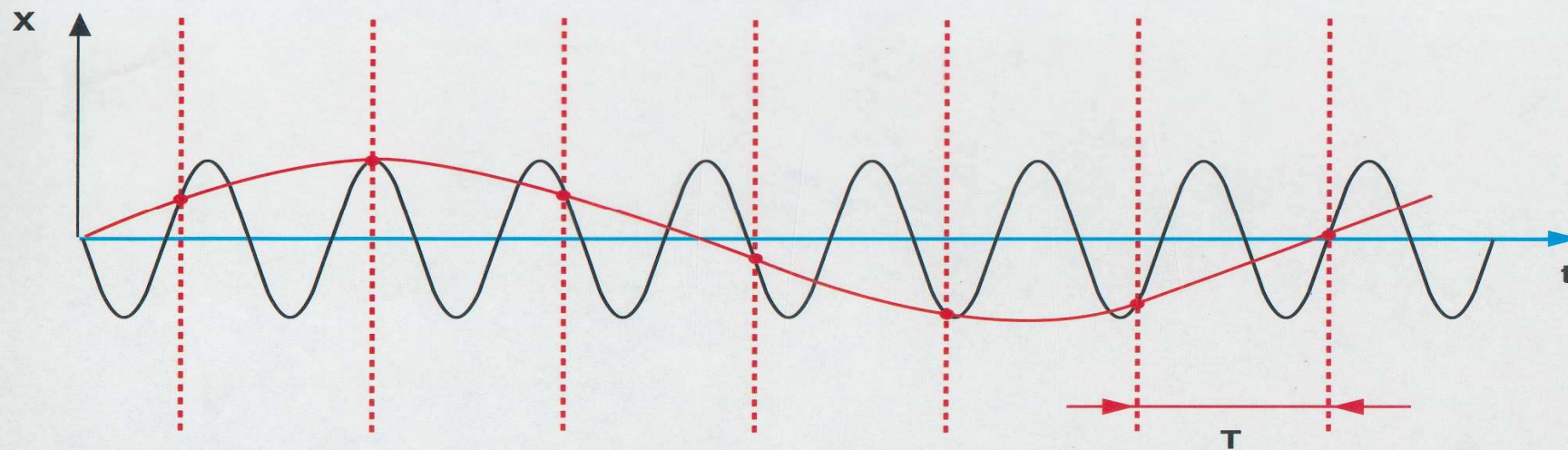
Procesamiento de Datos

Frecuencias Fantasma (Aliasing)



PRÜFTECHNIK AG

Aliasing



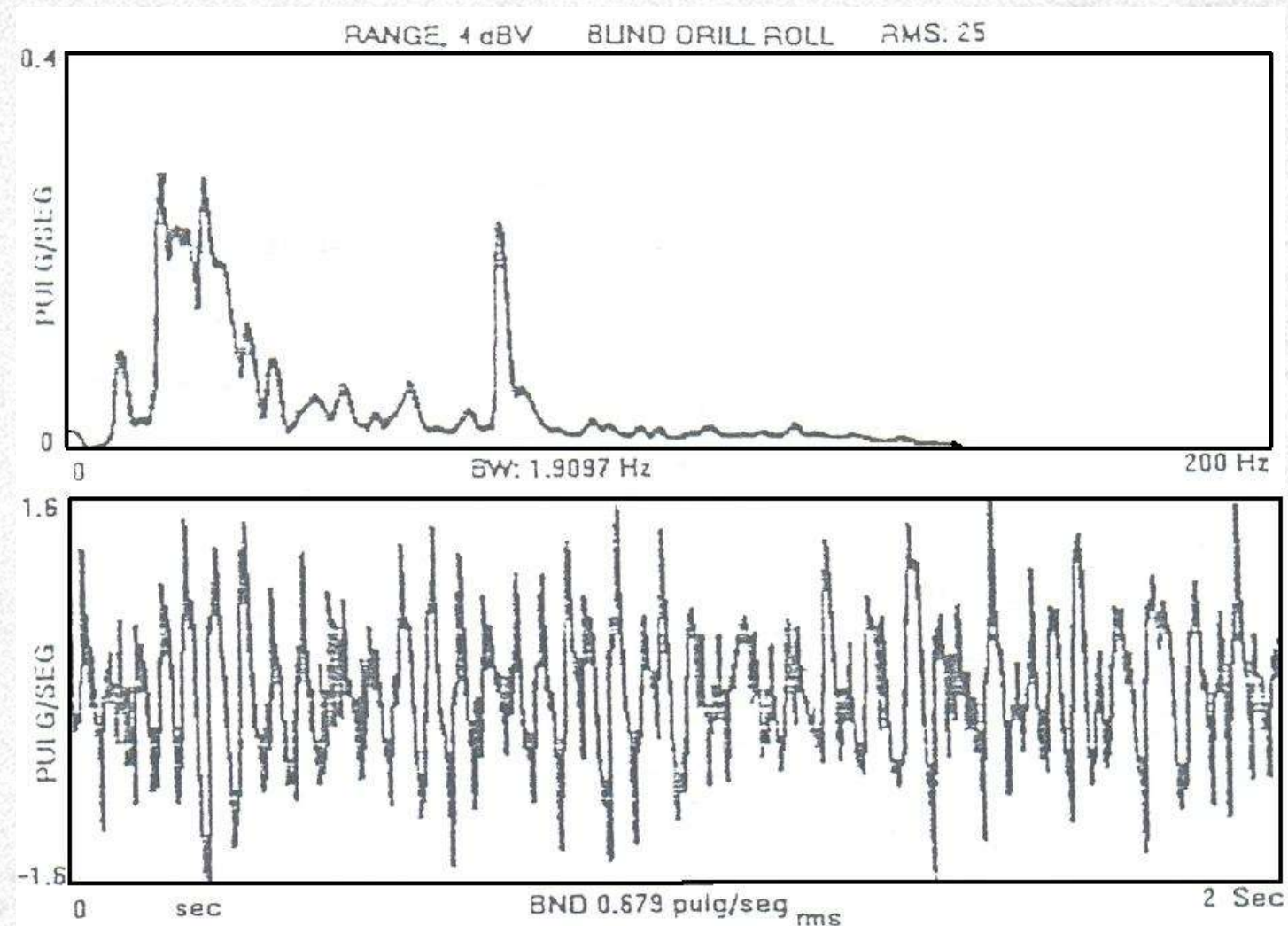
Procesamiento de Datos

Inicialización del Analizador FFT y del Colector de Datos

Resolución

Rango Dinámico

Promediado (Averaging)



NÚMERO DE MUESTRAS DE DATOS

Número de líneas en el espectro	Tamaño de la muestra en la forma de onda
100	256
200	512
400	1,024
800	2,048
1600	14,096
3,200	18,192
6,400	16,384

**Tabla 2.2 Tamaño de la Muestra con Respecto al
Número de Líneas Seleccionadas**

NÚMERO DE MUESTRAS DE DATOS

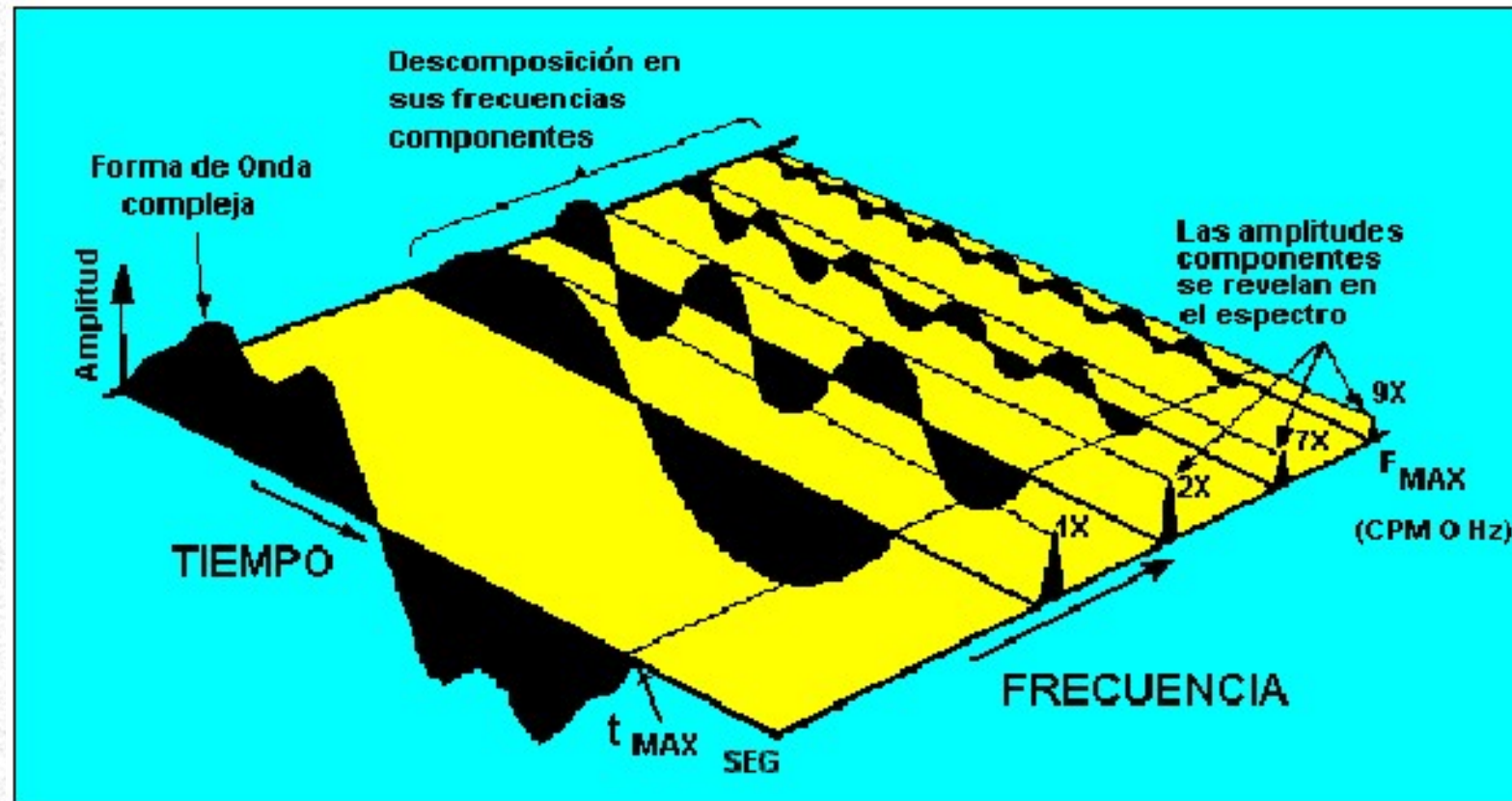


Figura 2.10 Gráfico Comparativo de la Forma de Onda Compleja y el Espectro de Frecuencias

Cálculo del Tiempo de Muestreo de Datos de Una Toma

$$T_{\text{MÁXIMO}} = \frac{60 \times \# \text{ de líneas}}{\text{Rango de frecuencias}} = \frac{60 \times \# \text{ de líneas}}{F_{\text{MAX}} - F_{\text{MIN}}}$$

$T_{\text{MÁXIMO}}$: segundos

F_{MAX} : Frecuencia Máxima; define la máxima frecuencia de medición (CPM).

F_{MIN} : Frecuencia Mínima; define la mínima frecuencia de medición (CPM).

Cálculo del Tiempo de Muestreo de Datos de Una Toma

Rango de Frecuencias F máx - F mín (CPM)	T _{MÁXIMO} (Segundos)			
	400 Líneas	800 Líneas	1600 Líneas	3200 Líneas
12,000	2.00	4.00	8.00	16.00
24,000	1.00	2.00	4.00	8.00
48,000	0.50	1.00	2.00	4.00
96,000	0.25	0.50	1.00	2.00
192,000	0.125	0.25	0.5	1.00

Tabla 2.3 Tiempo máximo de demora en la toma de datos para diversos rangos de frecuencias y cantidades de líneas

Cálculo del Tiempo de Muestreo de Datos de Varias Tomas Sin Traslape

$$T_{TOTAL} = T_{MÁXIMO} \times \# \text{ promedios}$$

Cálculo del Tiempo de Muestreo de Datos de Varias Tomas Con Traslape

$$T_{TOTAL} = T_{MÁXIMO} \times [1 + (\# \text{ promedios} - 1)(1 - (\text{traslape}/100))]$$

Tiempo de Muestreo con Traslape 50%

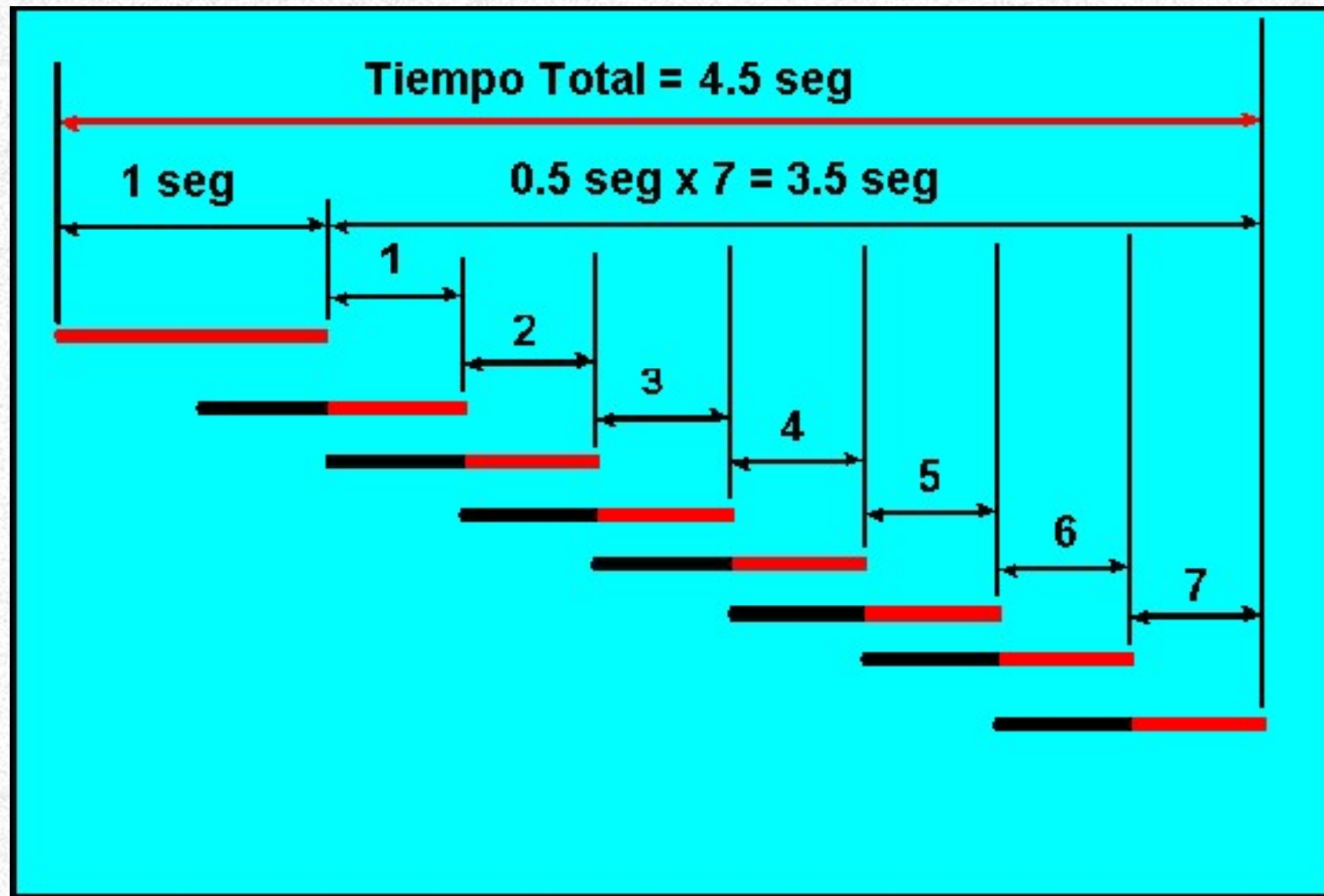


Figura 2.11 Traslape de Señales al 50% en 8 Promedios

EJEMPLO 1

CALCULO DEL TIEMPO DE TOMA

Si la toma de un espectro de 3,200 líneas y con un rango de frecuencias de 192,000 CPM demora un (1) segundo.





Tiempo de Toma para 8 promedios con traslape del 50%?

Tiempo de toma = $1.00 \times [1 + (8 - 1)(1 - (50/100))]$ = 4.5 seg.
(ver figura 2.11).

Tiempo de Toma para 8 promedios con traslape del 75%?

Tiempo de toma $1.00 \times [1 + (8 - 1)(1 - (75/100))]$ = 2.75 seg.

PROMEDIADO FINAL

-  Lineal; todas las tomas tienen el mismo peso se suman y se dividen entre la cantidad de tomas.
-  Exponencial; las últimas tomas tienen mayor peso que las anteriores y luego se dividen entre la cantidad de tomas.
-  RMS; Todas las tomas tienen el mismo peso, se saca la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de cada bin individual y luego se promedia.
-  Ninguna; no hay ningún promedio la toma es en vivo, constantemente hay toma de datos, en la pantalla se visualiza el cambio y manualmente, se para la toma.

CÁLCULO DEL NIVEL GLOBAL

- ✍️ Modo Analógico; El nivel global solo incluirá frecuencias desde aproximadamente 30 CPM hasta 1200,000 CPM.
- ✍️ Global Pico Verdadero; El nivel global se calcula determinando el valor pico máximo dentro de la forma de onda, en todas las tomas.
- ✍️ Global Pico Promedio; El nivel global se calcula determinando el valor pico máximo dentro de la forma de onda, en cada uno de las tomas y luego se promedian.

VENTANAS (WINDOWING)

TIPOS DE VENTANAS

Rectangular o Uniforme: Poca precisión en la amplitud de vibración (menos que el 56.5%) y buena resolución de la frecuencia.

Hanning: Monitoreo vibracional de máquinas, tiene buena precisión de la amplitud (inferior que 16%) y buena resolución de la frecuencia.

Flat Top: Esta ventana tiene una excelente precisión de la amplitud (inferior a 0.5%) y mala resolución de la frecuencia.

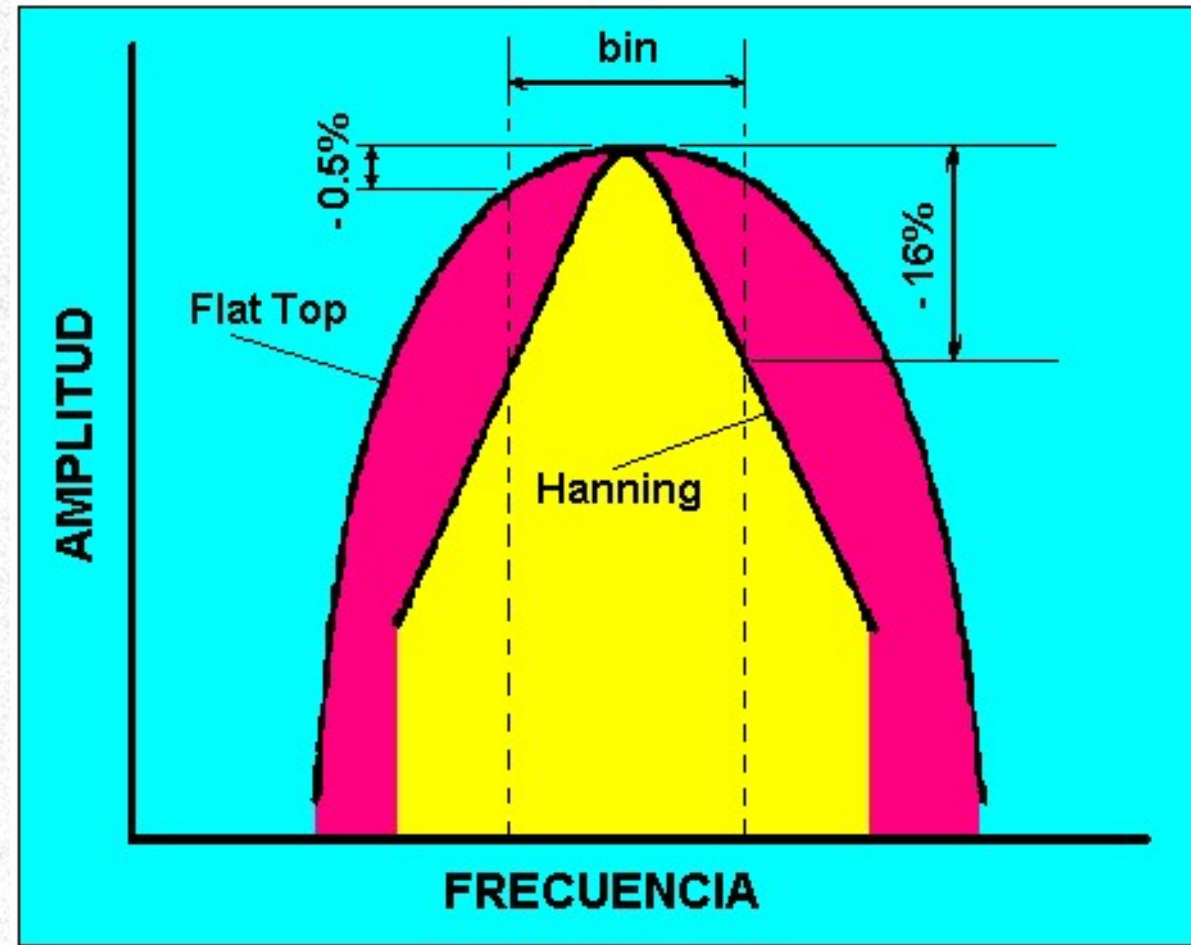


Figura 2.12 Comparación Entre las Ventanas Hanning y Flat Top

EJEMPLO

RANGO DINÁMICO

- ⌚ Un motor de inducción gira a 3580 RPM y el rotor tiene 47 barras, una de ellas fisurada.
- ⌚ Frecuencia paso barras ($47 \times 3580 = 168,260$ CPM), su amplitud de vibración es 10 g's (0.219 pulg/seg) y la vibración por defectos en el rodamiento es de 0.015 g's (0.01 pulg/seg).

EJEMPLO

RANGO DINÁMICO

¿Cuál será el Rango Dinámico requerido por un instrumento para visualizar claramente los dos picos de vibración en el espectro?

La proporción en velocidad de vibración es
 $= 0.219/0.01 = 21.9$

La proporción en aceleración de vibración es
 $= 10/0.015 = 666.67$

Entonces la exigencia mayor es en la aceleración:
Rango Dinámico $= 20 \log (A/A_{ref}) = 20 \log (0.015/10)$
 $= - 56.478 \text{ dB.}$

RANGO DINÁMICO

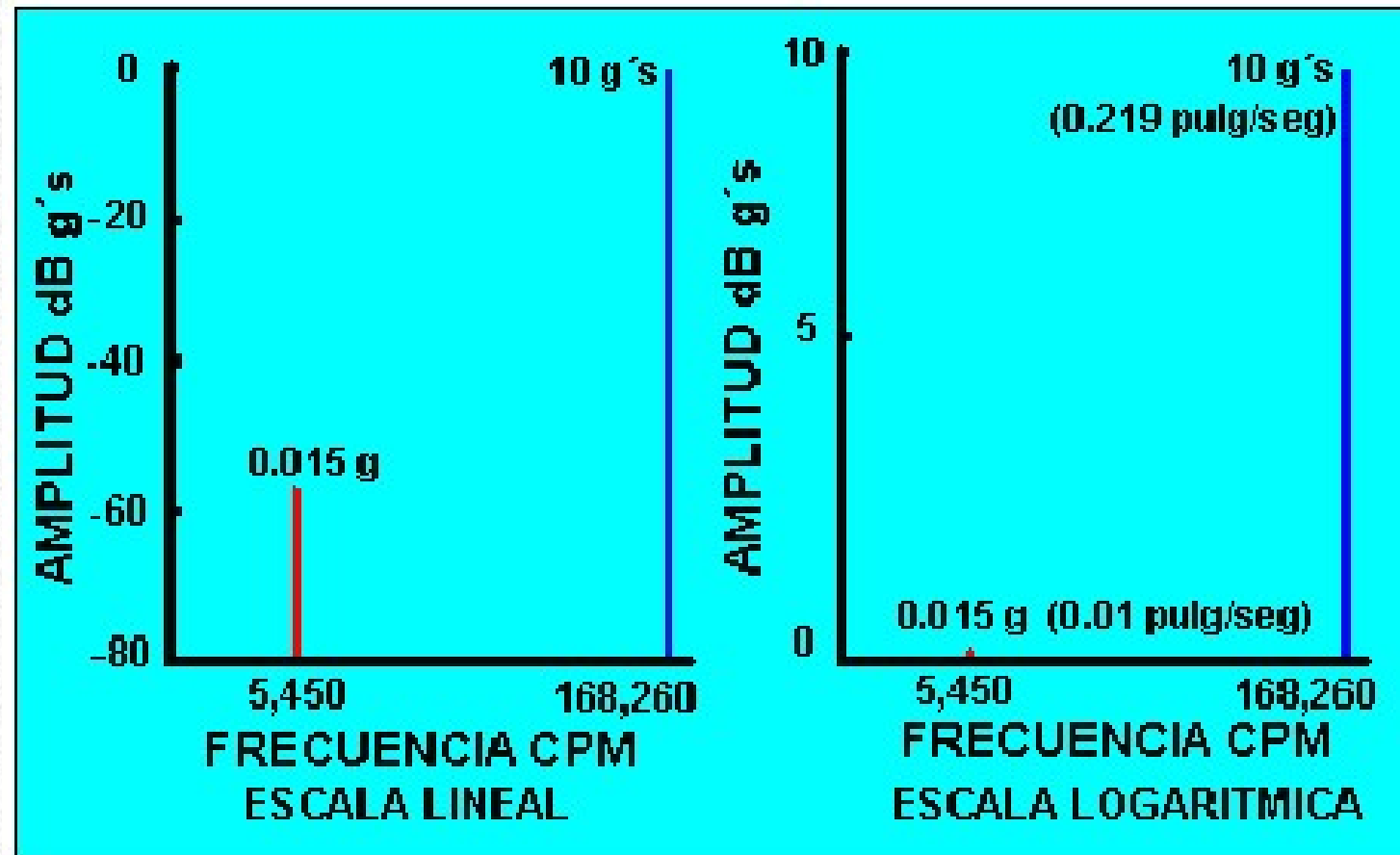


Figura 2.13 Rango Dinámico Requerido para Visualizar el Espectro de Frecuencias de Aceleración; Mayor que -56 dB

EL ANCHO DE BANDA

Ancho de Banda =

$$\frac{\text{Rango de Frecuencias} \times \text{Factor de Ventana}}{\# \text{ Líneas FFT}}$$

Separación de Frec. > (2 x Ancho de banda)
> (3 x Resolución de Frecuencia)

EJEMPLO 2

¿ Qué Ancho de Banda debe tener un instrumento que utiliza ventana Hanning, para analizar un motor eléctrico que gira a 3,585 RPM, que presenta dos picos espectrales a $2 \times \text{RPM}$ (7,170 CPM) y $2 \times \text{FI}$ (7,200 CPM) en un rango de frecuencias de 12,000 CPM?

Separación de frecuencias es: $7,200 - 7,170 = 30 \text{ CPM}$

Resolución de Frecuencia $< 30 / 3 = 10 \text{ CPM}$

Ancho de Banda $> \frac{3 \times \text{Res. de Frecuencia}}{2} = \frac{3 \times 10}{2} = 15 \text{ CPM}$

EJEMPLO 2

# Líneas	Ancho de Banda (CPM) Rango de frec. x F. V. # Líneas FFT	Resolución de Frecuencias (CPM) $\leq 2 \times$ (Ancho de Banda)
6,400	2.813	1.875
3,200	5.625	3.75
1,600	11.250	7.50
800	22.500	15.00
400	45.000	30.00

Tabla 2.5 Tabla de Resoluciones de Frecuencias para una Ventana Hanning y un Rango de Frecuencias de 12,000 CPM

EJEMPLO 3

Espectro de frecuencias de hasta 20,000 CPM y con 400 líneas de resolución

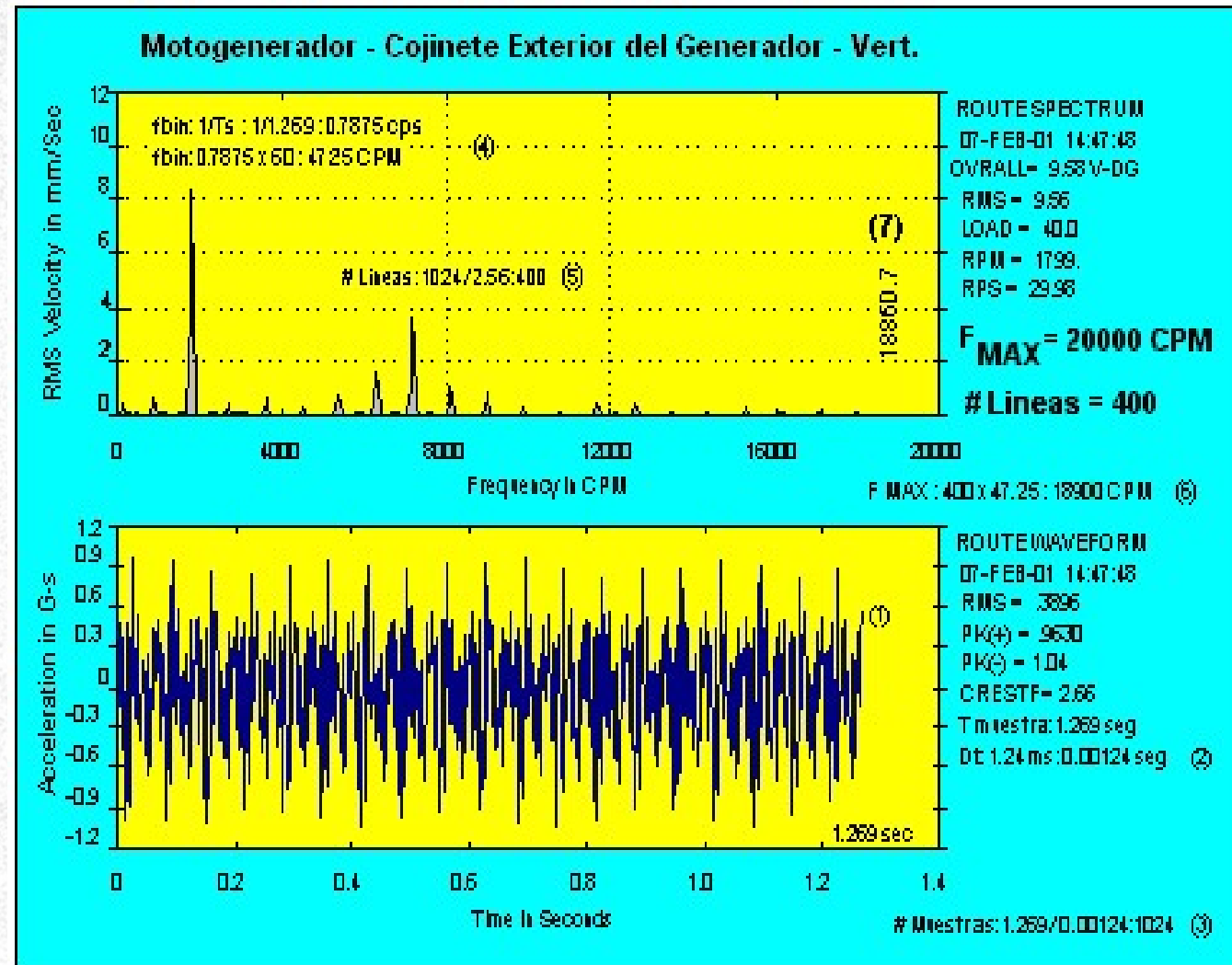


Figura 2.14 Espectro de Frecuencias FFT Procesado y Forma de la Onda Total como sale del Sensor

EJEMPLO 3

1. Tiempo total de la toma $T_{\text{MÁXIMO}}$: 1.269 segundos.
2. Mínima diferencia de tiempos entre puntos de muestreo, ver la forma de onda ampliada: 1.24 ms = 0.00124 segundos.
3. Cálculo del # de muestras: 1024 muestras = 1.269 / 0.00124
4. Cálculo de la frecuencia del bin:
$$f_{\text{bin}} = 1 / T_{\text{MÁXIMO}} = 1 / 1.269 = 0.7875 \text{ CPS} = 47.25 \text{ CPM}$$
5. Cálculo de comprobación del # de líneas:
$$\# \text{ Líneas} = \# \text{ Muestras} / 2.56 = 1,024 / 2.56 = 400 \text{ líneas}$$
6. Cálculo de comprobación de la Frecuencia Máxima:
$$\text{Frecuencia Máxima} = f_{\text{bin}} \times \# \text{ líneas} = 47.25 \times 400 = 18,900 \text{ CPM}$$
7. Observar en la figura 2.14 que a pesar de haber calibrado el colector en una frecuencia máxima de 20,000 CPM, el espectro muestra una frecuencia máxima real de 18,860.7 CPM

