

TRANSDUCTORES Y SENSORES 2021

Ing. Biomédica
Ing. Electrónica

Unidad IX : VIBRACIONES



Temario

Conceptos y definiciones

Principales tecnologías

Selección del sensor

¿Cómo se analiza una vibración?

Informes de vibraciones

Interpretación de la información

Balanceado: Reglas básicas

Mantenimiento predictivo

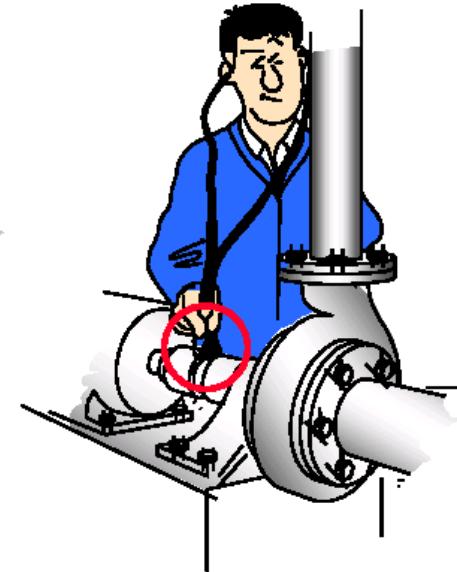
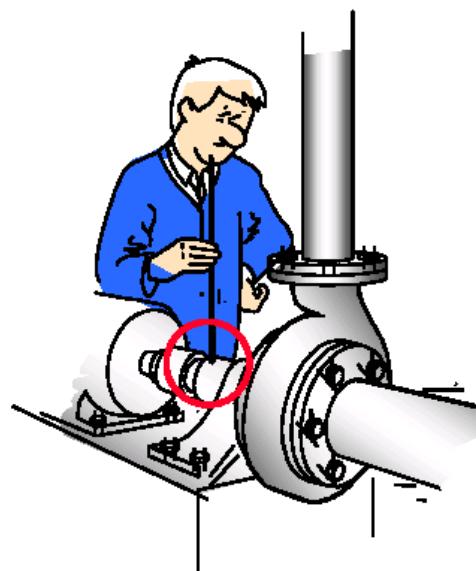
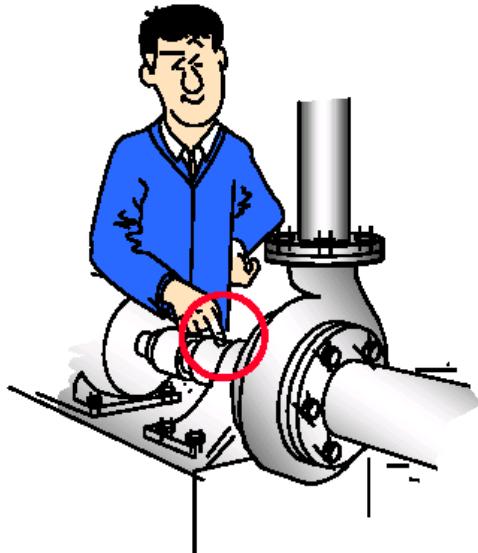
Principales fabricantes

Bibliografía



CONCEPTOS Y DEFINICIONES

Primeros métodos para “medir” vibraciones



III ¿Qué es una vibración?

Vibración es el movimiento físico u oscilación de una parte mecánica alrededor de una posición de referencia.

III | ¿Qué es una vibración? .

¿Por qué tomar precauciones con las vibraciones?

Vibración es:

- Energía perdida.
- Una de las principales causantes de la falla prematura de los componentes.
- Causal del ruido en los vehículos que contribuye al malestar de los pasajeros.

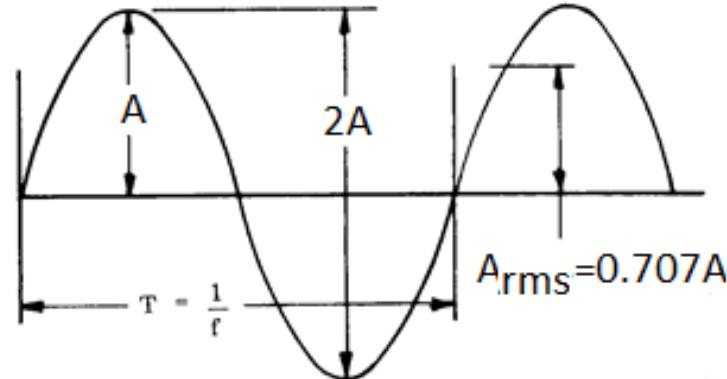
III Terminología

Antes de entrar al tema, es importante entender primero los términos comunes empleados para vibraciones y sus aplicaciones.

La vibración puede ser considerada como una suma de ondas senoidales de amplitud **A** y frecuencia **f**

III Terminología

Desplazamiento $y = A \operatorname{sen}(2\pi f)t$



Velocidad $v = (2\pi f)A \cos(2\pi f)t$

Aceleración $a = -(4\pi^2 f^2)A \operatorname{sen}(2\pi f).t$

En valores de G $g = \frac{-4\pi^2 f^2 A \operatorname{sen}(2\pi f).t}{G}$

a) Desplazamiento pico $y_m = A$ [mm]

b) Velocidad pico $v_m = 2\pi f A$ [mm/seg]

c) Aceleración pico $a_m = 4\pi^2 f^2 A$ [mm/seg²]

d) Aceleración pico en "g" $G_m = \frac{4\pi^2 f^2 A}{G}$

III Terminología

Amplitud

La amplitud es un indicador de la severidad de una vibración. La amplitud puede ser expresada en una de las siguientes unidades de ingeniería:

- Desplazamiento
- Velocidad
- Aceleración

III Terminología

Desplazamiento

- El desplazamiento es la medición de la distancia entre un objeto en movimiento con respecto a un punto de referencia.
- El desplazamiento es expresado en mm o en “mils”
 - 1 mil = 0,001 pulgada

III Terminología

Velocidad

- Velocidad es el ritmo de cambio de una posición.
- Las unidades típicas de velocidad son: mm/seg (milímetros por segundo), IPS (Inches per Second)
- La velocidad es la medición más empleada de la vibración porque está relacionada con la capacidad de “destrucción” (la energía cinética está relacionado con la velocidad al cuadrado). Por eso, la mayoría de las normas están relacionadas con este valor.

III Terminología

Aceleración

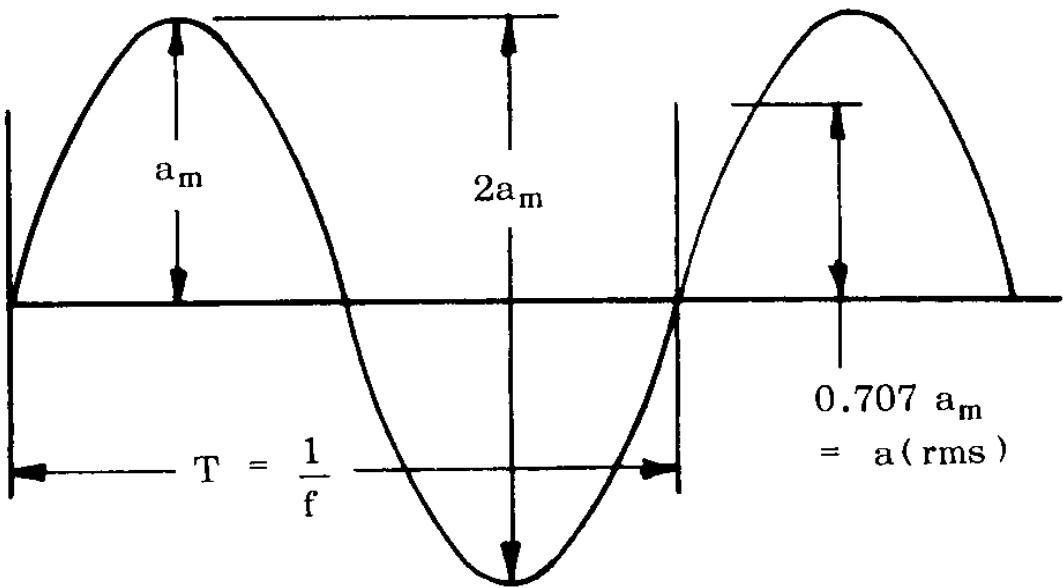
- La aceleración es el ritmo de variación de la velocidad y es la medición de la fuerza que es producida.
- Las unidades podrán ser mm/seg²
- La aceleración es expresada en fuerzas gravitacionales o “G’s”, ($1G = 9,81 \text{ m/seg}^2$ o $32,17 \text{ ft/seg}^2$)

III Terminología

Valores:

Dado que una vibración es transmitida como una señal alterna, hay cuatro maneras de expresar los valores para expresar la señal.

Hay que prestar especial atención al dar o medir un valor de una vibración



Valor pico a pico

Valor pico

Valor medio (AVG) – 0,637 del valor pico.

Valor eficaz (rms) – 0,707 del valor pico.

III Terminología

Frecuencia

Es el ritmo de la oscilación mecánica en la unidad de tiempo. Se lo suele expresar en las siguientes unidades:

- **RPM** - Revoluciones por Minuto
- **CPM** - Ciclos por Minuto
- **CPS** - Ciclos por Segundo
- **Hz** - Hertz, $1 \text{ Hz} = 1$ Ciclo por segundo

III Terminología

Categorías de la vibración

La vibración puede ser clasificada en una o más de las siguientes categorías:

- Periódica
- Aleatoria (Random)
- Resonancia
- Armónica

III Terminología

Vibraciones Periódica:

Una vibración periódica es la que se repite en ciertos períodos de tiempo. Suele ser producido de una pieza que esté desbalanceada. Al girar esta pieza, con cada rotación producirá un “golpeteo” denominado vibración “uno-por- revolución” o vibración “1P”. Se suele corregir con un balanceado correcto.

III Terminología

Vibraciones Aleatoria (Random)

La vibración aleatoria se caracteriza por ser de carácter no repetitiva y no está relacionada con ninguna onda armónica. Un ejemplo son las vibraciones que sufre un automóvil al transitar por una calle bacheada.

III Terminología

Resonancia



Corresponde a la frecuencia natural a la que un sistema mecánico tiende a vibrar. Todo objeto tiene una o más frecuencias de resonancia.

Las vibraciones de resonancia son el resultado de la respuesta de sistemas mecánicos a fuerzas de excitación periódicas.

III Terminología

Armónica

Las vibraciones armónicas son múltiplos exactos de la frecuencia fundamental.

Se las clasifica como 1a armónica, 2da, etc.

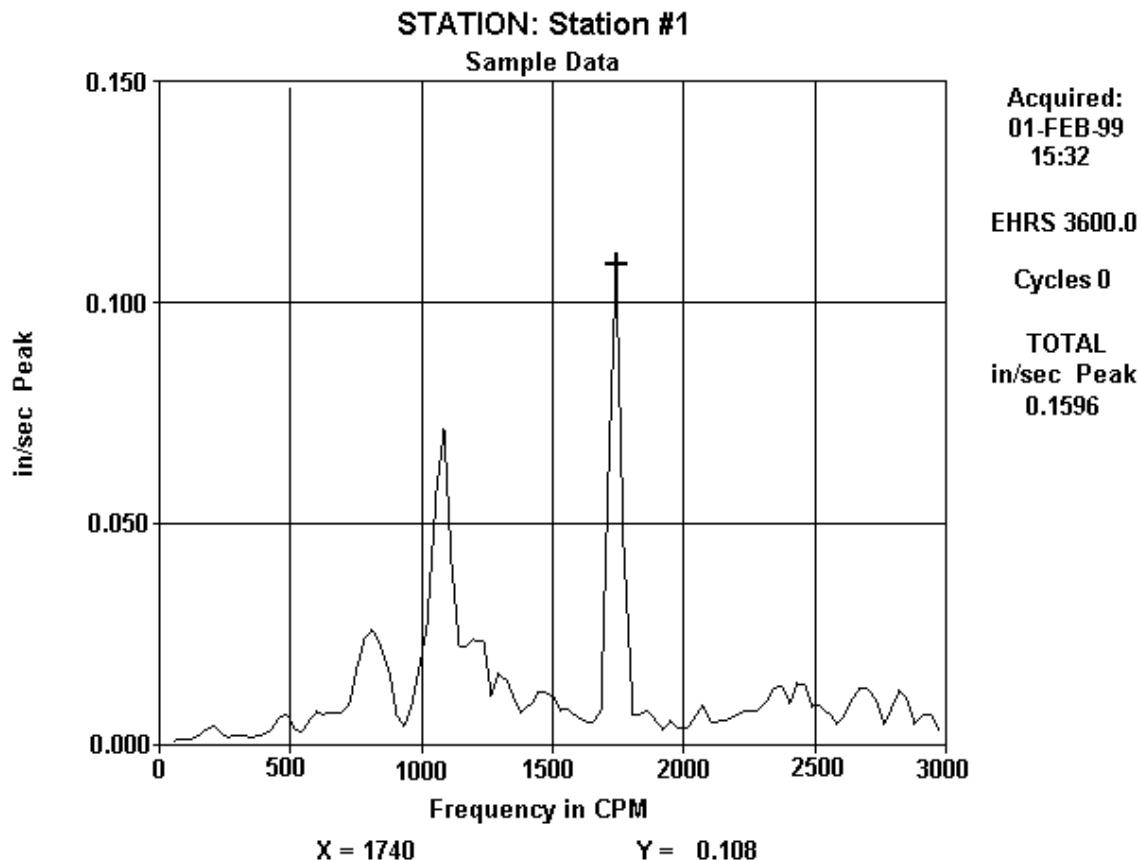


III Ancho de banda

El ancho de banda se refiere a los límites de frecuencia inferior y superior entre los que se desea monitorear la vibración. Estos límites pueden ser fijados por hardware (con filtros pasabanda) o controlada por software mediante el analizador. Mediante el ajuste de la banda, se puede eliminar información o ruidos indeseados de las lecturas.

III Ancho de banda

En la figura, el ancho de banda es de 0 a 3000 CPM.



III Para qué medir vibraciones

Mantenimiento preventivo

Mantenimiento predictivo

Ruidos

Balanceado de ejes en rotación

Salud y seguridad en el trabajo

....



PRINCIPALES TECNOLOGÍAS

III Tipos de sensores

Tipos de sensores

Un sensor de vibraciones es un transductor que convierte movimiento mecánico en señales eléctricas. Hay tres categorías de transductores de vibraciones:

1. **Desplazamiento**
2. **Velocidad**
3. **Aceleración**

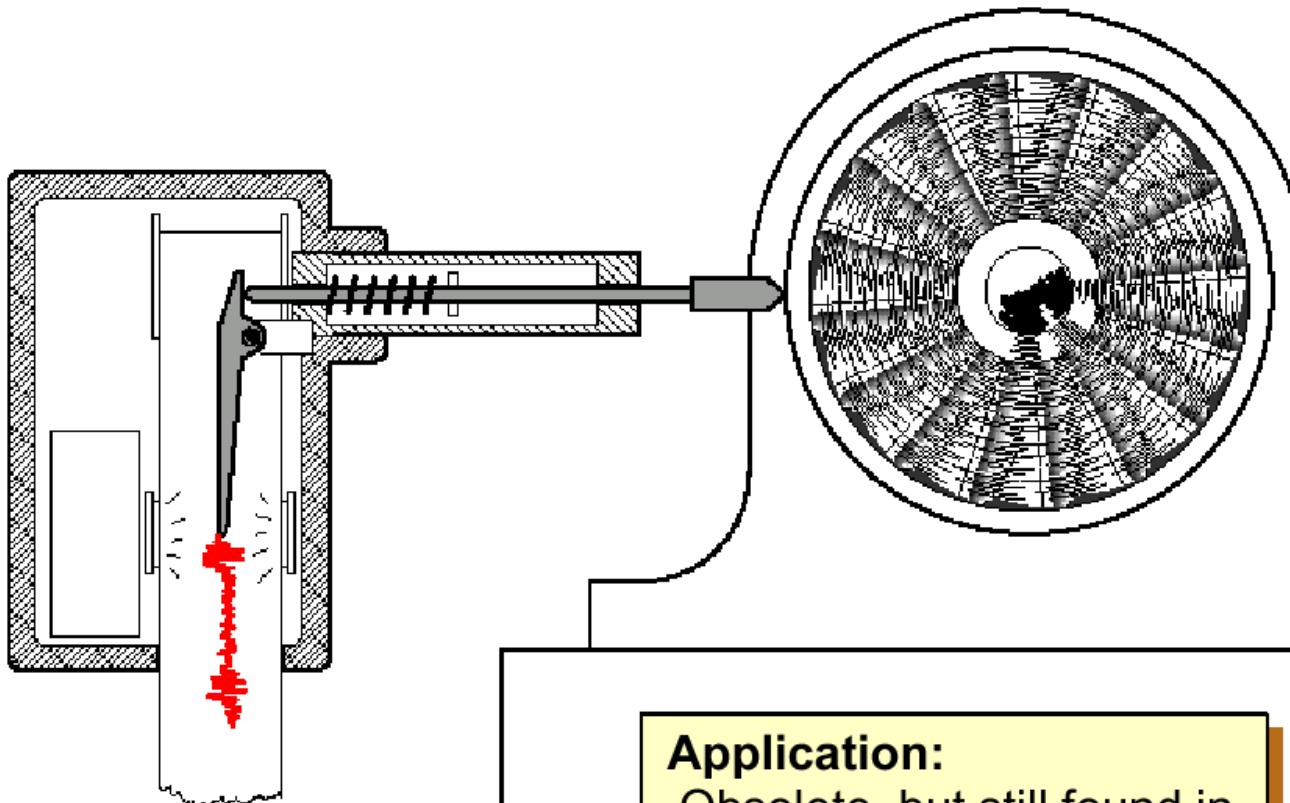
III 1. Sensores de desplazamiento:

Sensores de desplazamiento

El sensor de desplazamiento mide la distancia entre un objeto en movimiento respecto a un punto de referencia. La unidad utilizada es el mil o el mm.

Estos sensores solían emplearse para medir vibraciones con frecuencias inferiores a 10 Hz, o 600 RPM, aunque los sensores láser permiten su utilización a mayores frecuencias.

1. Desplazamiento: Leva mecánica.



Application:
Obsolete, but still found in
a few old power stations

III 1. Desplazamiento sin contacto :Vibrómetro láser

Sensor de desplazamiento láser.

<https://www.youtube.com/watch?v=j1yht2qWJjM>

III 2. Sensores de velocidad:

Sensores de velocidad

Los sensores de velocidad miden el ritmo de cambio de posición de un objeto en movimiento. En la práctica se lo mide en mm/seg o pulgadas por segundo (Inches Per Second - IPS)

Es la mejor selección para medir vibraciones entre ~ 10 Hz y 1000 Hz, o 100 a 6000 RPM.

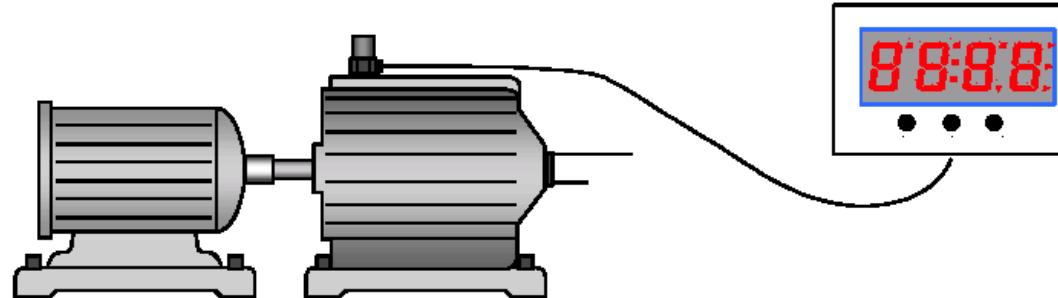
III 3. Sensores de aceleración:

Acelerómetros

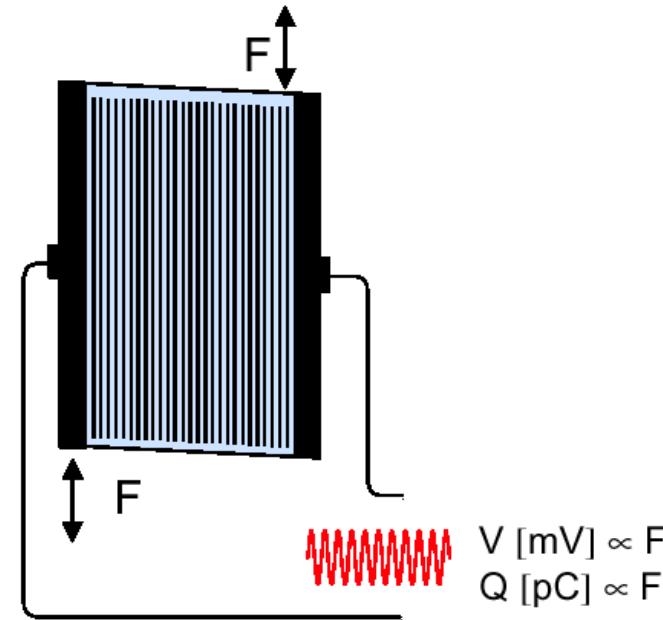
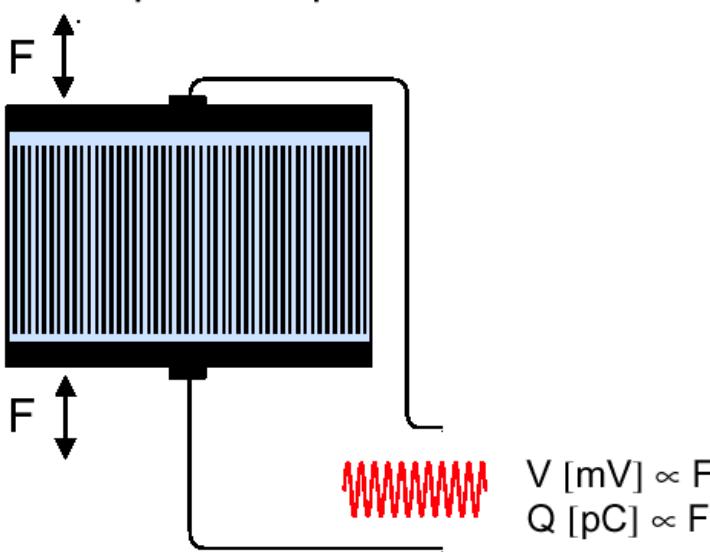
Miden la magnitud de la variación de la velocidad por unidad de tiempo. La unidad empleada suele ser el mm/s² o inch/sec² o en valores de G

El rango de frecuencia más adecuado para este tipo de sensor es el de frecuencias superiores a 1000 Hz, o 60000 RPM.

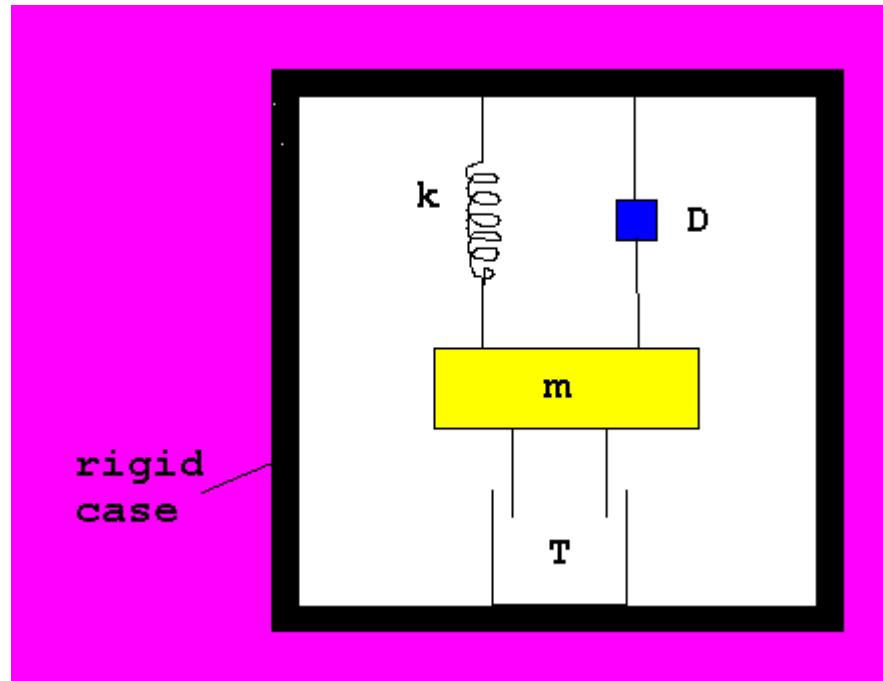
Acelerómetro piezoeléctrico



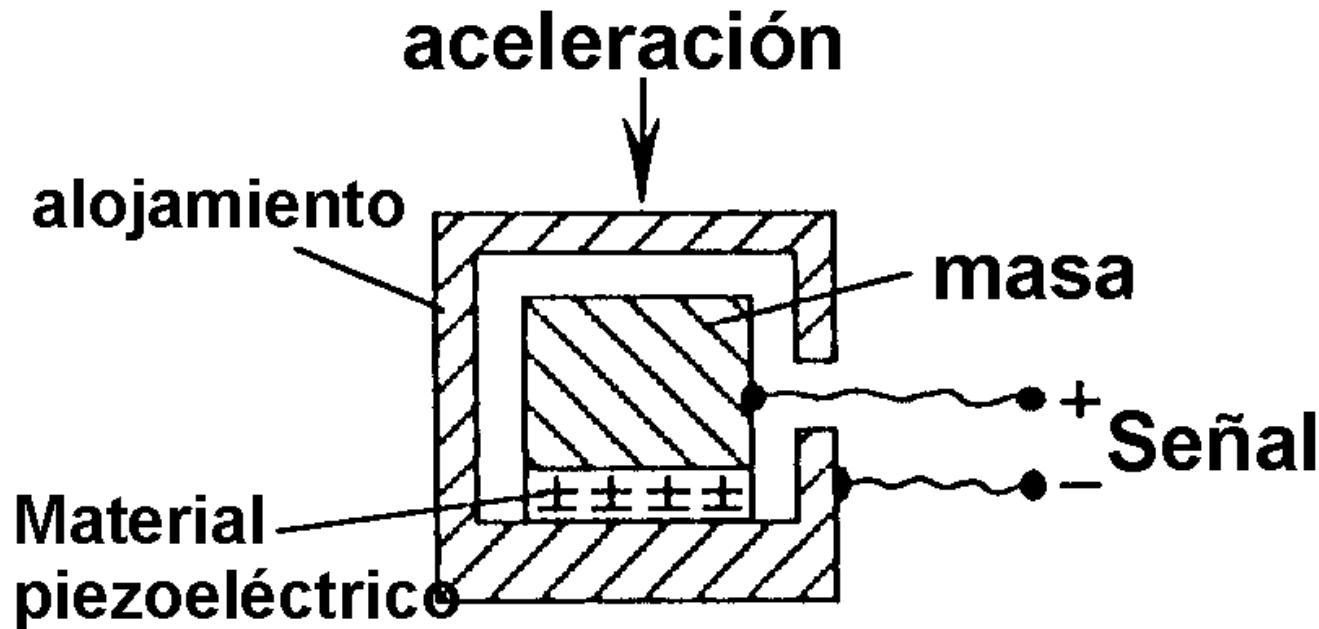
Principles of operation



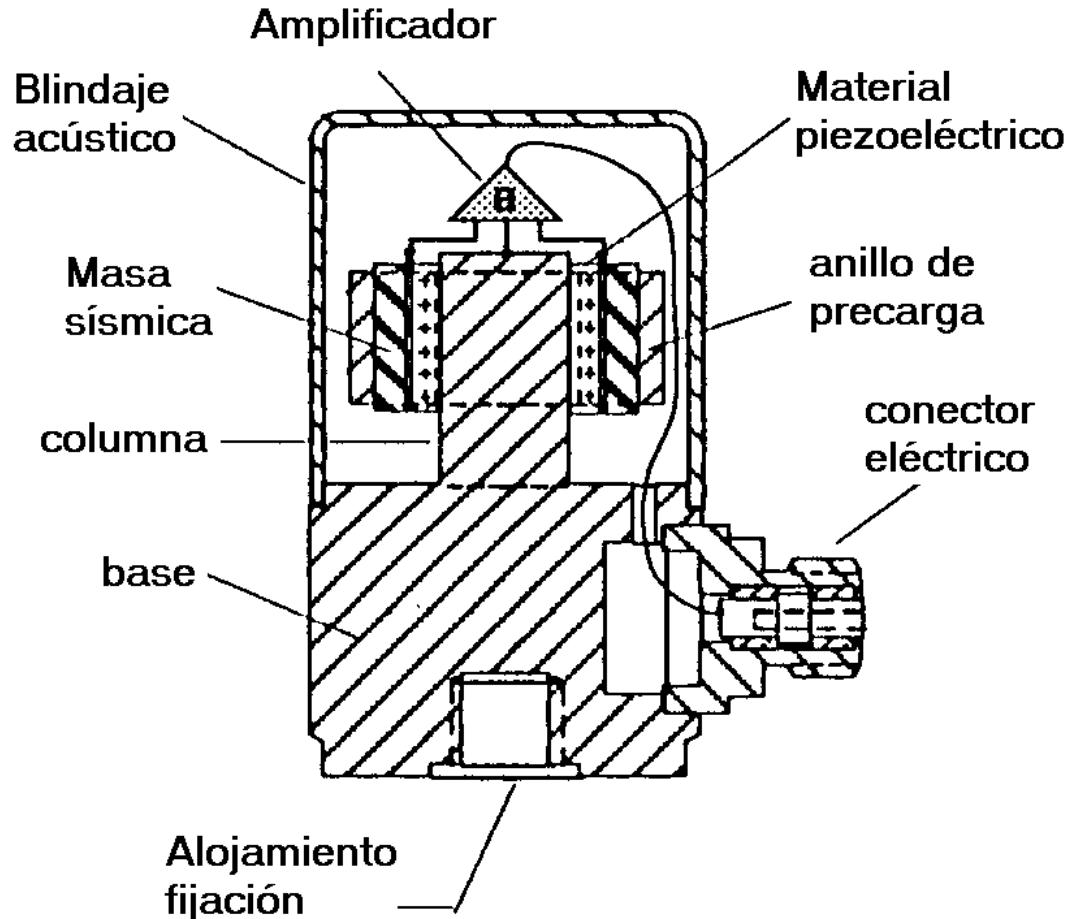
III ACELERÓMETRO BÁSICO



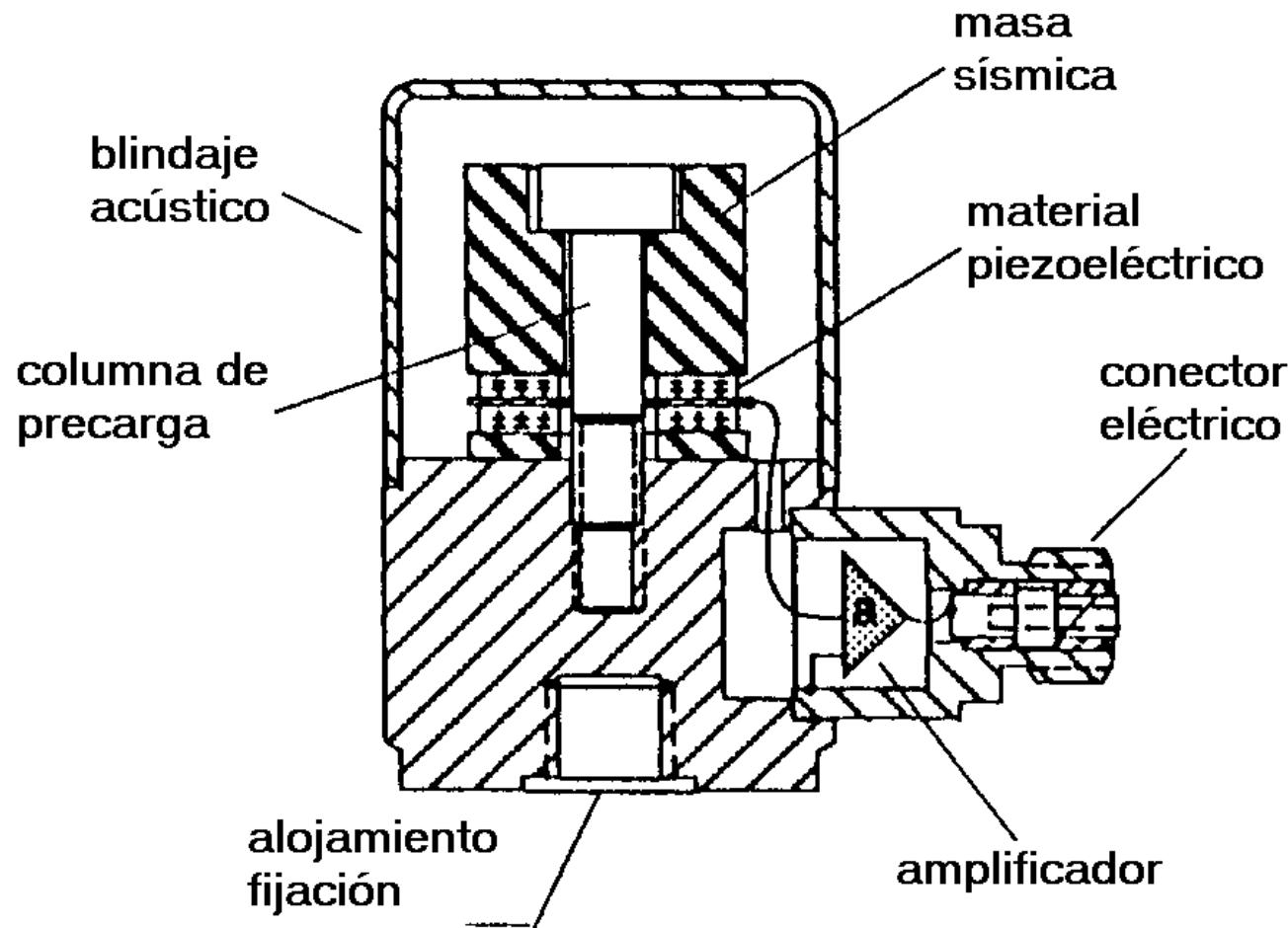
III ACELERÓMETRO BÁSICO



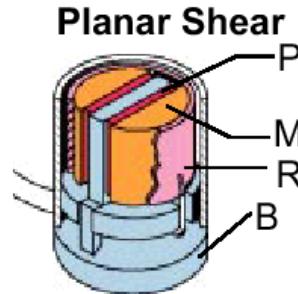
Acelerómetro tipo de corte



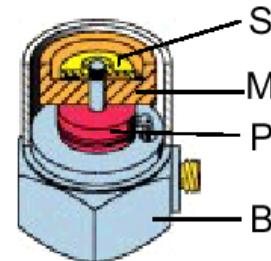
Acelerómetro tipo compresión



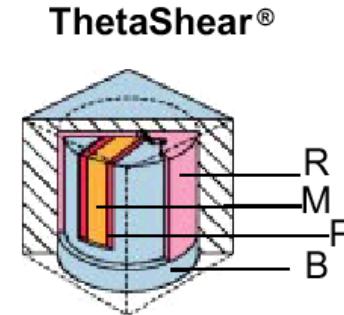
Tipos de A. piezoeléctricos



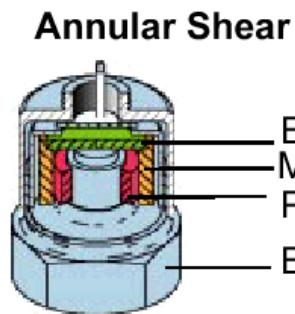
Planar Shear



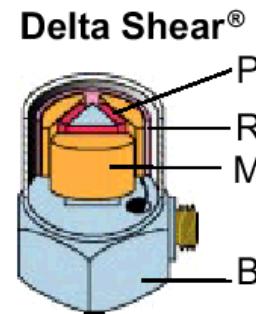
Centre-mounted Compression



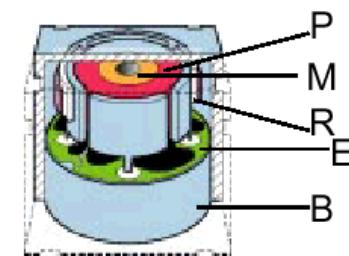
ThetaShear®



Annular Shear



Delta Shear®



OrthoShear®

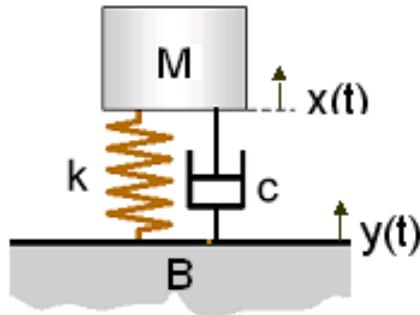
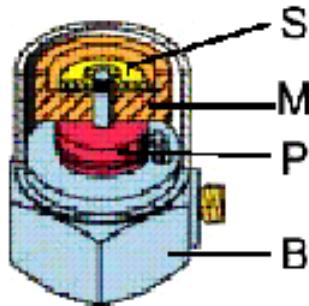
P: Piezoelectric Elements E: Built-in Electronics S: Spring

R: Clamping Ring

B: Base

M: Seismic Mass

Sensor "sísmico"



$$k = k_P + k_S$$

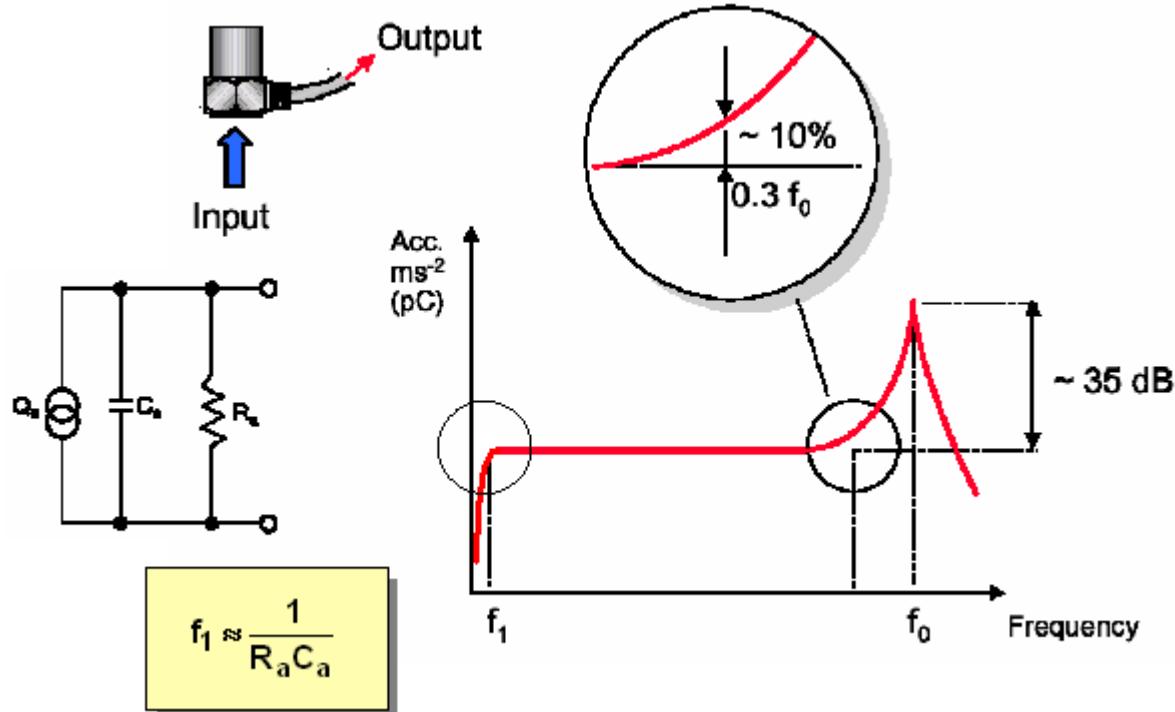
$$f_P(t) = k_P(y(t) - x(t))$$

$$F_P(\omega) = k_P(Y(\omega) - X(\omega))$$

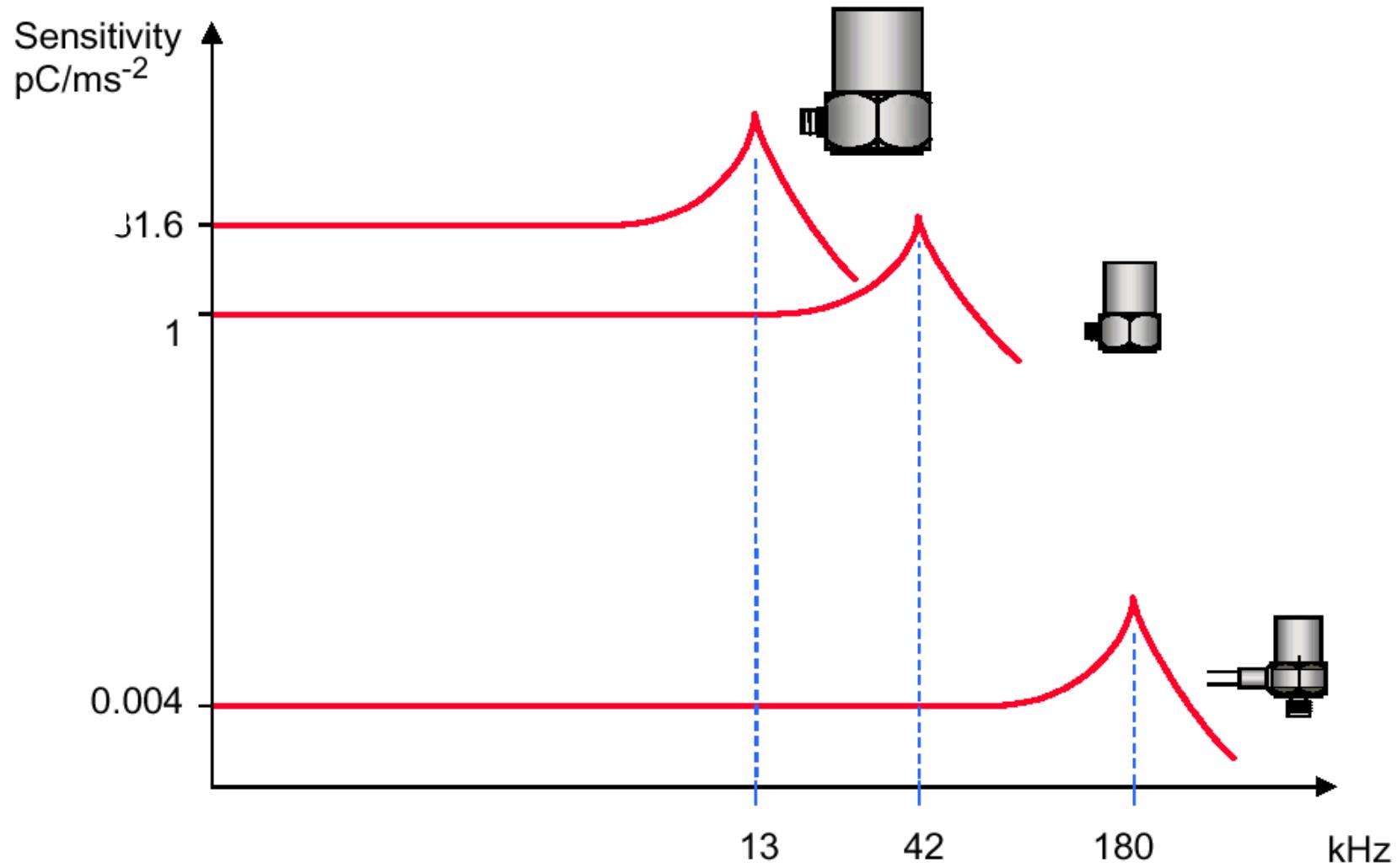
$$M\ddot{x}(t) = k(y(t) - x(t)) + c(\dot{y}(t) - \dot{x}(t)) \quad -M\omega^2 X(\omega) = (k + i\omega \cdot c)(Y(\omega) - X(\omega))$$

$$X(\omega) = \frac{k + i\omega \cdot c}{-M\omega^2 + k + i\omega \cdot c} Y(\omega)$$

Rango de aplicación

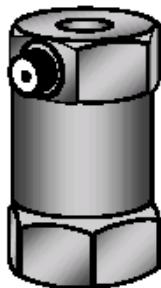


Sensibilidad vs frecuencia

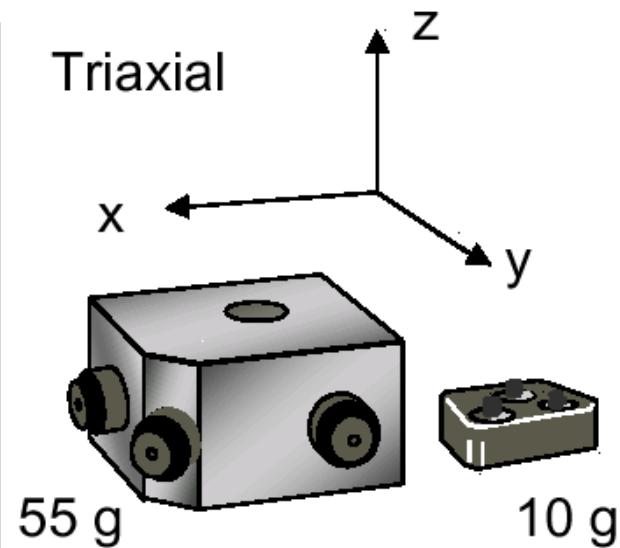


Acelerómetros especiales

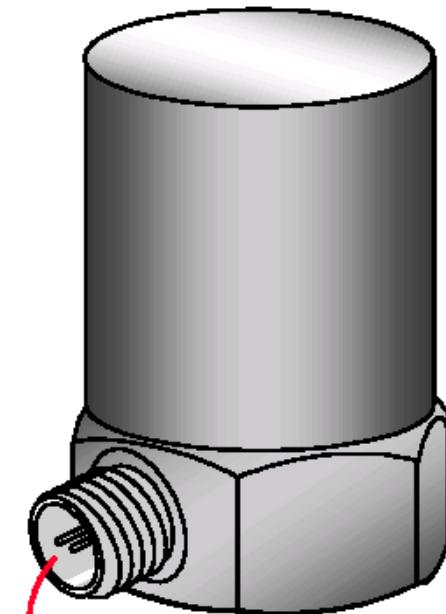
Calibration



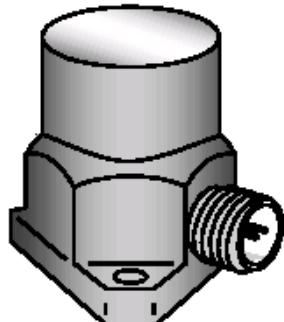
Triaxial



High sensitivity
(with built-in amplifier)



High temperature



$T_{\max.} = 400^\circ \text{C}$

Shock



$a_{\max.} = 1000 \text{ km}^{-2}$

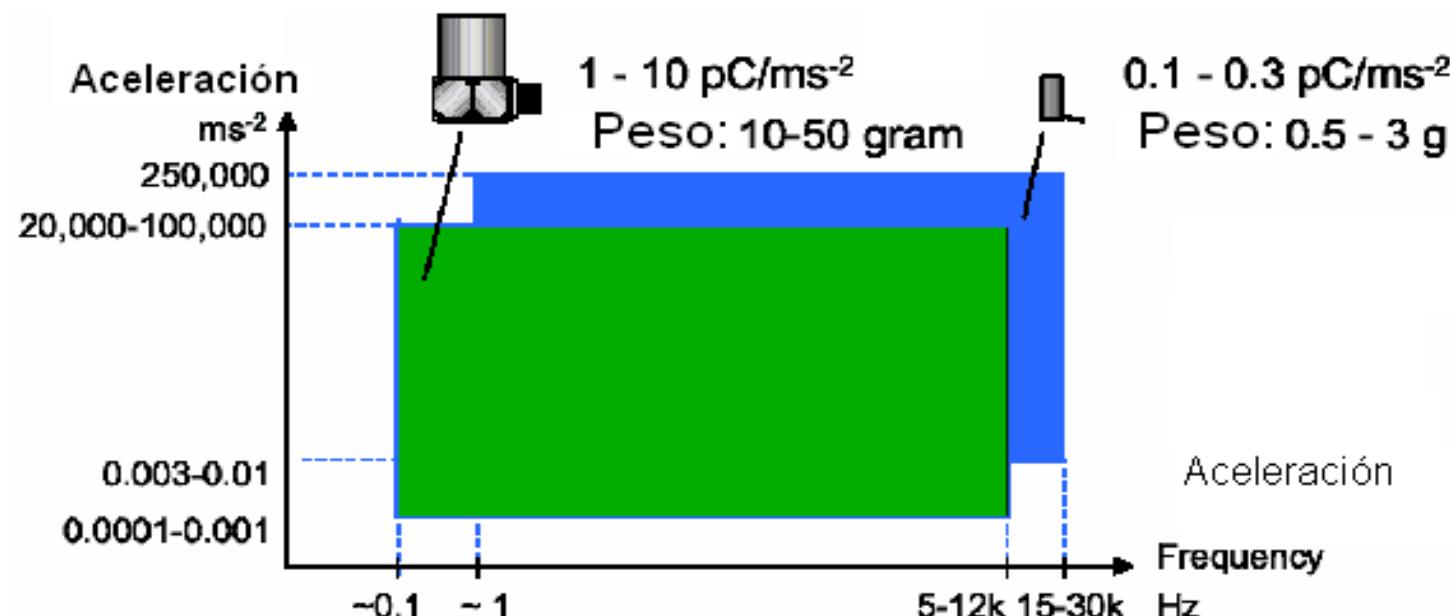
316 mV/ms^{-2}
 $a_{\min.} = 20 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-2}$

III Selección de un transductor

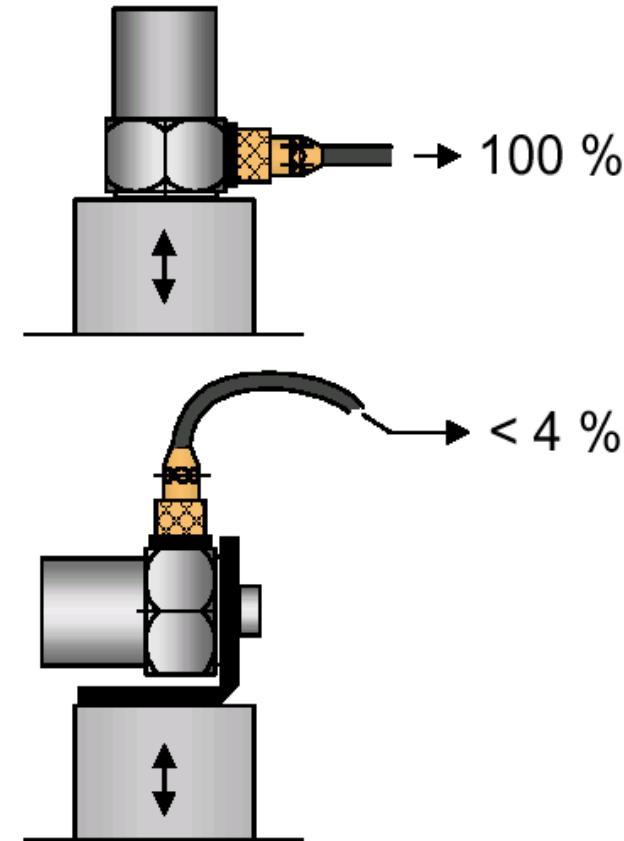
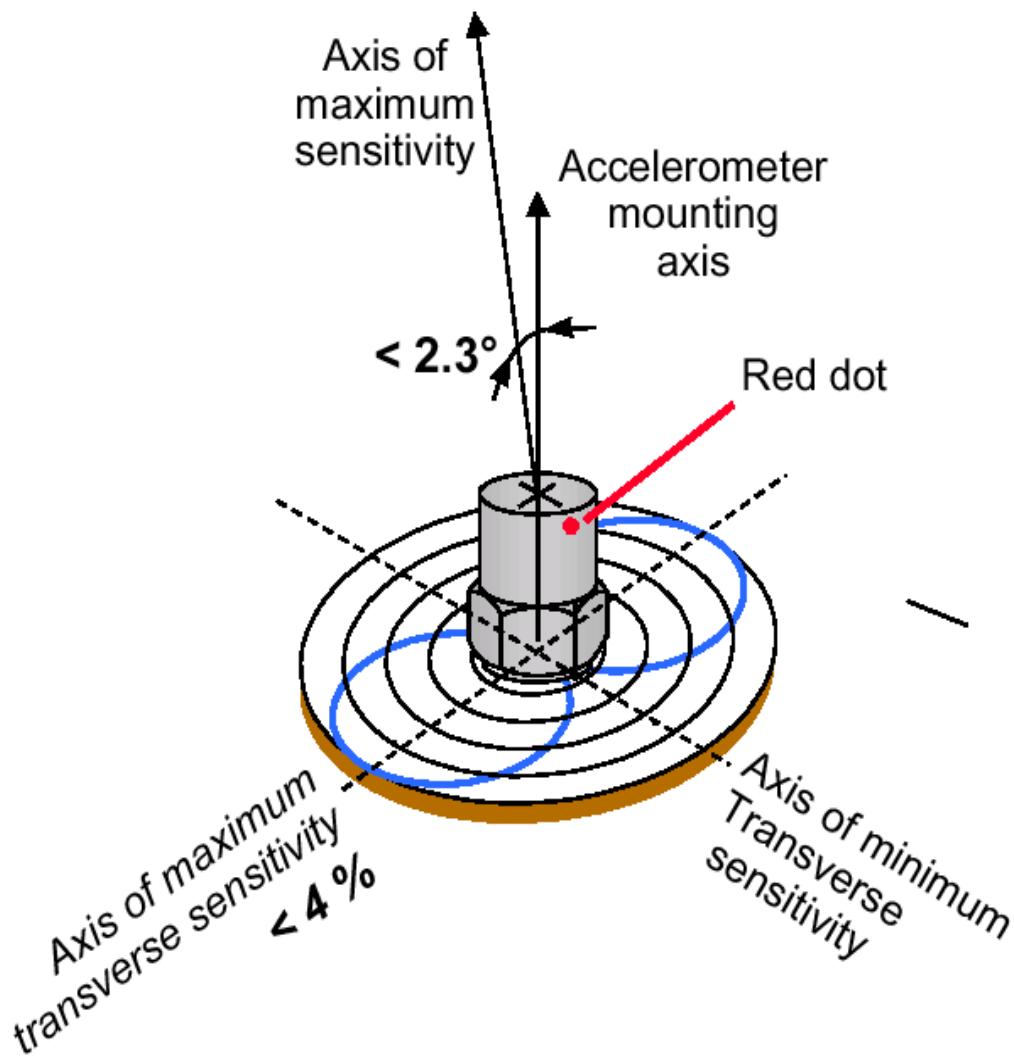
Propósito general: peso y sensibilidad media

O

Pequeño, liviano y de alta frecuencia



Sensibilidad transversal



Max. transverse
sensitivity $< 4\%$

III El d-efecto de incrementar la masa



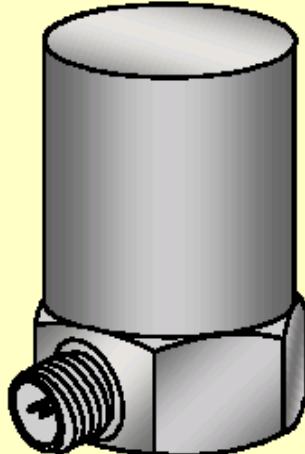
0,1 pC/ms⁻²

0.65 g \longrightarrow M > 7 g



10 pC/ms⁻²

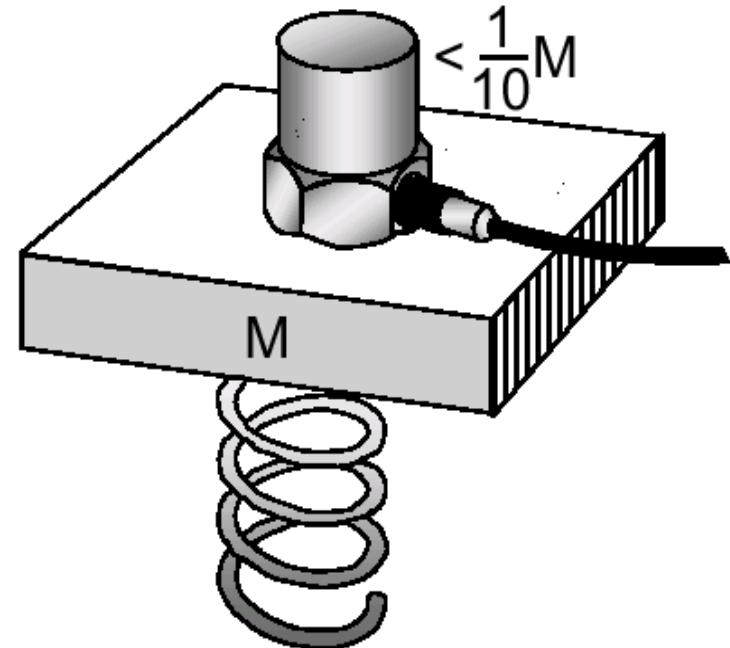
54 g \longrightarrow M > 600 g



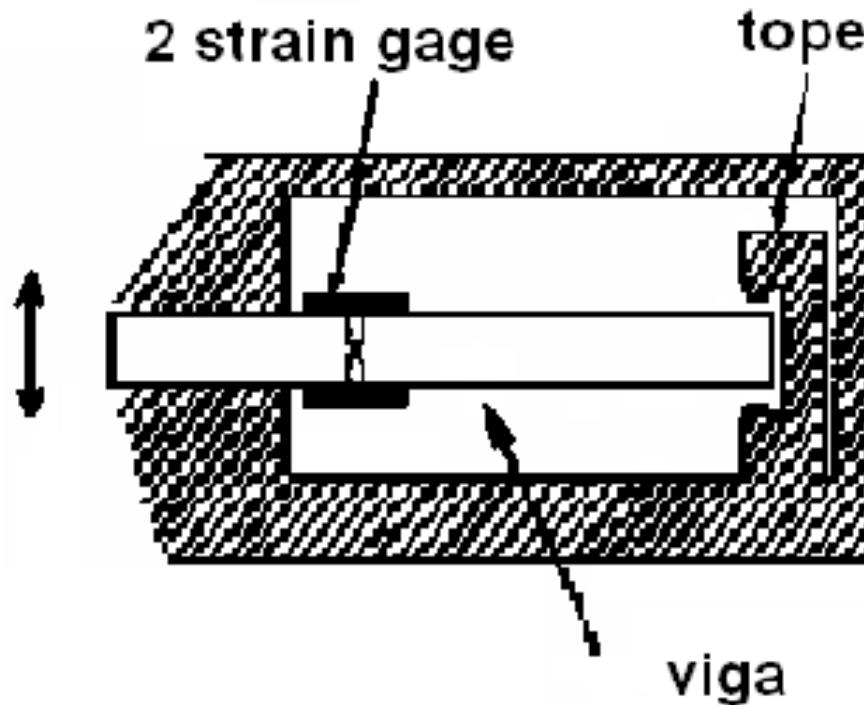
1000 pC/ms⁻²

470 g \longrightarrow M > 5 kg

Dynamic Mass

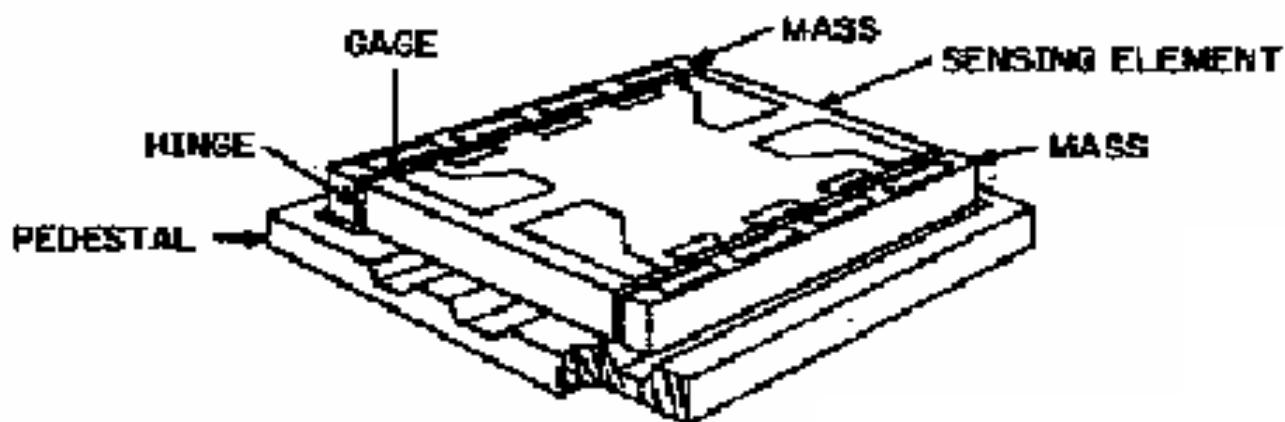


Con strain gage

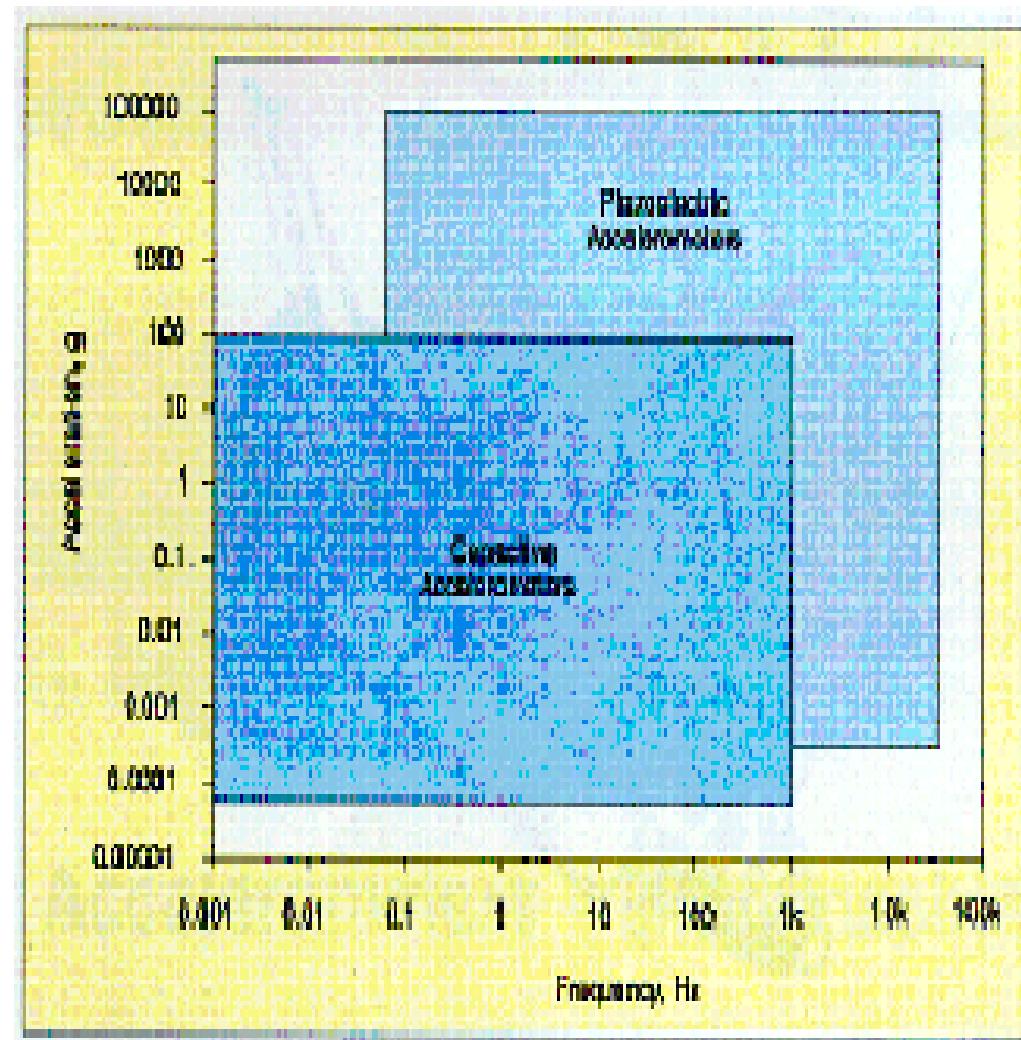
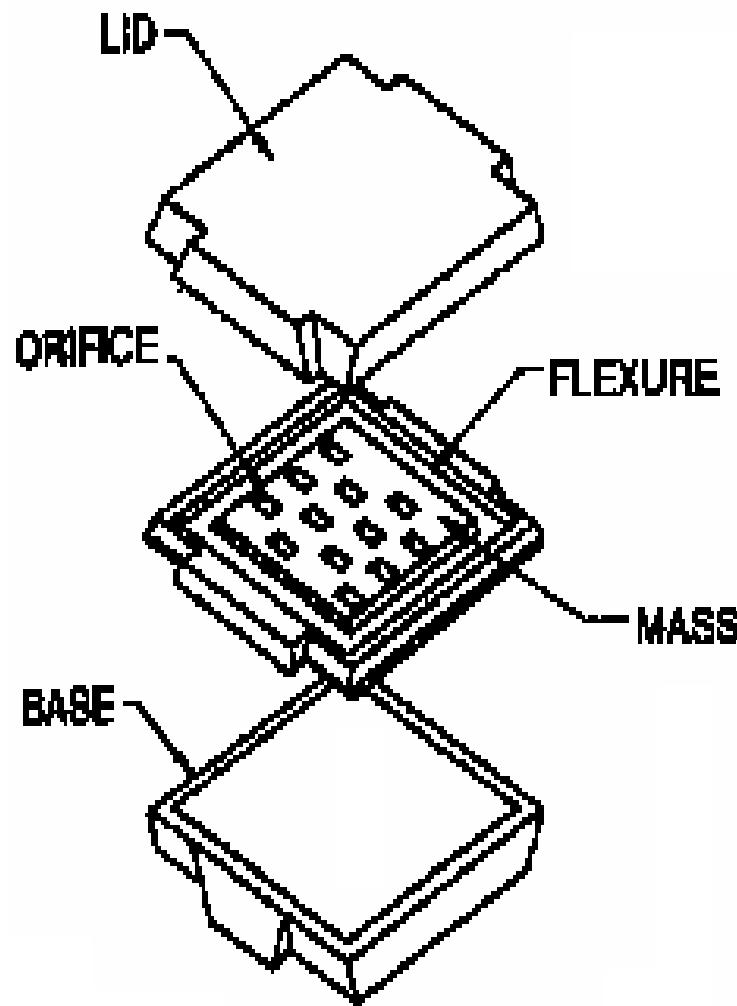


$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta L}{L}$$

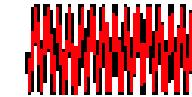
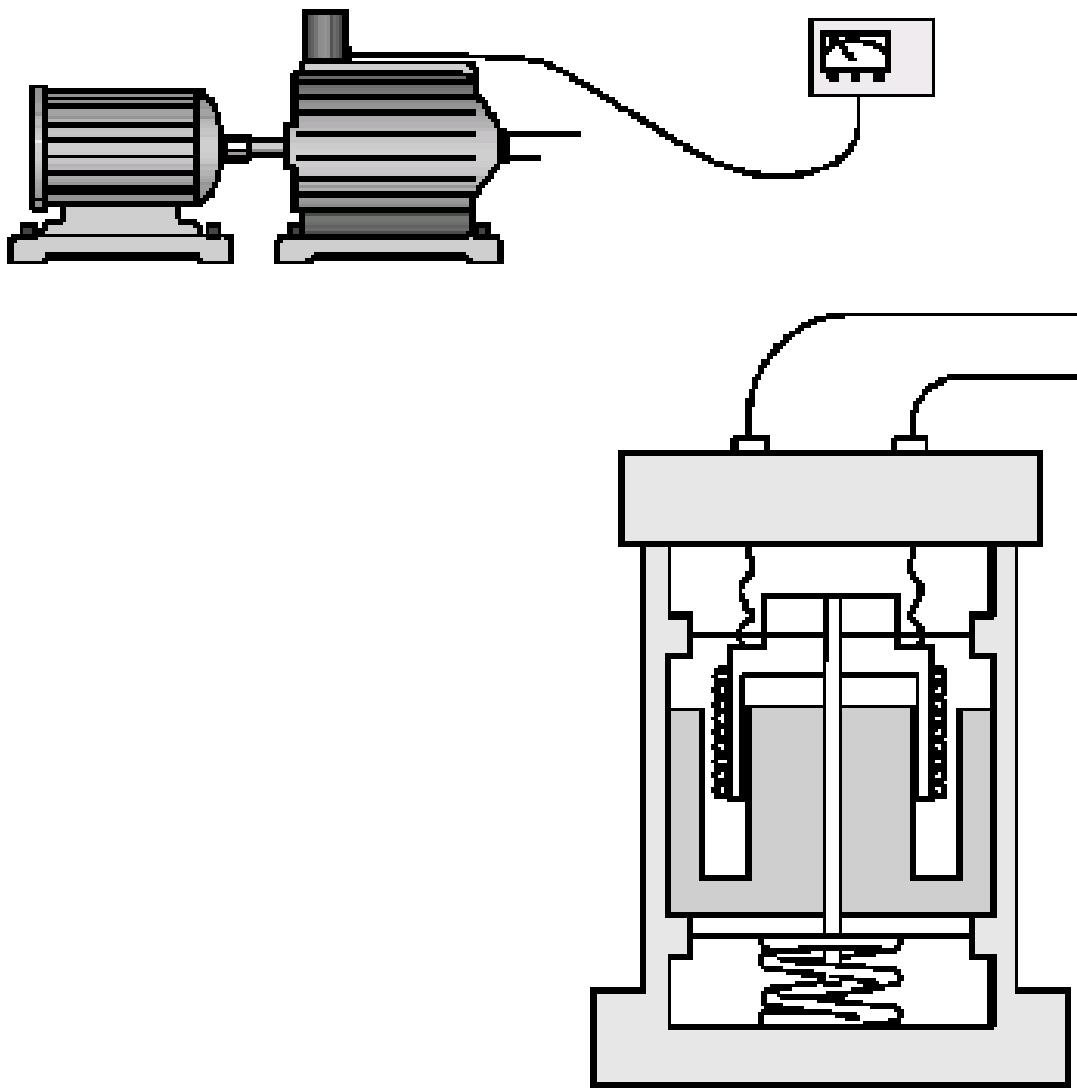
Puente de Wheatstone



Capacitivo



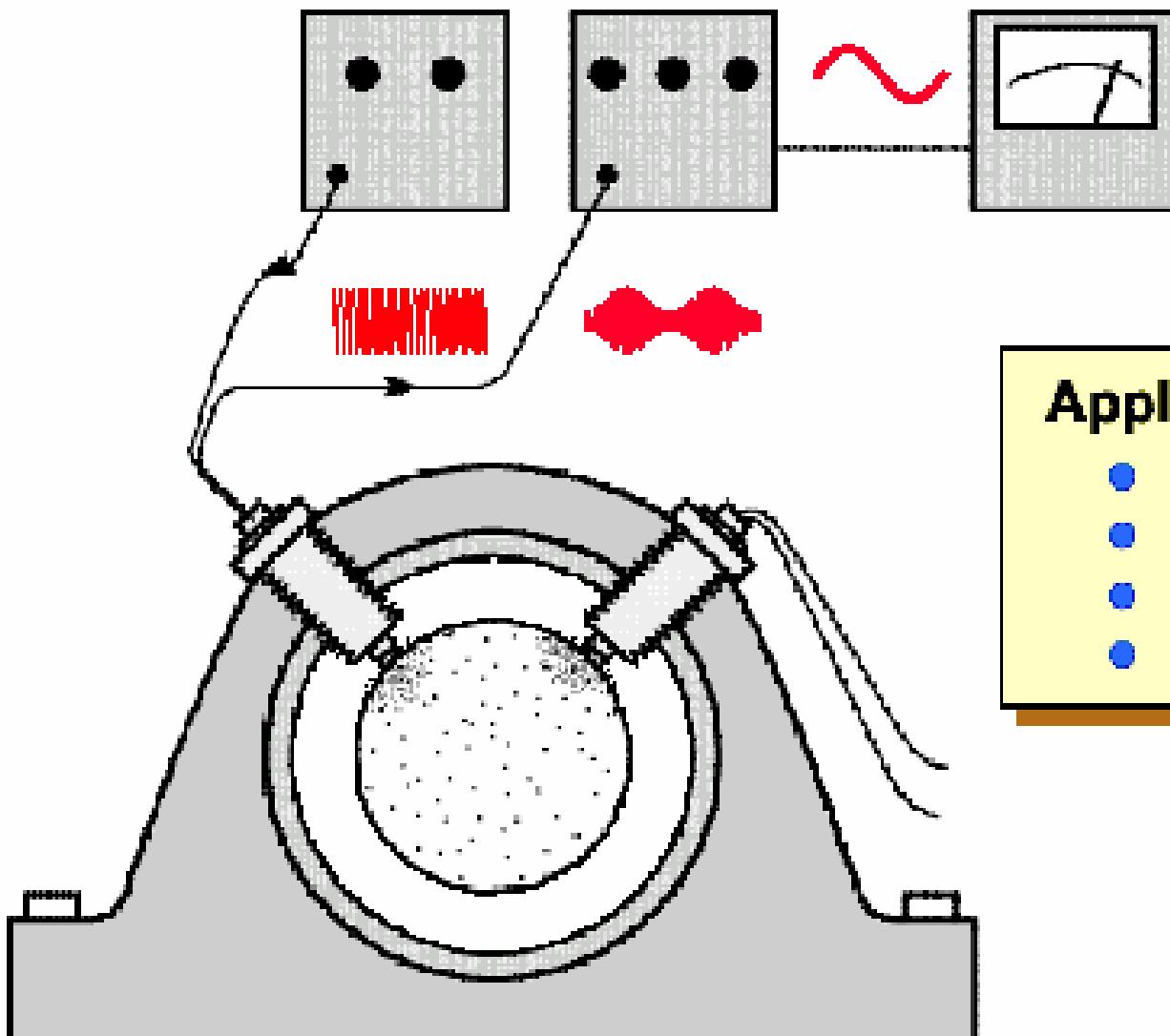
■ Pickup de velocidad



$$e = Blv$$

Limited frequency
range:
 $10 < f < 1000 \text{ Hz}$

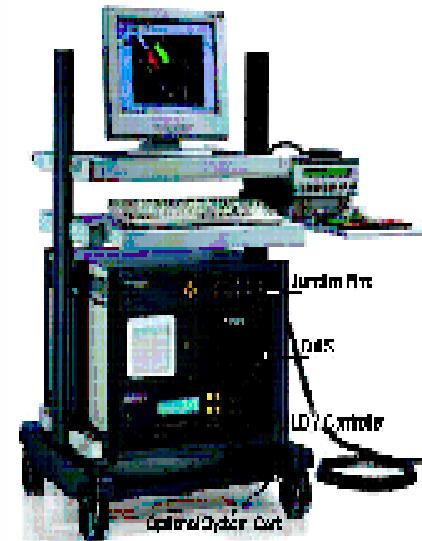
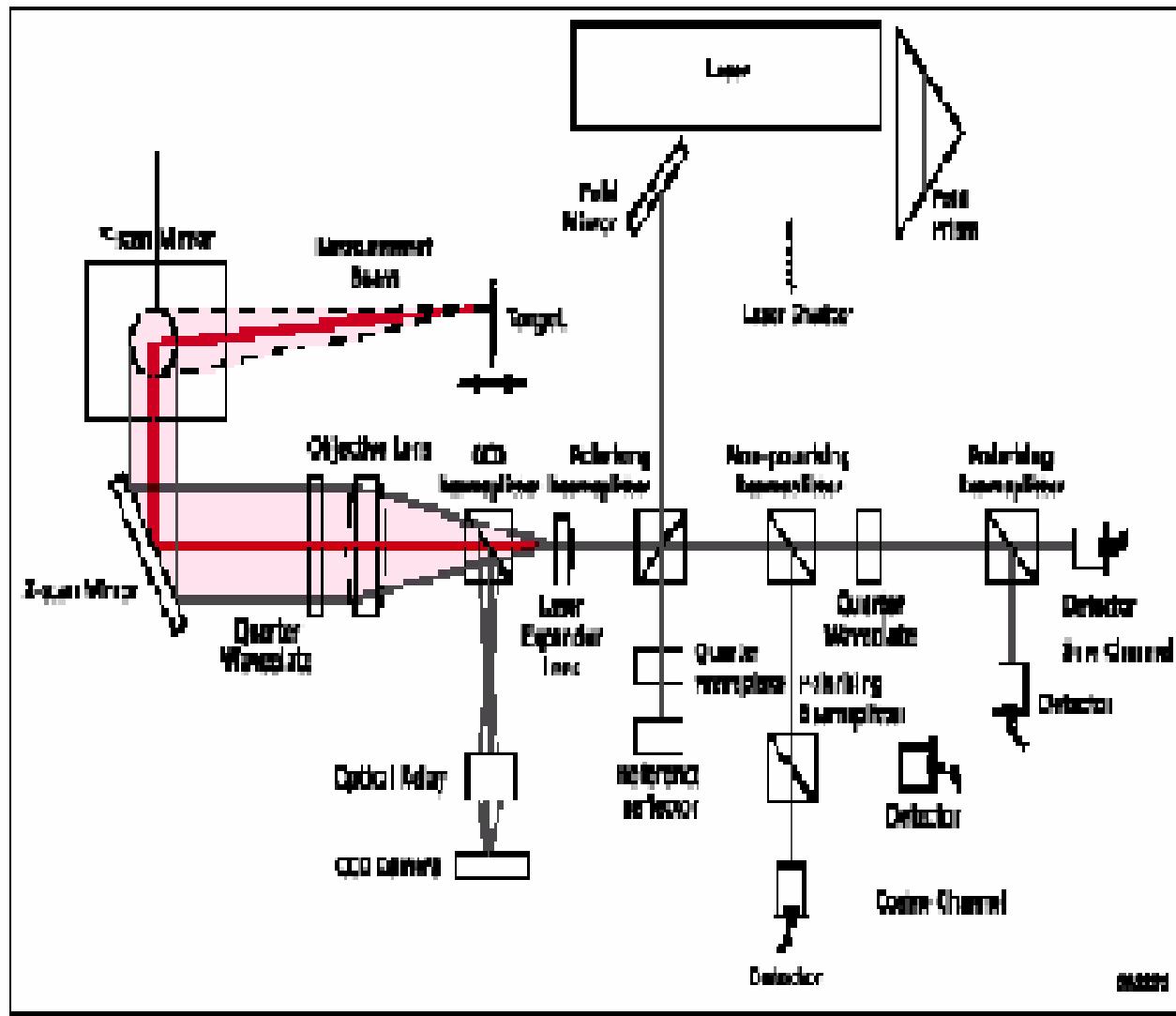
Sensores de proximidad



Applications:

- Relative motion
- Shaft eccentricity
- Oil film thickness
- Etc.

Sensor láser



Acelerómetros - Especificaciones

<p>3101B3 3101BG (No Stud)</p>	
Model Number	3101B
PHYSICAL	
Weight (Grams)	5.0
Size: Hex X Height (Inches)	.5/16 x .55
Mounting Provision	310BG - Adhesive 3101B3 - 10-32 Stud
Connector	5-44 Coaxial

PERFORMANCE	
Sensitivity (mV/g)	10(+/-5%)
Full Scale Range for +/-5%V Output (g's)	500
Frequency Range (Hz) (+/-5%)	1-10,000
Resolution (g pk.)	0.01
Frequency Range (Hz) (+/-3dB)	.66-12,000
Mounted Resonant Frequency (kHz)	36
Electrical Noise (Equivalent g's RMS)	.007
Discharge Time Constant (Seconds)	0.5

Acelerómetros - Certificado

DYTRAN Dynamic Transducers and Systems
INSTRUMENTATION, INC. 21592 Marcella St., Chatsworth, CA 91311 • Phone 818/700-7818 • FAX 818/700-7880

CALIBRATION CERTIFICATE
VOLTAGE MODE ACCELEROMETER

MODEL 3101B SERIAL NO. 2670

RANGE, F.S. +/- 500 G's REFERENCE SENSITIVITY 10.4 mV/G [1]

FREQUENCY RESPONSE [2]

FREQUENCY (Hz)	SENSITIVITY (mV/G)	TEMP. 23 °C
20	<u>10.4</u>	HUMIDITY 45 %
30	<u>10.4</u>	
50	<u>10.4</u>	
100	<u>10.4</u>	
300	<u>10.3</u>	
500	<u>10.3</u>	
1000	<u>10.3</u>	
3000	<u>10.1</u>	
5000	<u>10.4</u>	
8000	<u>10.1</u>	
10000	<u>10.2</u>	

TRANSVERSE SENSITIVITY < 3 %

BIAIS VOLTAGE 11.5 VDC

DISCHARGE TIME CONSTANT > 0.5 SEC

[1] The reference sensitivity is measured at 100 Hz, 1 G RMS.
[2] This calibration was performed in accordance with MIL-STD-45662A using the Back-to-Back Comparison Method per SA 527.2 and is traceable to the NIST through test number 737/229485.

CUSTOMER REV AEROCRAFT P.O. # 1355763-VC-291-6

ORDER NO. 87682 DATE 5-18-92

CALIBRATION PERFORMED BY: Alvaro Dean CALIBRATED 05/18/92



SELECCIÓN DEL SENSOR

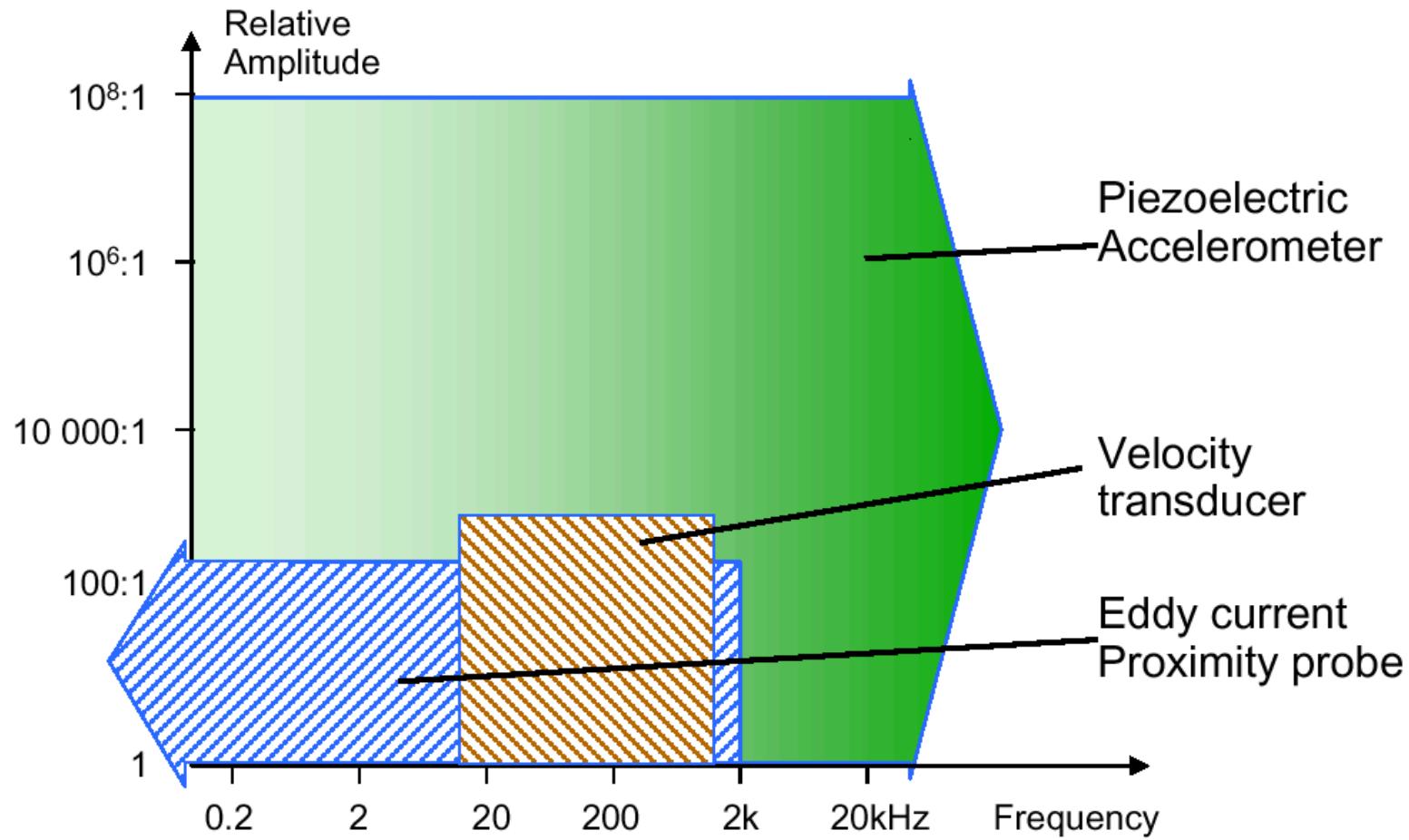
III Selección del sensor:

Selección del Sensor

Cuando se selecciona un sensor para una aplicación, la primera consideración ha de referirse a las recomendaciones de los fabricantes. Si no existieran, se deberán considerar los siguientes criterios:

- Rango de frecuencia
- Amplitudes esperadas
- Condiciones ambientales

Selección del sensor:



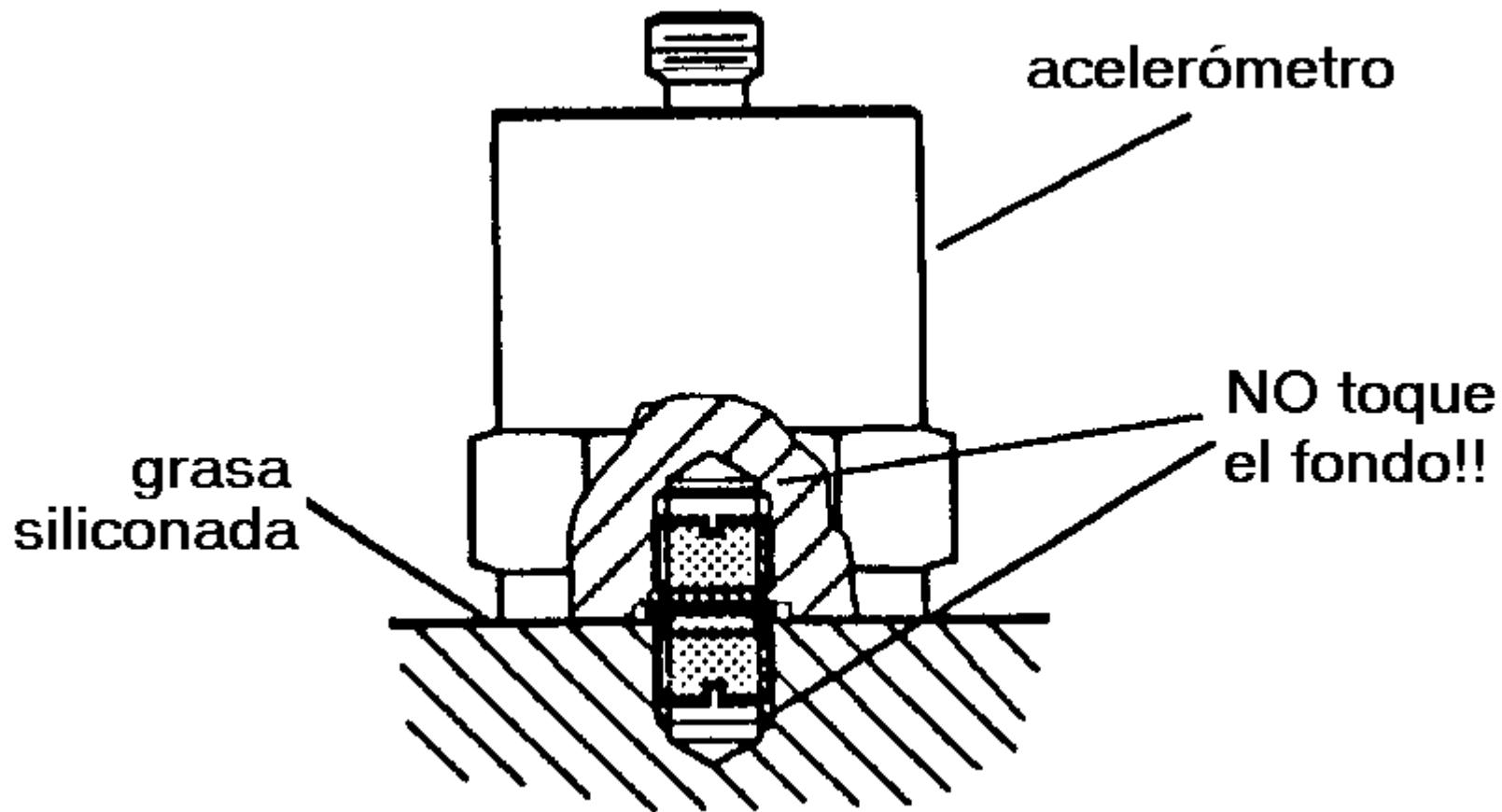
III Instalación del sensor:

Instalación del Sensor

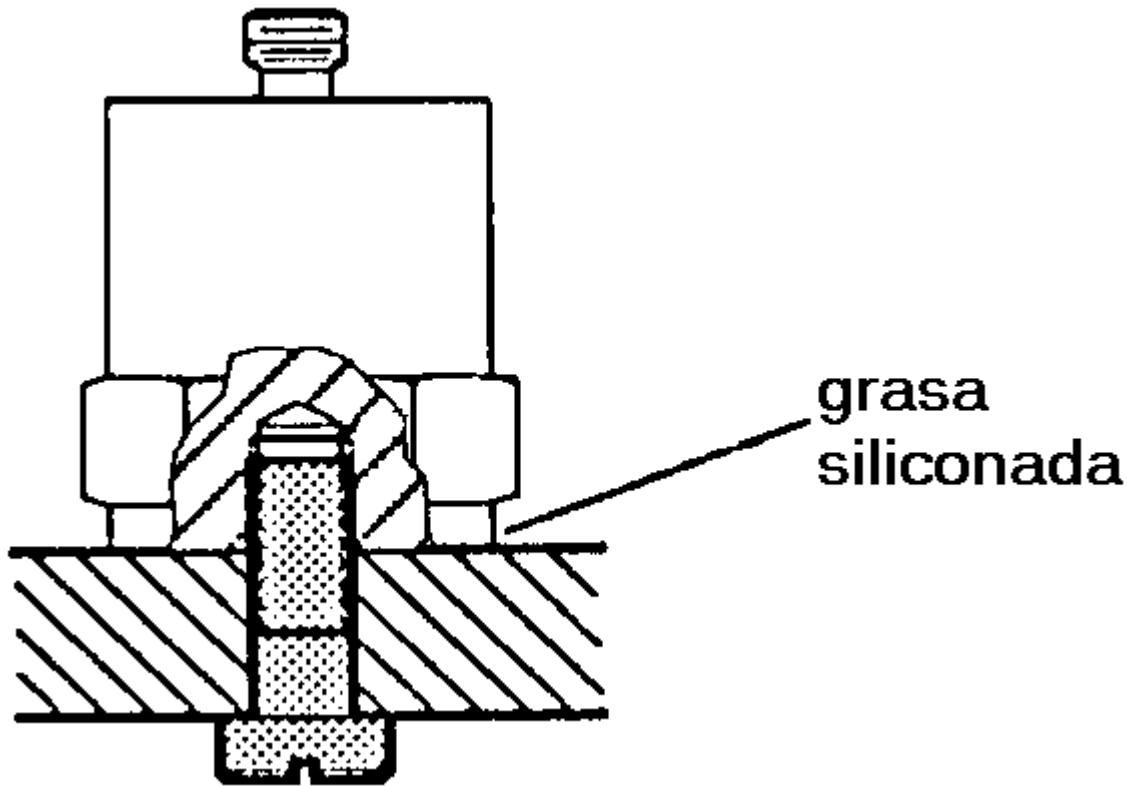
La ubicación para la instalación del sensor puede variar de acuerdo a la aplicación. La mayoría de los fabricantes suministran las especificaciones para una correcta instalación de sus sensores que deberán ser rigurosamente observadas. Si no se siguieran estas especificaciones, el resultado podría no ser válido.

En general, un sensor de vibraciones debe ser montada en una ubicación lo más próxima posible del componente cuya vibración se desee determinar.

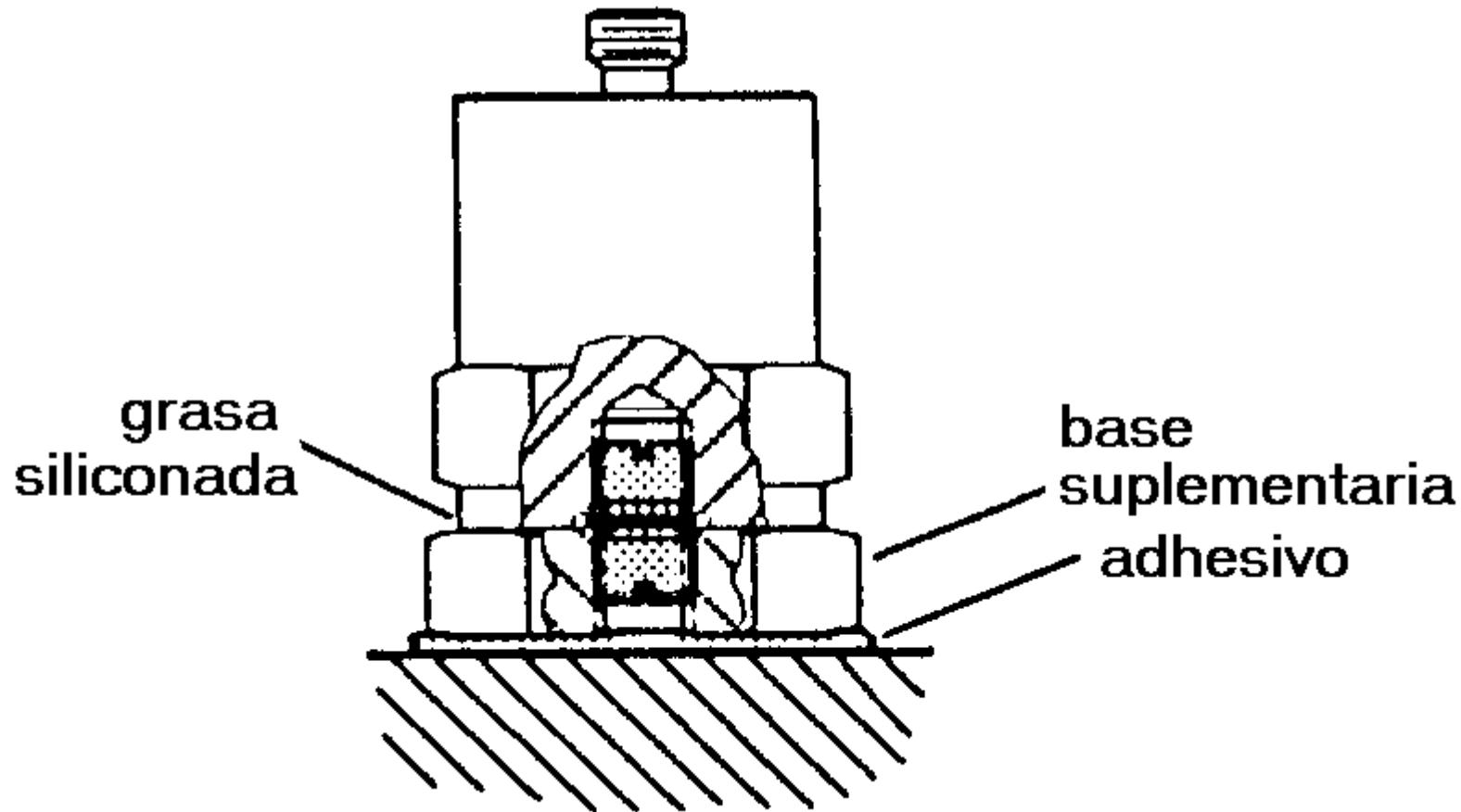
Instalación del Sensor



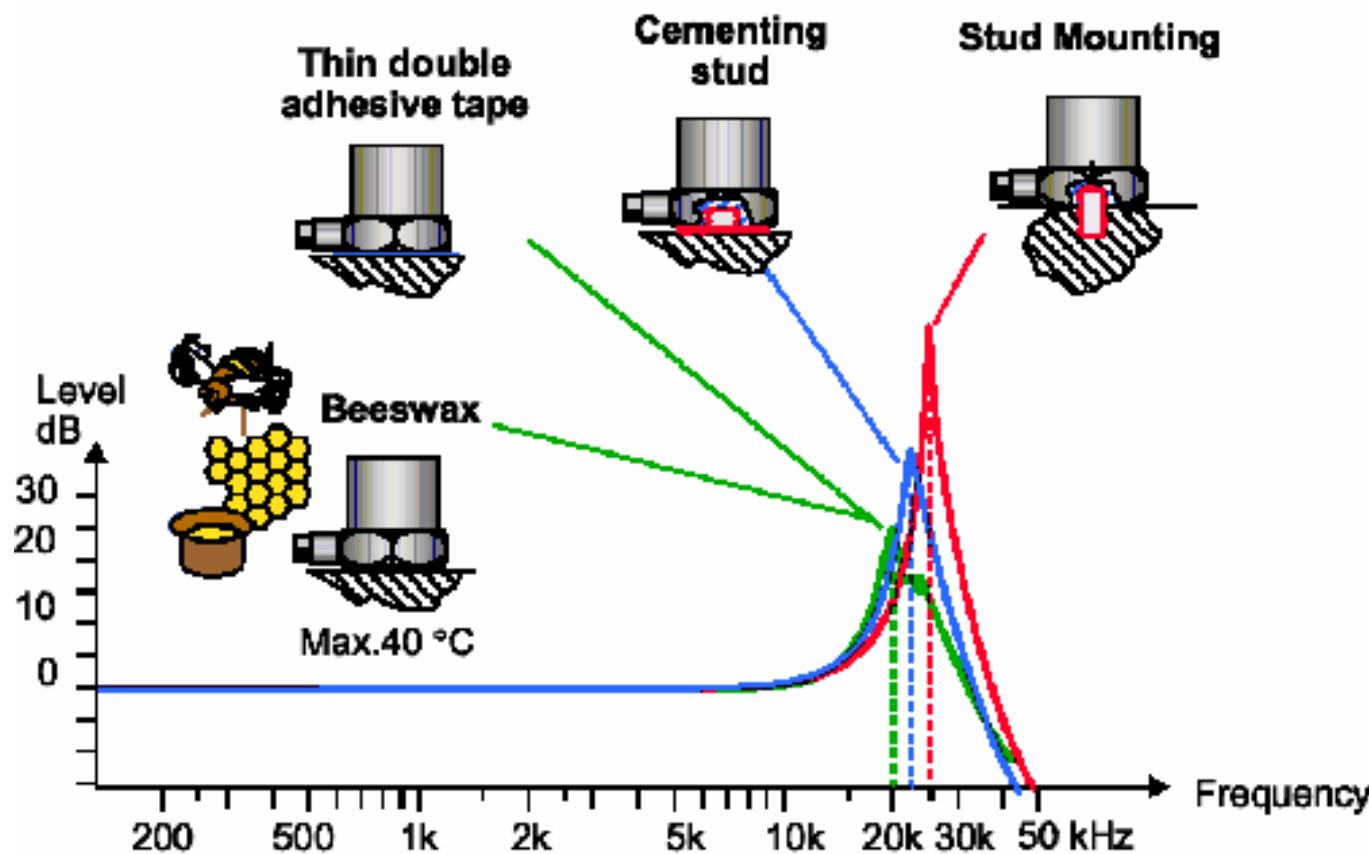
Instalación del Sensor



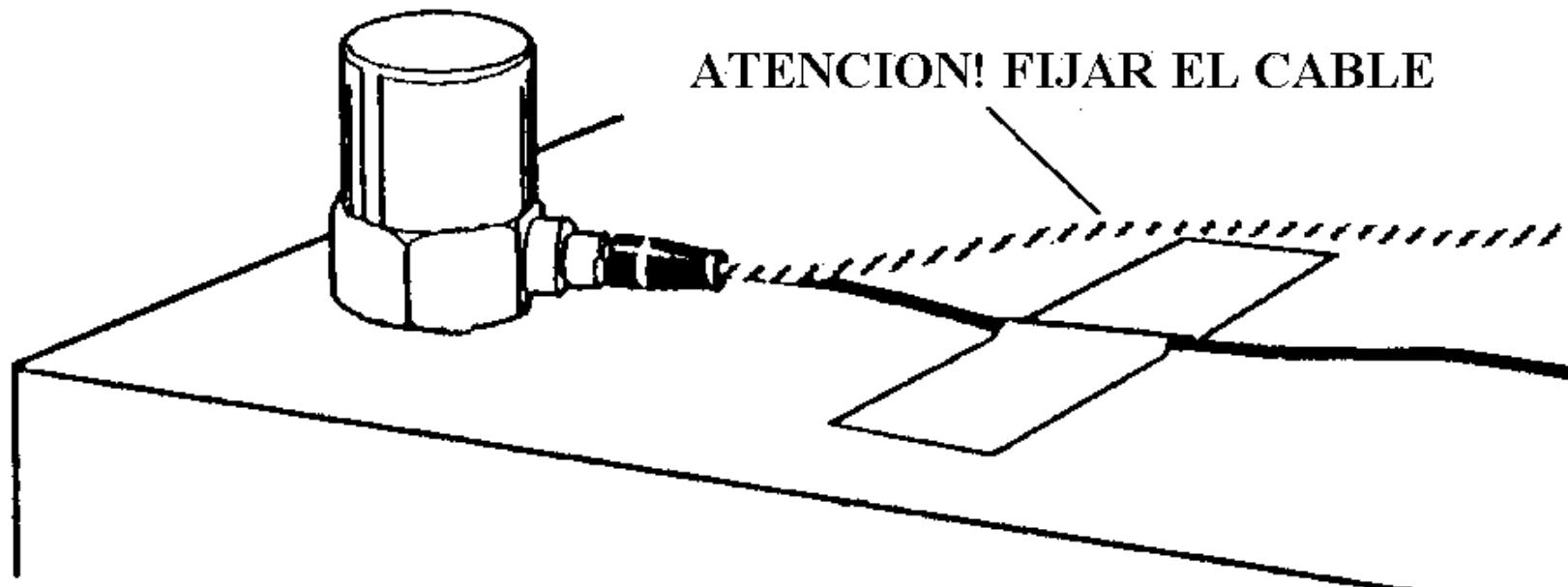
Instalación del Sensor



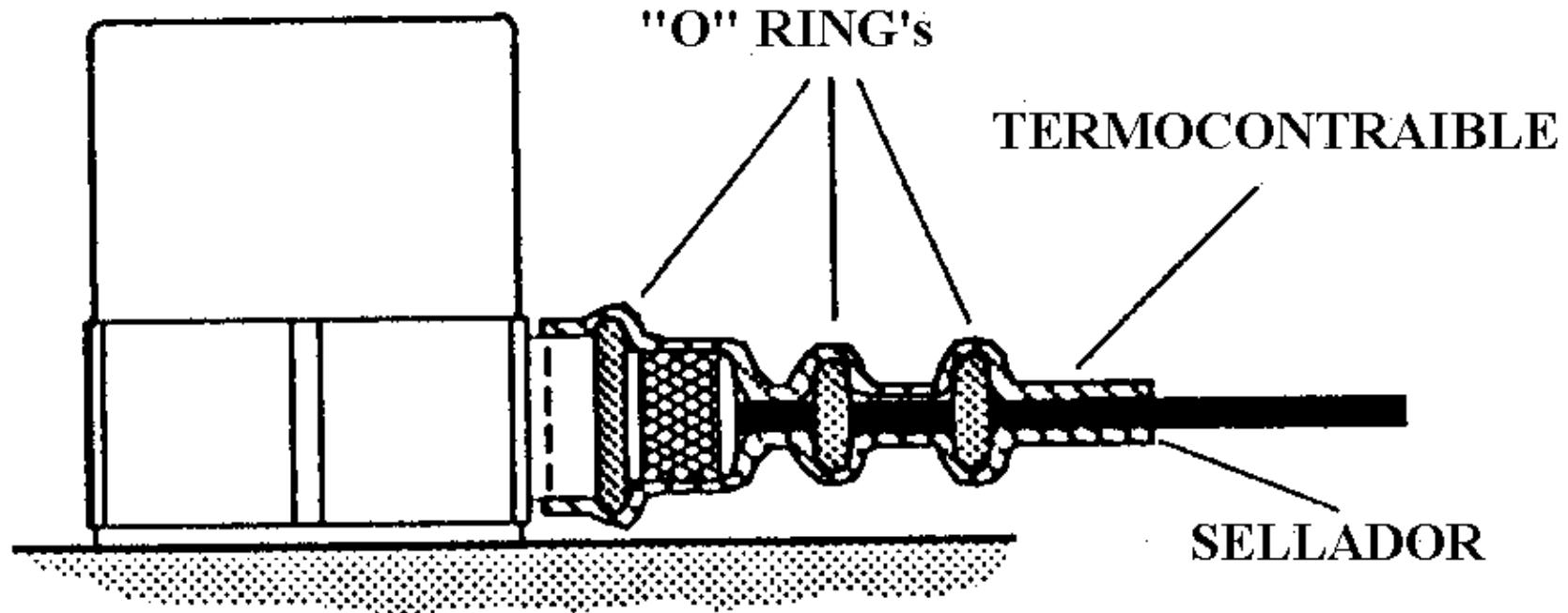
Fijación del Sensor:



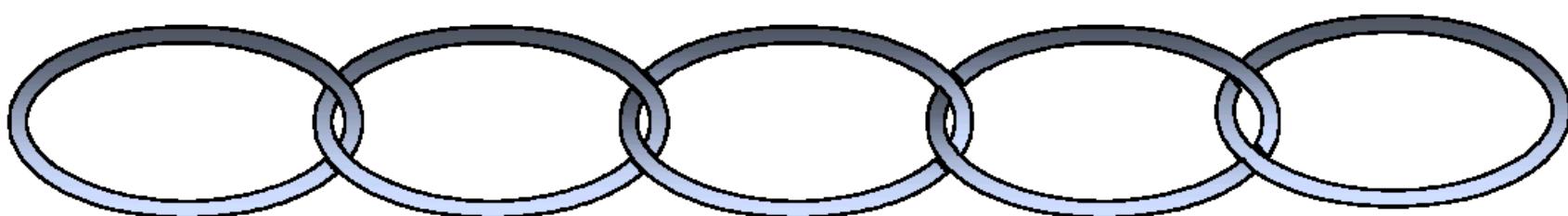
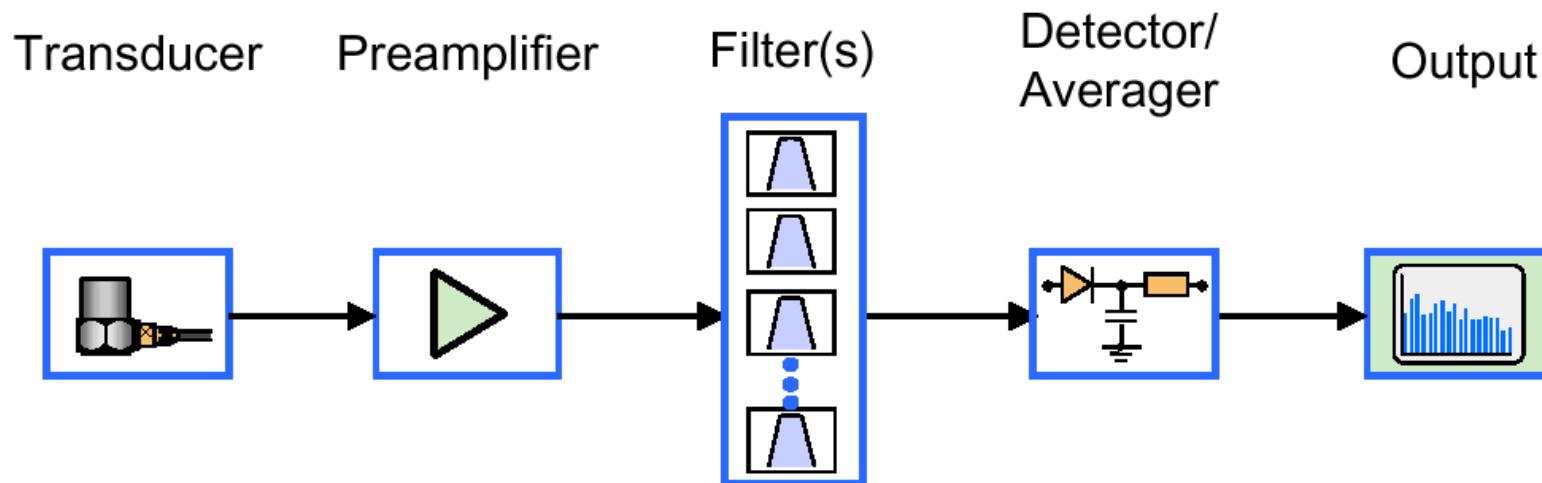
Instalación del Sensor



■ Instalación del Sensor



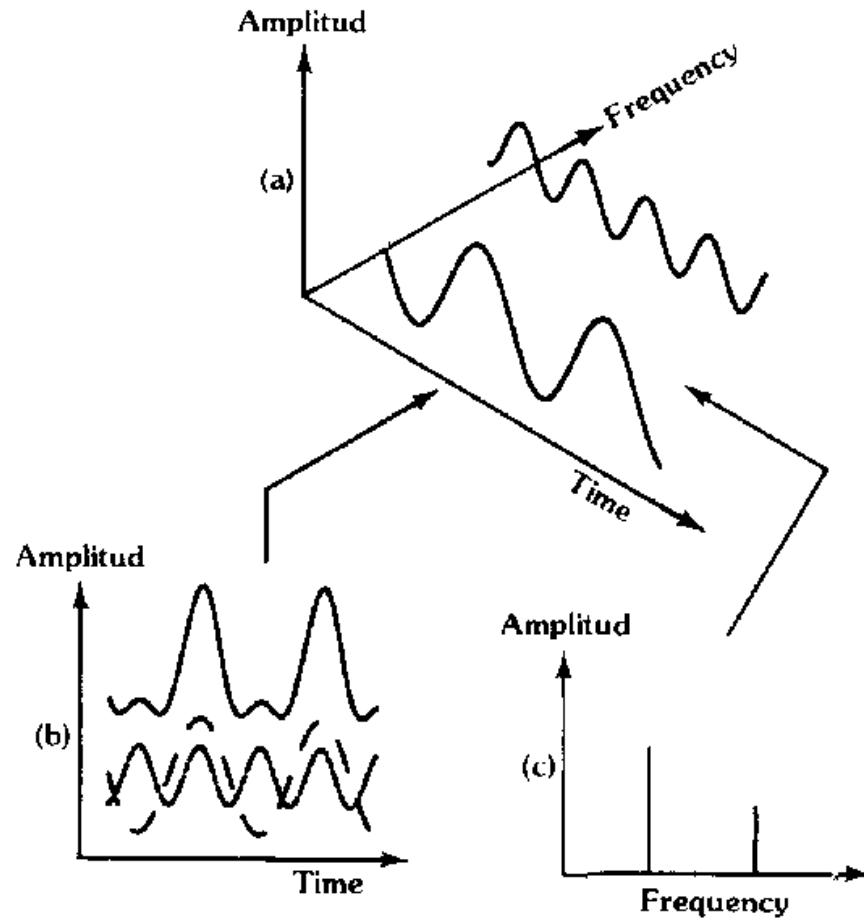
El canal de medición





ANÁLISIS DE VIBRACIONES

III ¿Cómo se analiza una señal de vibración?



III ¿Cómo se analiza una señal de vibración?

En el dominio del tiempo: amplitud de la vibración vs. tiempo.

La señal de vibración se presenta como la combinación de todas las señales sinusoidales presentes.



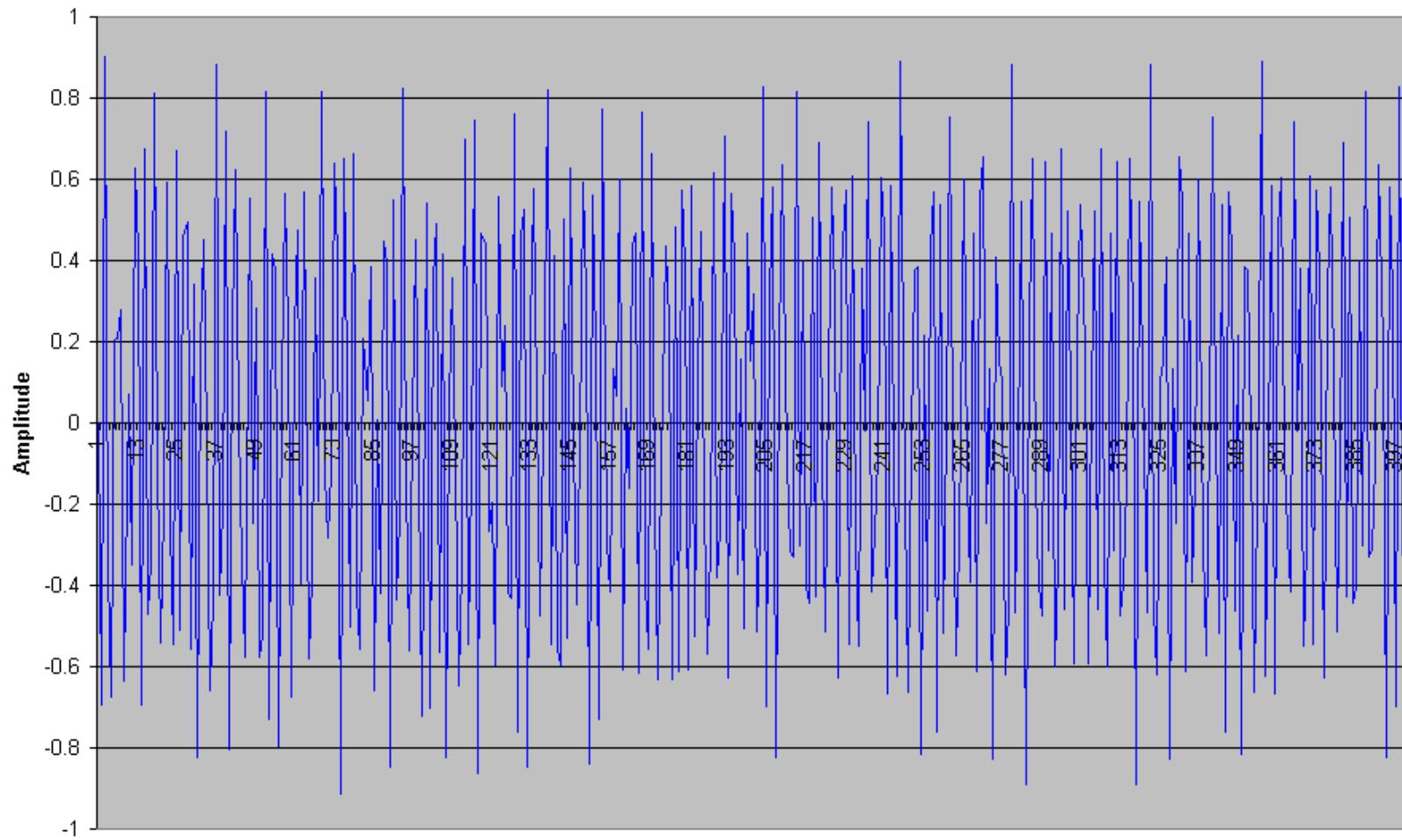
III | ¿Que registra un sensor de vibraciones?

La señal en el dominio del tiempo presentada en la figura muestra las vibraciones de un helicóptero compuesto de cuatro generadores de vibraciones: las dos palas del helicóptero, el rotor de cola y el cardan del rotor. Todas estas señales han sido captadas por el sensor, combinándolas en una única señal. Esta señal puede ser difícil de analizar.



¿Que registra un sensor de vibraciones?

Overall



III | ¿Que registra un sensor de vibraciones?

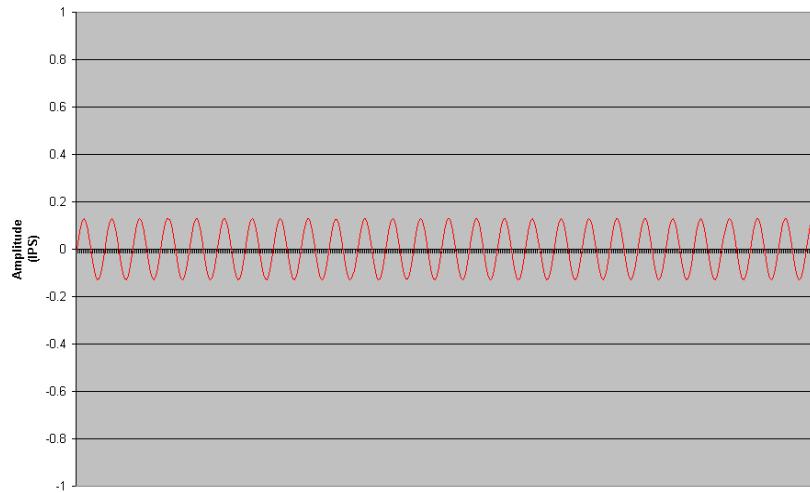
Si el sensor hubiese captado las vibraciones de cada componente, cada una de las señales se hubiesen visto de la siguiente forma.

¡Para separar las señales, se requiere una conversión!

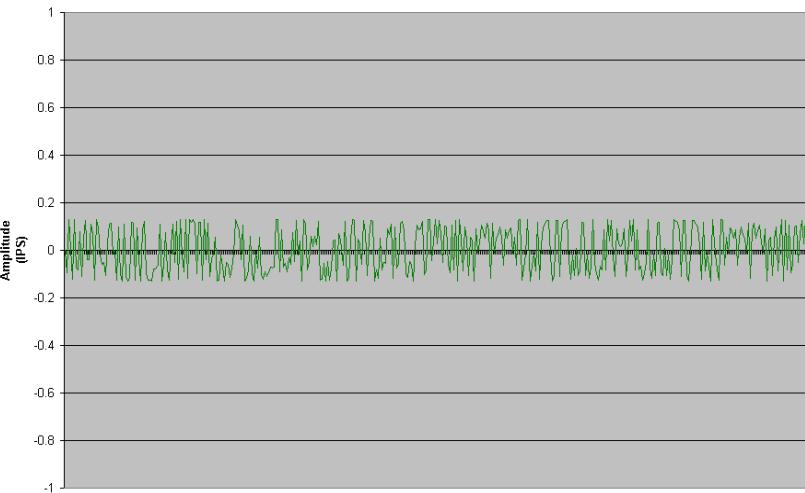


¿Que registra un sensor de vibraciones?

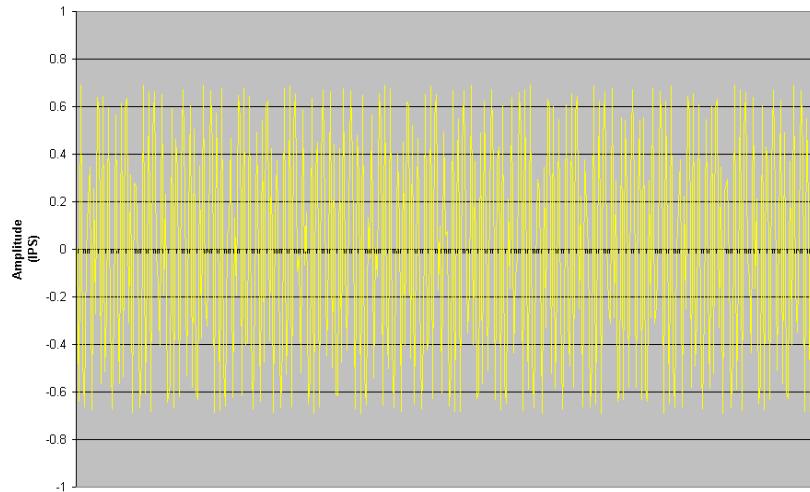
Main Rotor



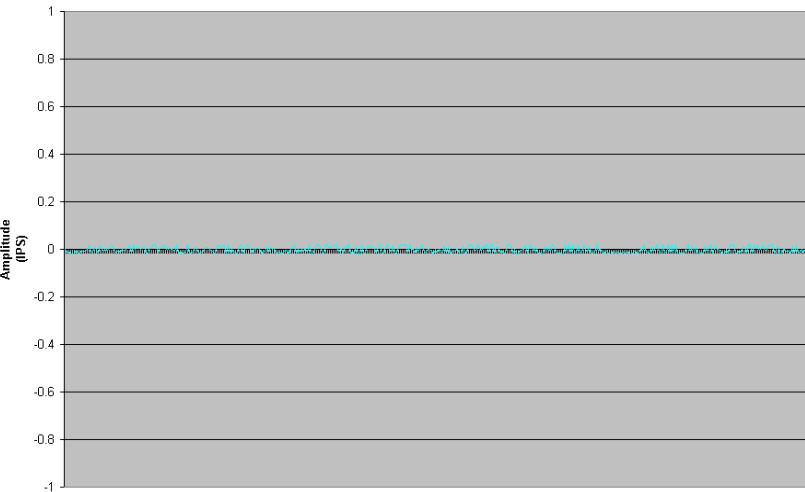
Tail Rotor



Main Rotor 2/Rev



Tail Rotor Drive



III ¿Cómo se analiza una vibración?

EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

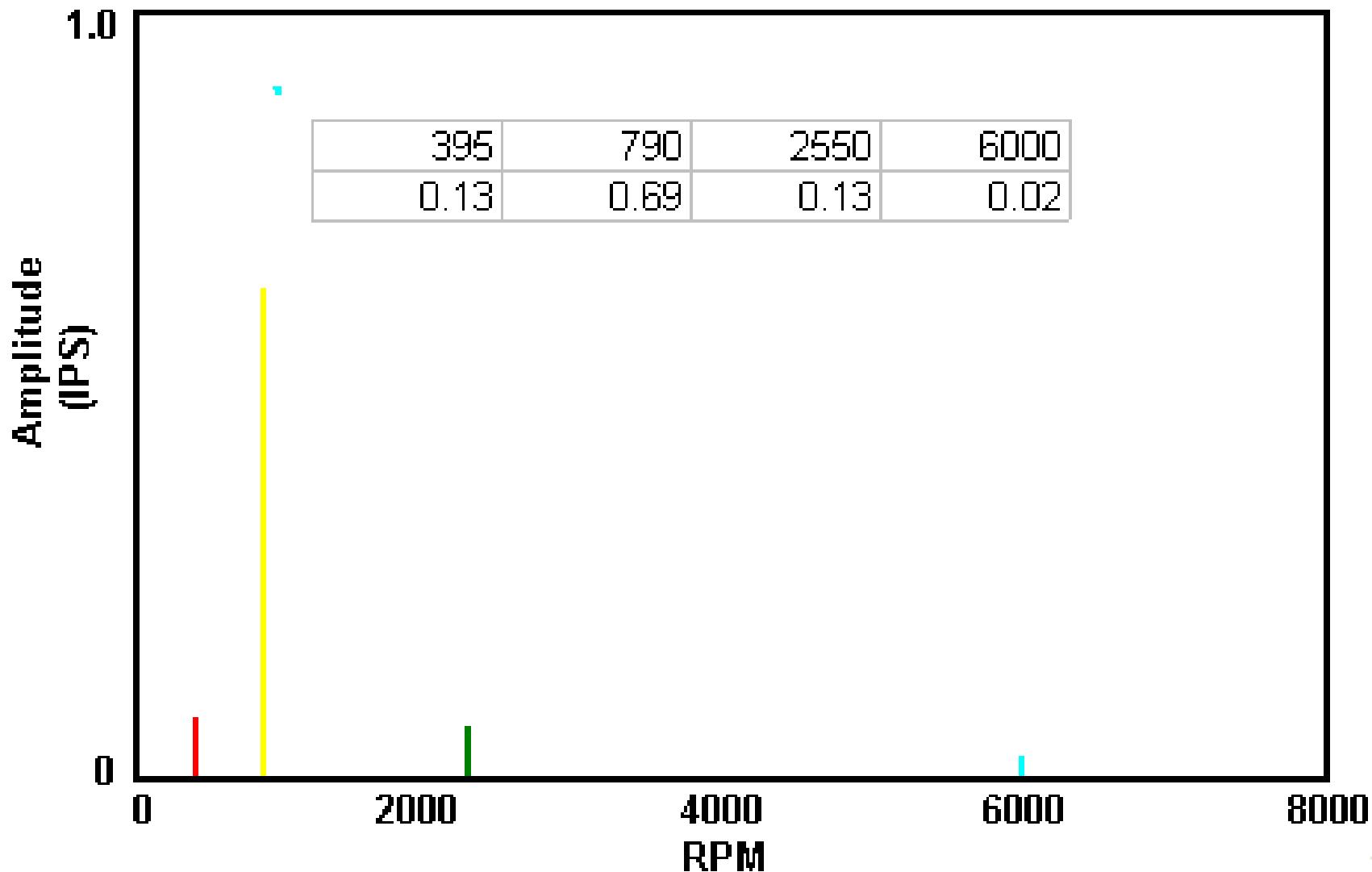
Mediante la aplicación del algoritmo de la transformada rápida de Fourier (FFT) se convierte a una señal del dominio del tiempo al DOMINIO DE FRECUENCIA. En el dominio de frecuencia, se observa cada frecuencia y amplitud.



III Espectro de frecuencias

En el espectro de frecuencias que se muestra a continuación, se identifican las cuatro componentes de la señal del helicóptero

III Espectro de frecuencias





INFORMES DE VIBRACIONES

III Tipos de informes de vibraciones

Se pueden analizar los informes de las vibraciones de distintas maneras, según las aplicaciones. Los más comunes son:

1. Vibración completa
2. Régimen estacionario
3. Transitorio
4. Sincrónico
5. Retención de picos (Peak Hold)

III Tipos de informes de vibraciones

1. Vibración completa (total):

Un análisis completo de vibraciones presenta la suma de todas las mediciones realizadas dentro de un rango de frecuencias.

Suele emplearse como una “alarma”, donde si aparecieran valores por encima de las especificaciones, se realizará un estudio más exhaustivo para determinar las posibles causas.

Tipos de informes de vibraciones

Model 2020 ProBalancer		
Overall Vibration		
	Chan A	Chan B
Current:	0.29	
Maximum:	0.69	
Samples:	970	
Units:	IPS	Peak

Reset

III Tipos de informes de vibraciones

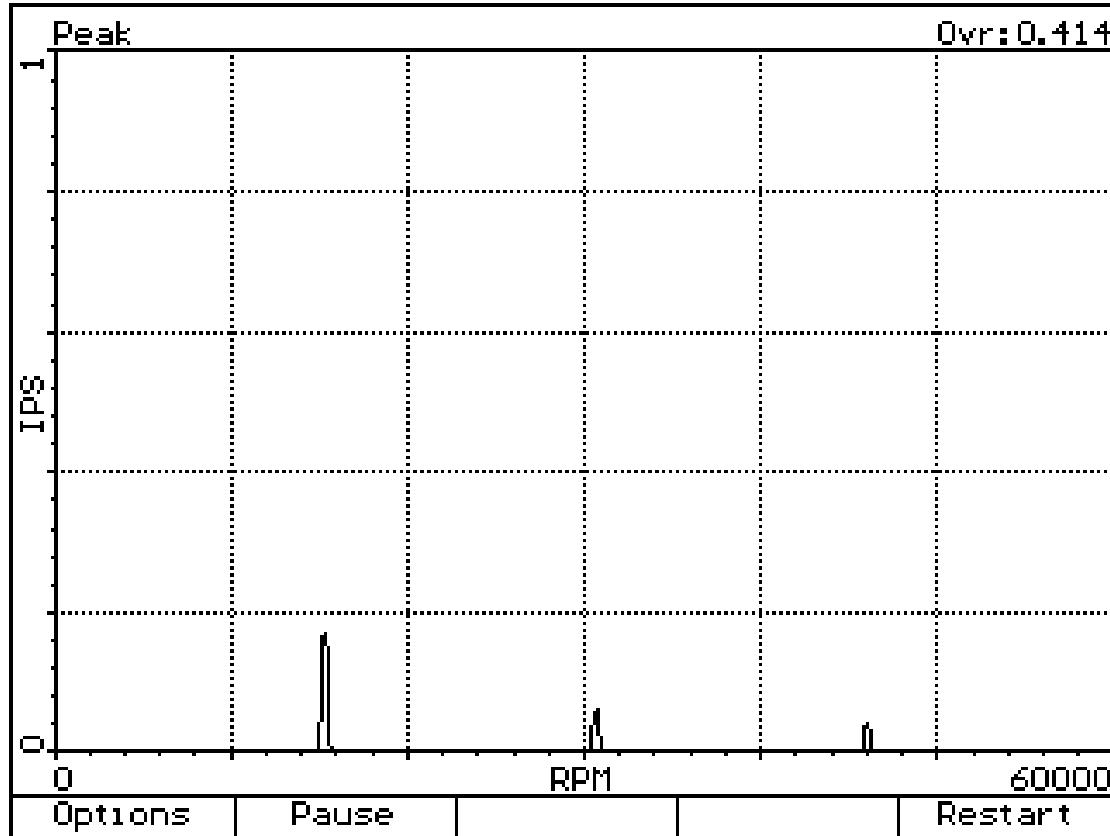
2. Régimen estacionario

El análisis del estado de régimen es utilizado para medir las vibraciones a una frecuencia operacional constante de un equipo.

A menudo se lo utiliza para determinar tendencias de las vibraciones a lo largo del tiempo



Tipos de informes de vibraciones



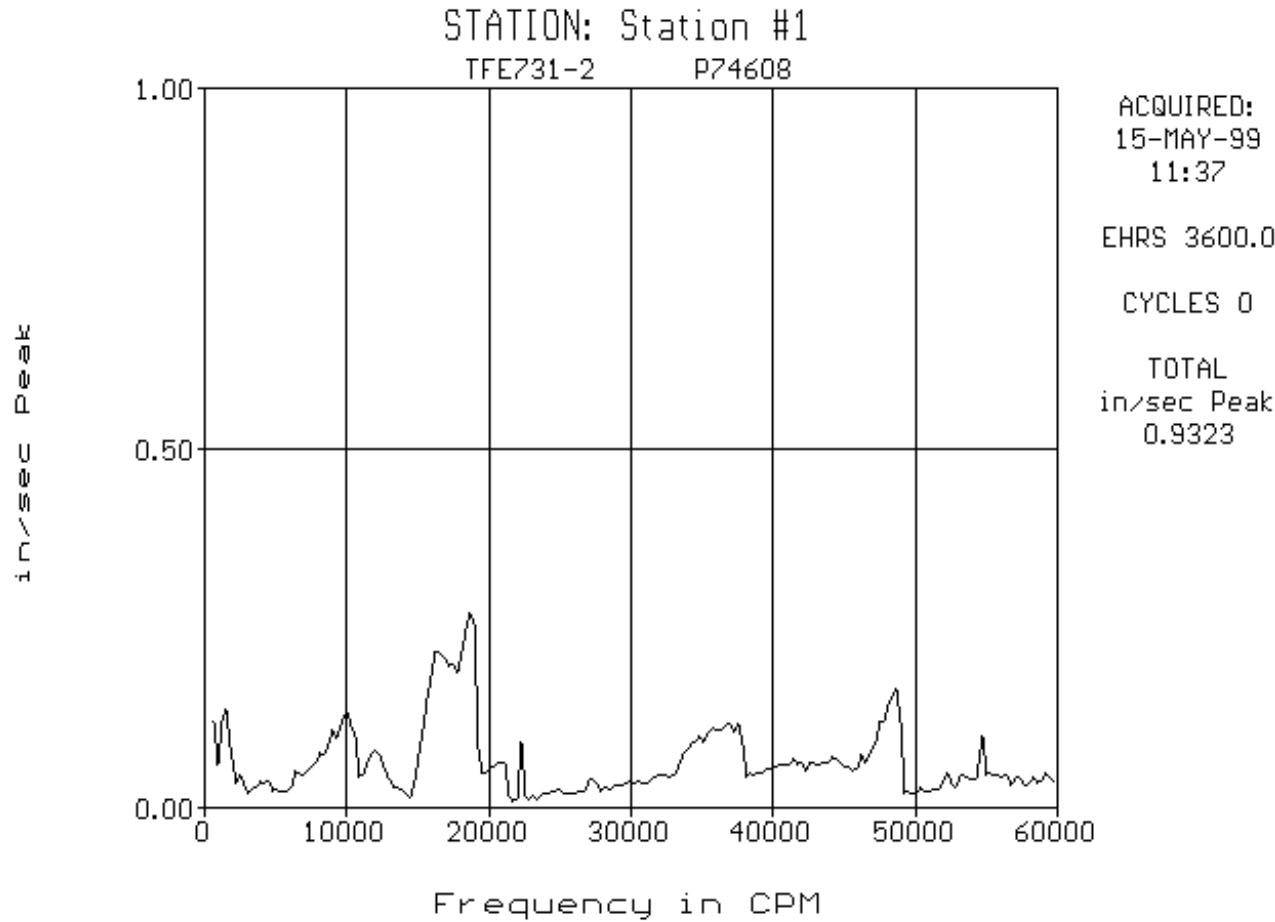
III Tipos de informes de vibraciones

3. Transitorio

Este análisis es usado a menudo para determinar la velocidad/ frecuencia a la cual se debe realizar el balanceado. También se lo emplea para identificar condiciones de operación crítica.



Tipos de informes de vibraciones



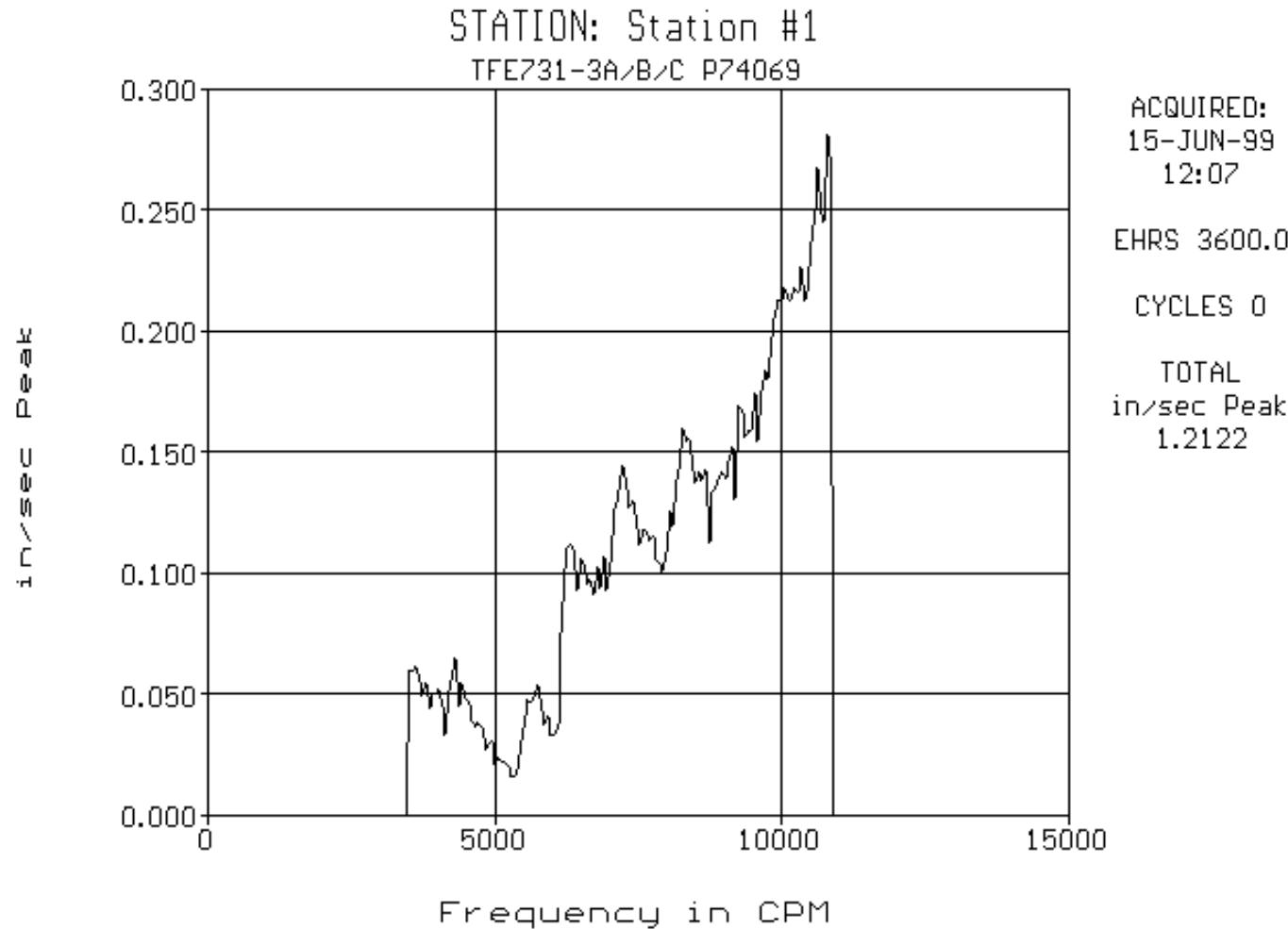
III Tipos de informes de vibraciones

4. Sincrónico

Una medición sincrónica utiliza una señal de un tacómetro y un filtro para relacionar la vibración de un eje o rotor. El filtro elimina toda vibración por arriba o por debajo de la señal del tacómetro.

Se lo utiliza para determinar la amplitud y el ángulo de fase en condiciones desbalanceadas.

Tipos de informes de vibraciones



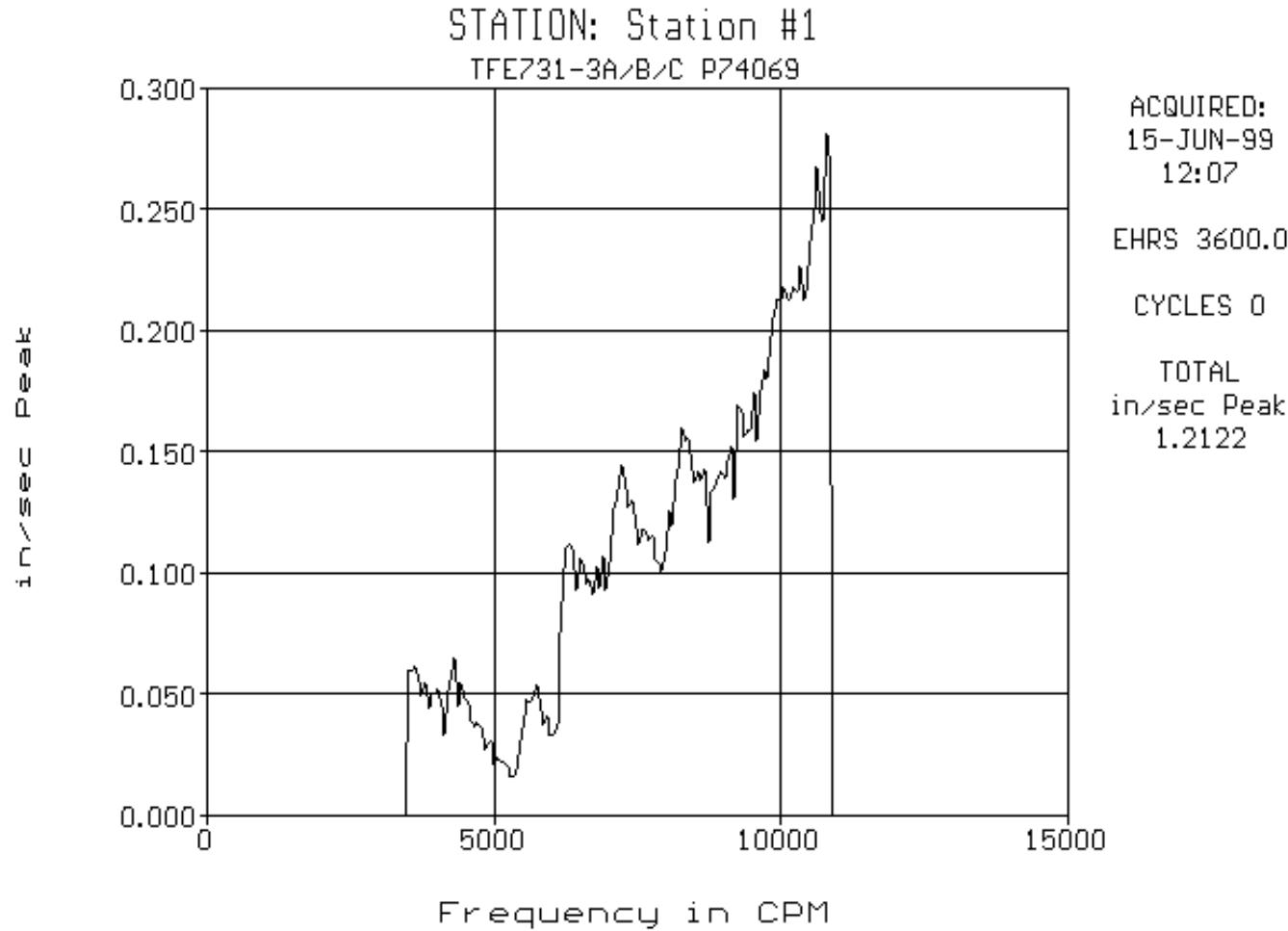
III Tipos de informes de vibraciones

5. Peak Hold

El análisis de los picos consiste en capturar los valores máximos de amplitud para cada frecuencia.



Tipos de informes de vibraciones





INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

III Interpretación de vibraciones

Defina el rango de frecuencias de interés.

Identifique las frecuencias componentes.

Diagrama de frecuencias

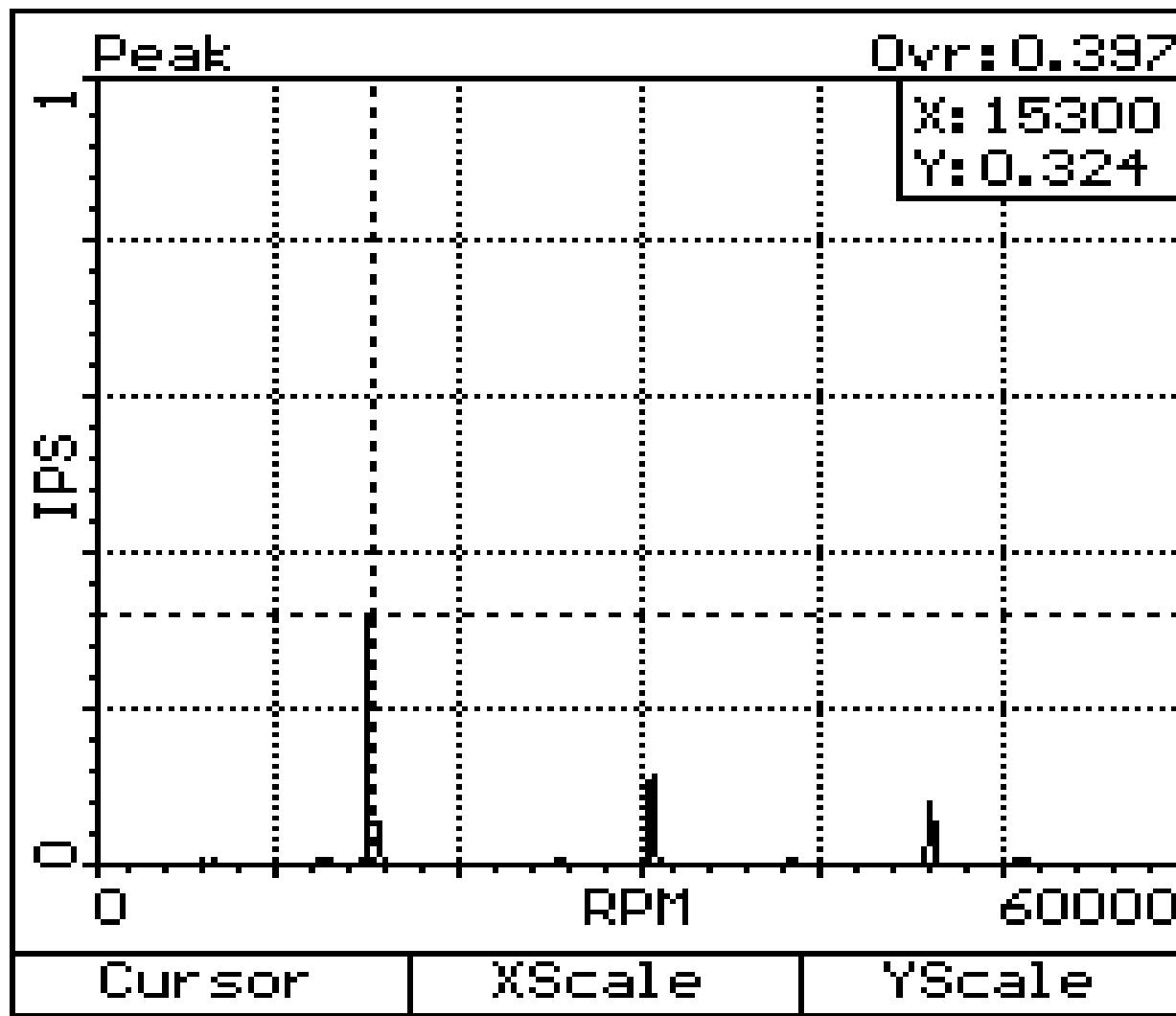
En algunos casos tales como en una caja de engranajes, se debe tener en cuenta las distintas relaciones de velocidades que pueden ocasionar vibraciones de distintas frecuencias.

III Interpretación de vibraciones

Los equipos modernos digitales permiten identificar las frecuencias dentro de un espectro con la ayuda de un cursor. Se posiciona el cursor sobre el pico que se desea analizar. Se mostrará la frecuencia y la amplitud. En el ejemplo, la frecuencia es 15000 RPM y la amplitud es 0.324 IPS.



Interpretación de vibraciones



III Interpretación de vibraciones

Normas aplicables al realizar medición de vibraciones



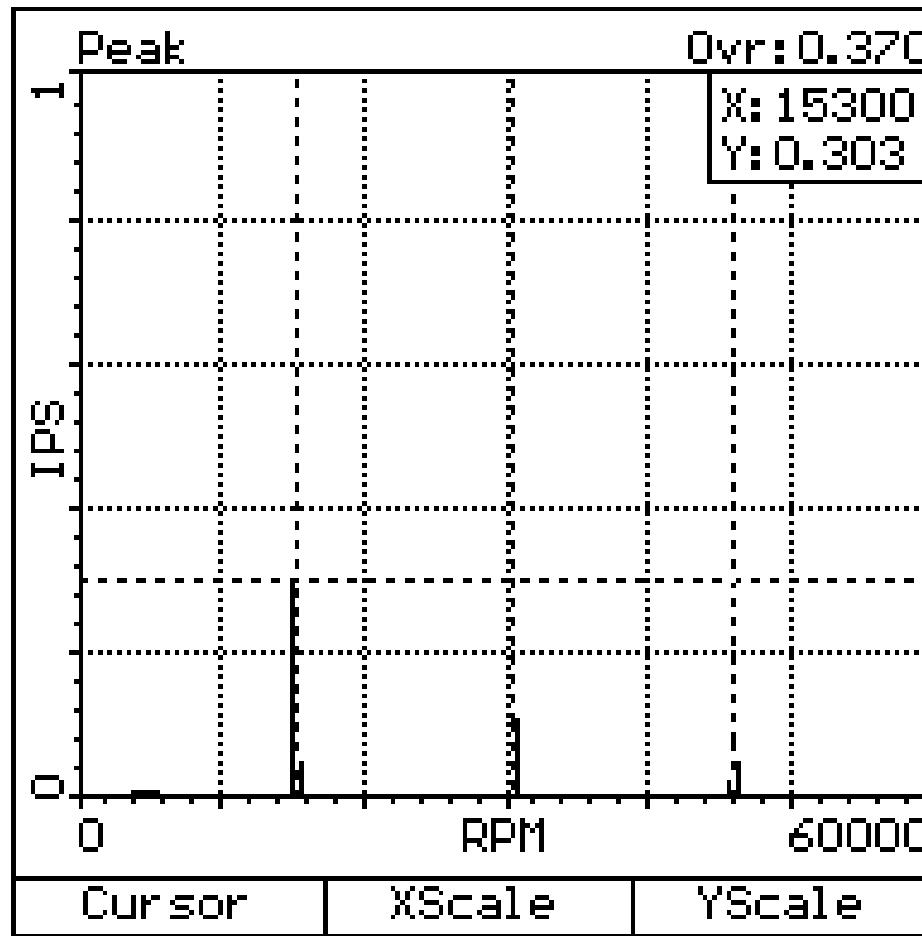
SEVERIDAD DE LA VIBRACION ⁽¹⁾		RANGO Y LIMITES DE VELOCIDAD - CLASES DE MAQUINAS NORMA ISO STD. 2372 1974			
Vrms (mm/s)	Vpeak (in/s)	Clase S	Clase M	Clase L	Clase XL
32,32	1,8				
20,29	1,13				
12,75	0,71				INACEPTABLE
8,08	0,45				
5,03	0,28				
3,23	0,18			PERMISIBLE	
1,97	0,11				
1,27	0,071			SATISFACTORIO	
0,81	0,045				
0,50	0,028			EXCELENTE	Grandes Máquinas con soportes flexibles y con Fn < RPM (Ejem. Turbo máquinas).
0,32	0,018	Máquinas Pequeñas hasta 15 Kw	Máquinas Medianas 15 -75 Kw o hasta 300 Kw con Fundación Especial	Grandes Máquinas con fundación rígida y Pesada. Fn > RPM	
0,20	0,011				
0,13	0,007				

(1) Se define como Severidad de Vibración al máximo valor de la velocidad de vibración medido como valor Pico o RMS (raíz de la media cuadrática) sobre un punto significativo de la máquina tal como cojinetes o puntos de montaje.

III Interpretación de vibraciones

Usando el mismo ejemplo anterior, se pueden identificar las armónicas con la opción del cursor de armónicas. Cuando se activa esta opción, se posicionará un nuevo cursor en cada una de las armónicas

Interpretación de vibraciones

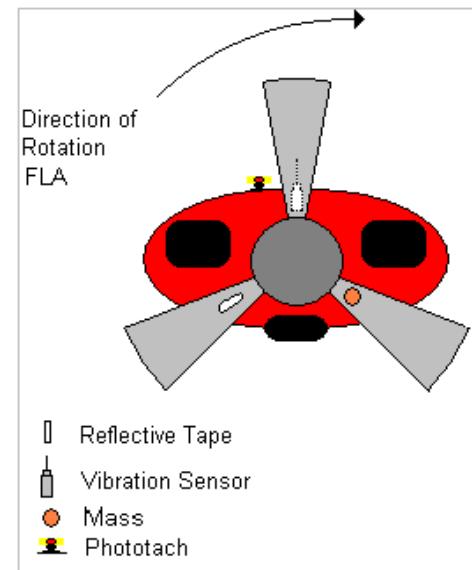




FUNDAMENTOS DE BALANCEO

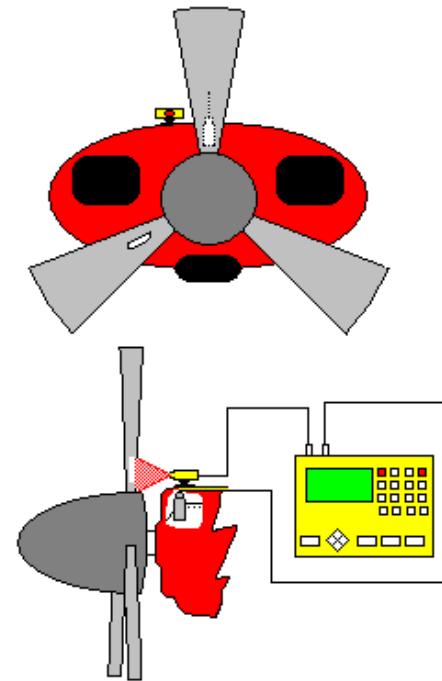
Fundamentos del balanceado: Recolección y procesamiento de datos

► Se instala el sensor de vibraciones sobre el motor, tan cerca del frente como sea posible. Se monta una foto tacómetro sobre sobre el capot, detrás de la hélice. La cinta reflectiva se aplica sobre la parte posterior de la hélice, en línea con el haz de la foto tacómetro. La masa se lo ubica de manera de balancear a la hélice.



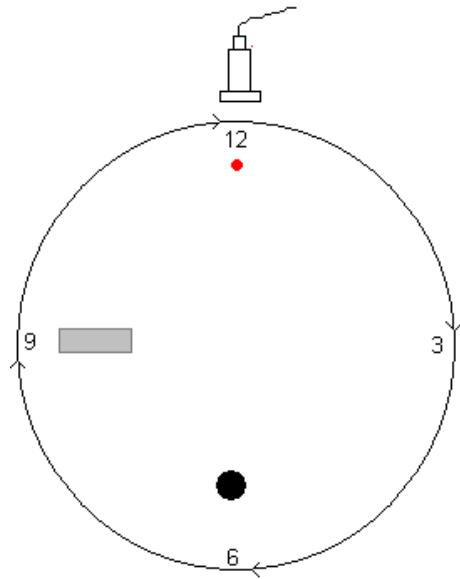
Fundamentos del balanceado: Recolección y procesamiento de datos

En cuanto la masa adherida a la hélice pasa por la ubicación del sensor de vibración, se generará un pulso que es enviada al analizador. La cinta reflectiva dispara una señal cuando pasa frente al foto tacómetro, enviando una señal al analizador.



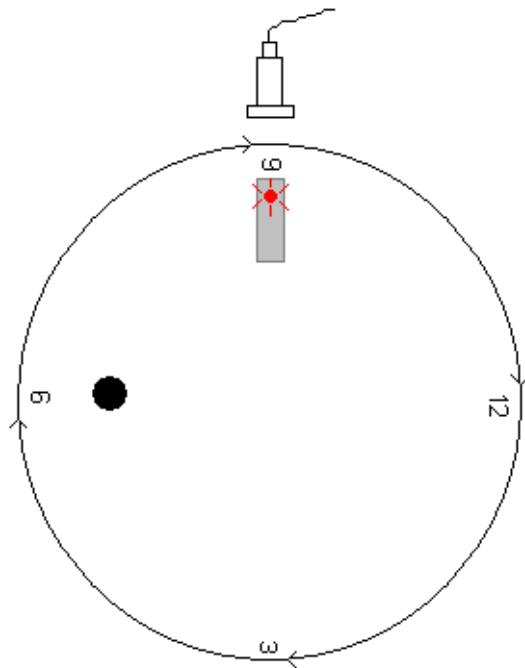
Fundamentos del balanceado: Recolección y procesamiento de datos

En esta figura, el sensor de vibración y la foto tacómetro están instalados en la posición 12:00 o 0 grados. El sentido de giro es horario para el observador. Este es el punto de inicio, Tiempo transcurrido = 0



Fundamentos del balanceado: Recolección y procesamiento de datos

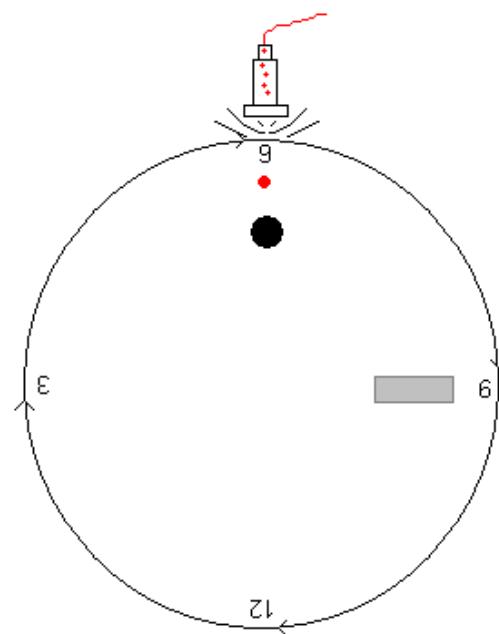
La velocidad es de 1 RPM. Ha rotado 90 grados. En este instante, la cinta reflectiva pasa frente del haz y emite un pulso. Tiempo transcurrido = 15 segundos.



Fundamentos del balanceado : Recolección y procesamiento de datos

En esta secuencia, la masa está pasando por la ubicación del acelerómetro, 90 grados después que la cinta, emitiendo la señal correspondiente

Tiempo transcurrido = 15 segundos (90 grados).

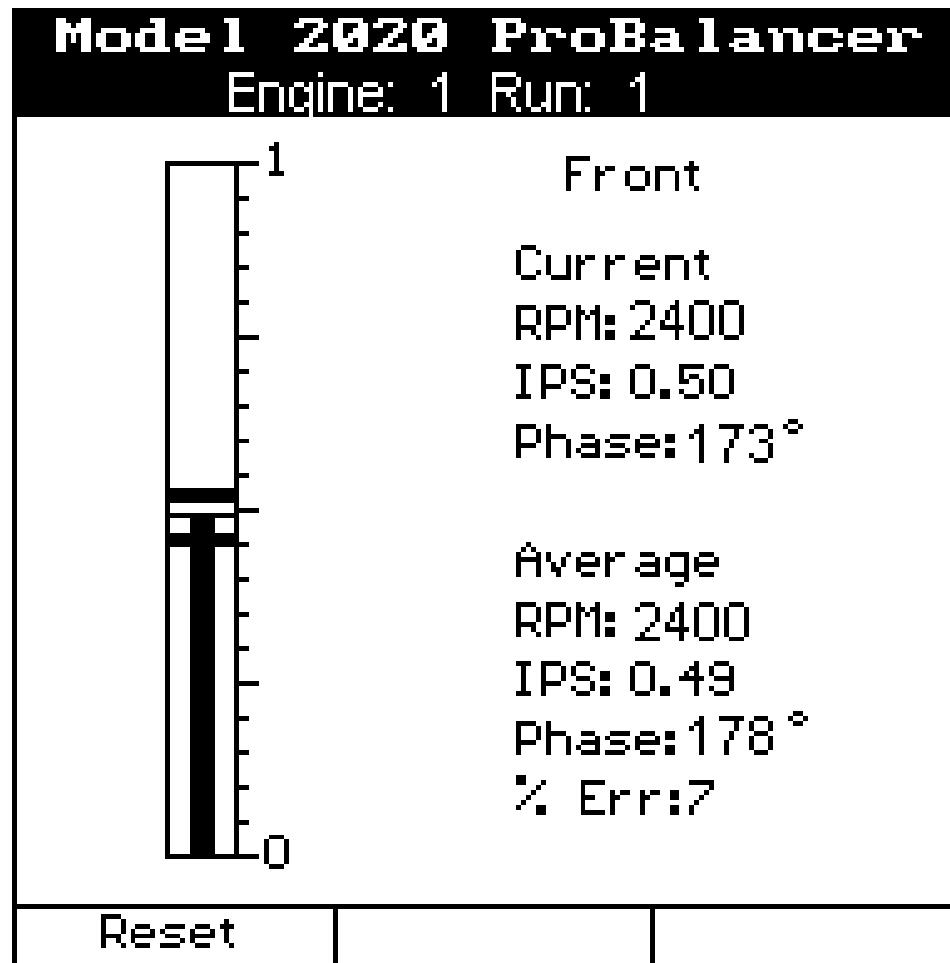


■ Fundamentos del balanceado : Recolección y procesamiento de datos

El proceso se repite, agregando la masa necesaria según lo que se necesite para disminuir las vibraciones al mínimo



Fundamentos del balanceado : Recolección y procesamiento de datos





MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Mantenimiento predictivo

- Defina Intervalo
 - ¿Cuán a menudo se requiere adquirir datos?
- Defina las especificaciones
 - ¿Cuáles son las componentes e interés?
- Seleccione el equipo
 - Rango de frecuencias
 - Software
 - Costo
- Implemente el programa
- Evalúe el programa



FABRICANTES

III Principales fabricantes:

Baker Hughes Company (US),

Endevco

TE Connectivity (Switzerland),

SKF (Sweden),

Honeywell International Inc. (US),

Emerson Electric Co. (US),

Robert Bosch (Germany),

NXP Semiconductors (Switzerland)

III Principales fabricantes:

Omron Corp. (Japan),

Rockwell Automation Inc. (US),

National Instruments (US),

Dytran Instruments, Inc

KEYENCE Corp. (Japan),

Fluke Corp. (US),

Wilcoxon Sensing Technologies (US),

PCB Piezotronics (US), y SPM instrument (Sweden)



BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS

- Francis S. Tse and Ivan E. Morse, *Measurement and Instrumentation in Engineering* (New York, Marcel Dekker, INC., 1989), 398-415.
- W. Göpel, J. Hesse, and J.N. Zemel, *SENSORS A Comprehensive Survey* (New York, VCH Publishers INC., 1989), 565.
- <http://www.kistler.com>
- David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, *Fundamentals of Physics* (New York, John Wiley & Sons, INC., 1997), 17-24.

||| Sitios de Internet

<https://www.youtube.com/watch?v=j1yht2qWJjM>

<https://www.youtube.com/watch?v=rN52mg1PVr4>

<https://www.youtube.com/watch?v=pHFXkkurdhw>

III Tareas

Aprenda los conceptos

Realice una búsqueda por Internet de aplicaciones de los T. de vibraciones, fundamentalmente relacionadas con Ing. Biomédica

Realice una tabla con los sitios encontrados que resulten de interés

Envíelo por correo electrónico a:

ladislao.mathe@unc.edu.ar