



# TRANSDUCTORES Y SENSORES 2021

Ing. Biomédica  
Ing. Electrónica

## Unidad IX : VIBRACIONES



FCEFN - UNC - Ing. Gabriel Gómez (ggomez@unc.edu.ar)



# 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

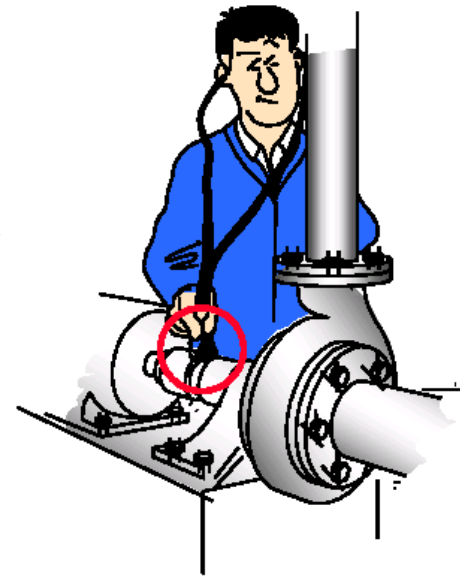
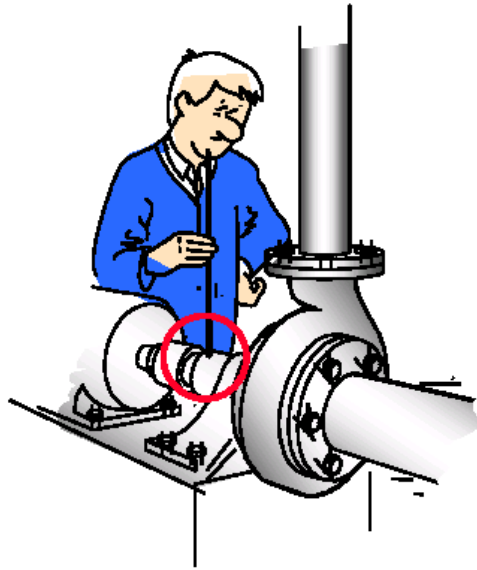
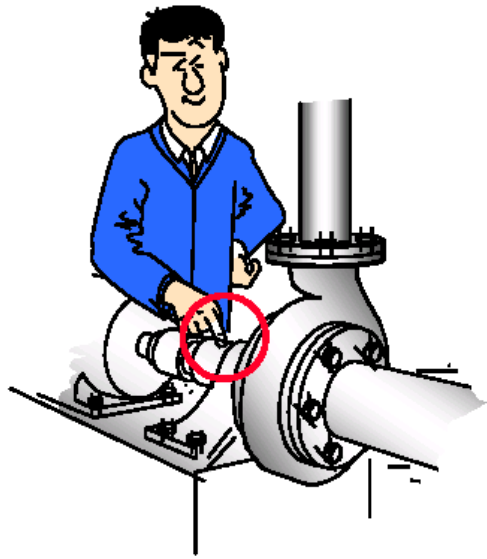
Principales fabricantes

Bibliografía



# CONCEPTOS Y DEFINICIONES

# Primeros métodos para “medir” vibraciones





# ¿Qué es una vibración?

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



# ■ ¿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.

# 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***

# Terminología

**Desplazamiento**  $y = A \sin(2\pi f)t$

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

**Aceleración**  $a = -(4\pi^2 f^2)A \sin(2\pi f)t$

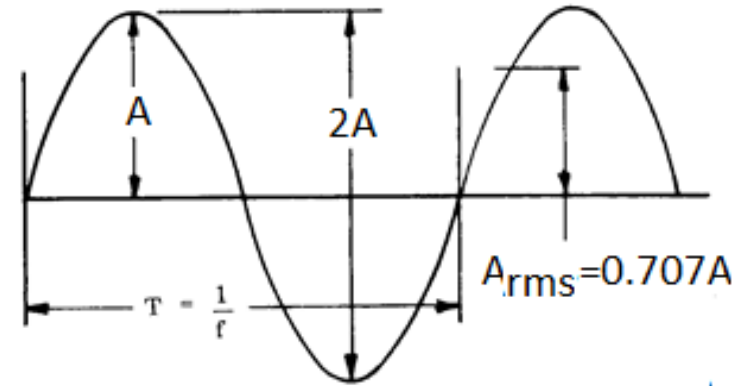
**En valores de G**  $g = \frac{-4\pi^2 f^2 A}{G} \sin(2\pi f)t$

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/seg<sup>2</sup>]

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





# 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

# 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

# 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.

# Terminología

## Aceleración

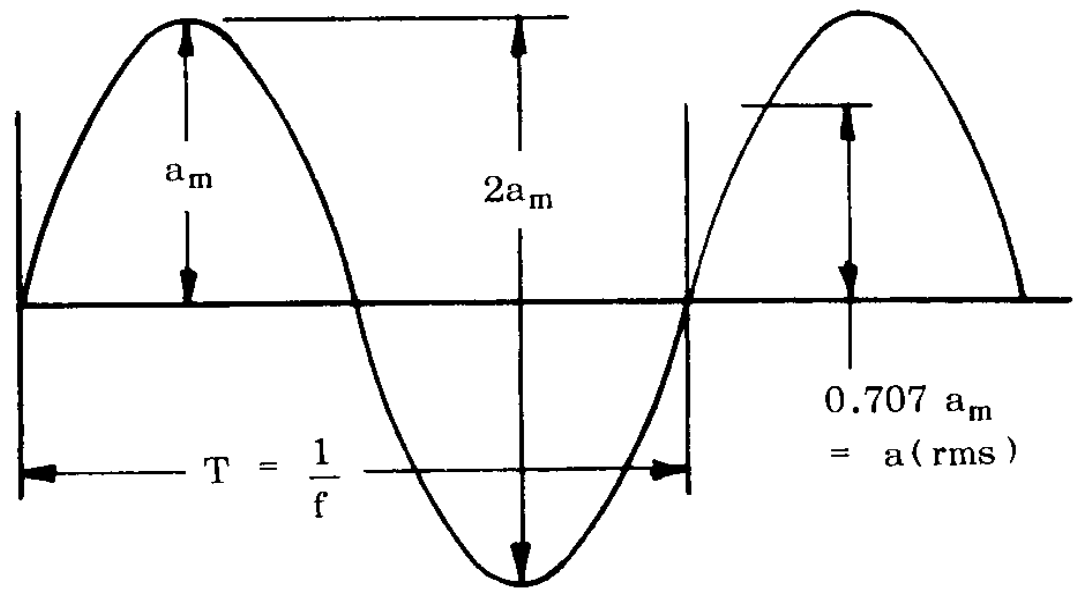
- La aceleración es el ritmo de variación de la velocidad y es la medición de la fuerza que es producida.
- Las unidades podrán ser mm/seg<sup>2</sup>
- La aceleración es expresada en fuerzas gravitacionales o "G's", ( $1G = 9,81 \text{ m/seg}^2$  o  $32,17 \text{ ft/seg}^2$ )

# 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.

# 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,  $1 \text{ Hz} = 1 \text{ Ciclo por segundo}$

# Terminología

## **Categorías de la vibración**

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

- **Periódica**
- **Aleatoria (Random)**
- **Resonancia**
- **Armónica**



# 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.

# 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.

# 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.

# Terminología

## Armónica

Las vibraciones armónicas son múltiplos exactos de la frecuencia fundamental.

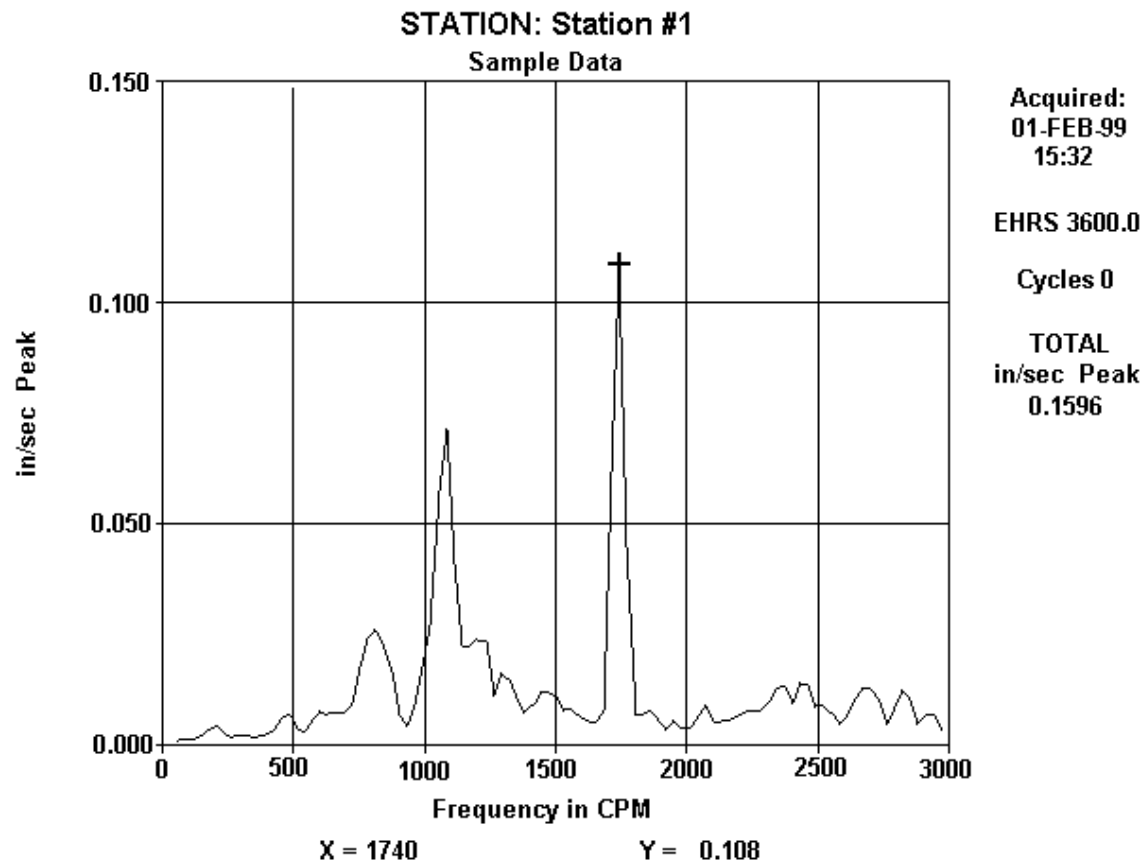
Se las clasifica como 1a armónica, 2da, etc.

## ■ 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.

# Ancho de banda

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



# ■ Para qué medir vibraciones

Mantenimiento preventivo

Mantenimiento predictivo

Ruidos

Balanceado de ejes en rotación

Salud y seguridad en el trabajo

....



# PRINCIPALES TECNOLOGÍAS



# 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**



# 1. Sensores de desplazamiento:

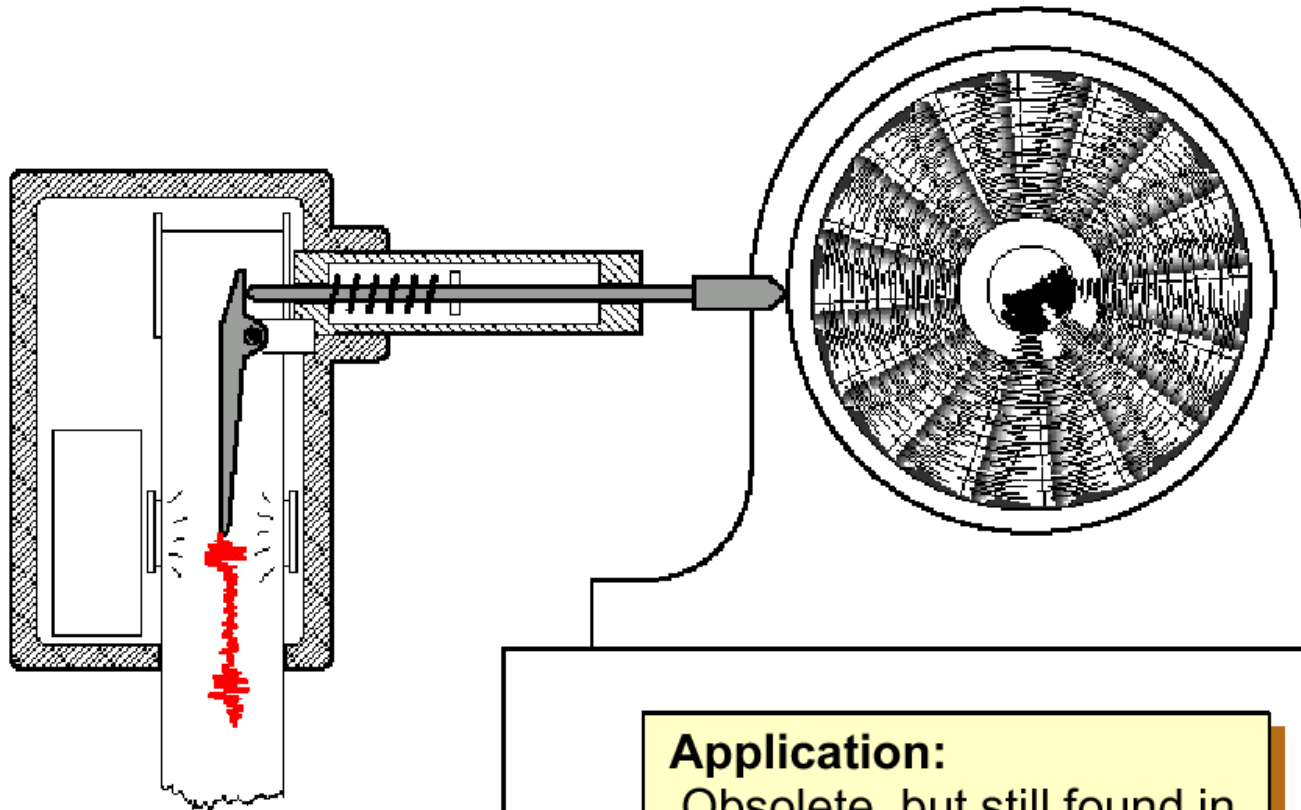
## **Sensores de desplazamiento**

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



## 1. Desplazamiento sin contacto :Vibrómetro láser

Sensor de desplazamiento láser.

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



## 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.

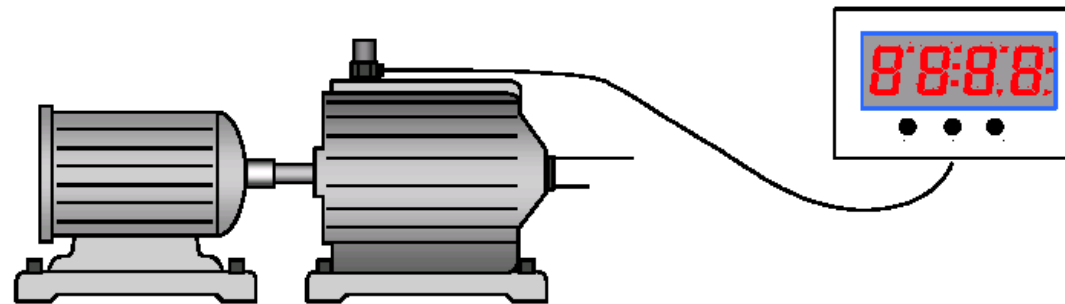
### 3. Sensores de aceleración:

#### **Acelerómetros**

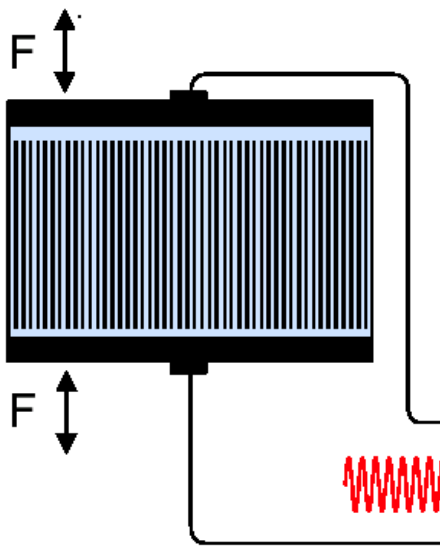
Miden la magnitud de la variación de la velocidad por unidad de tiempo. La unidad empleada suele ser el mm/s<sup>2</sup> o inch/sec<sup>2</sup> o en valores de G

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

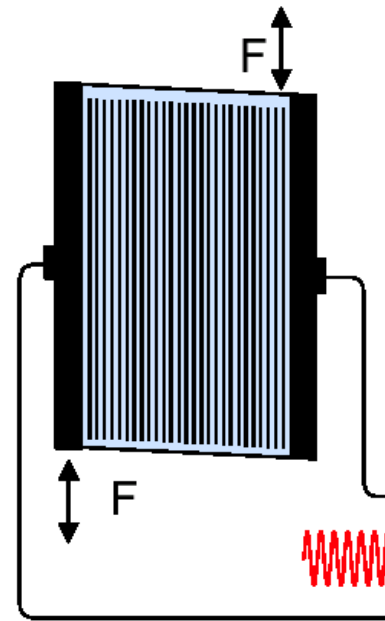
# || Acelerómetro piezoeléctrico



Principles of operation

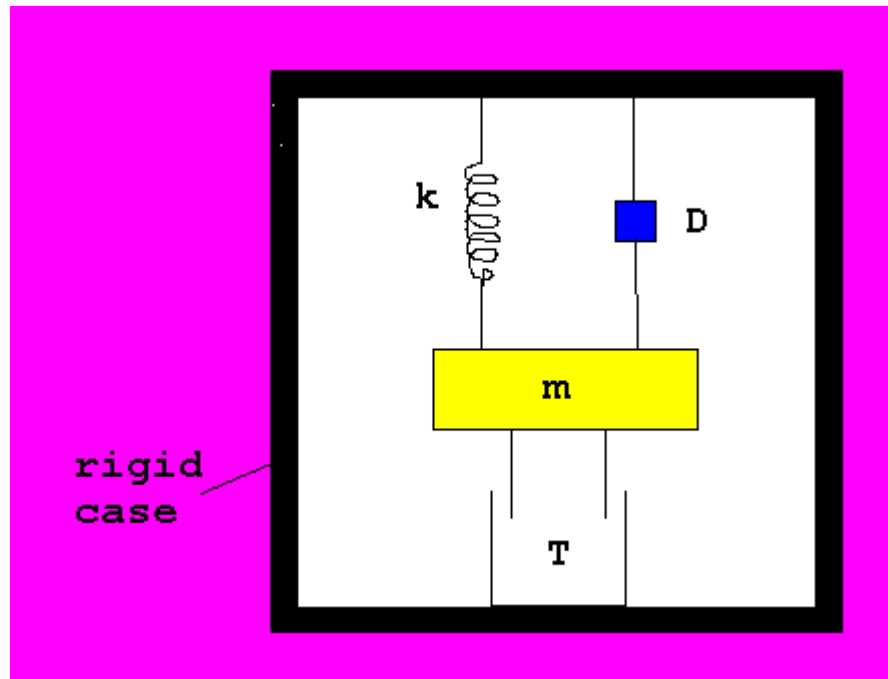


$$V \text{ [mV]} \propto F$$
$$Q \text{ [pC]} \propto F$$



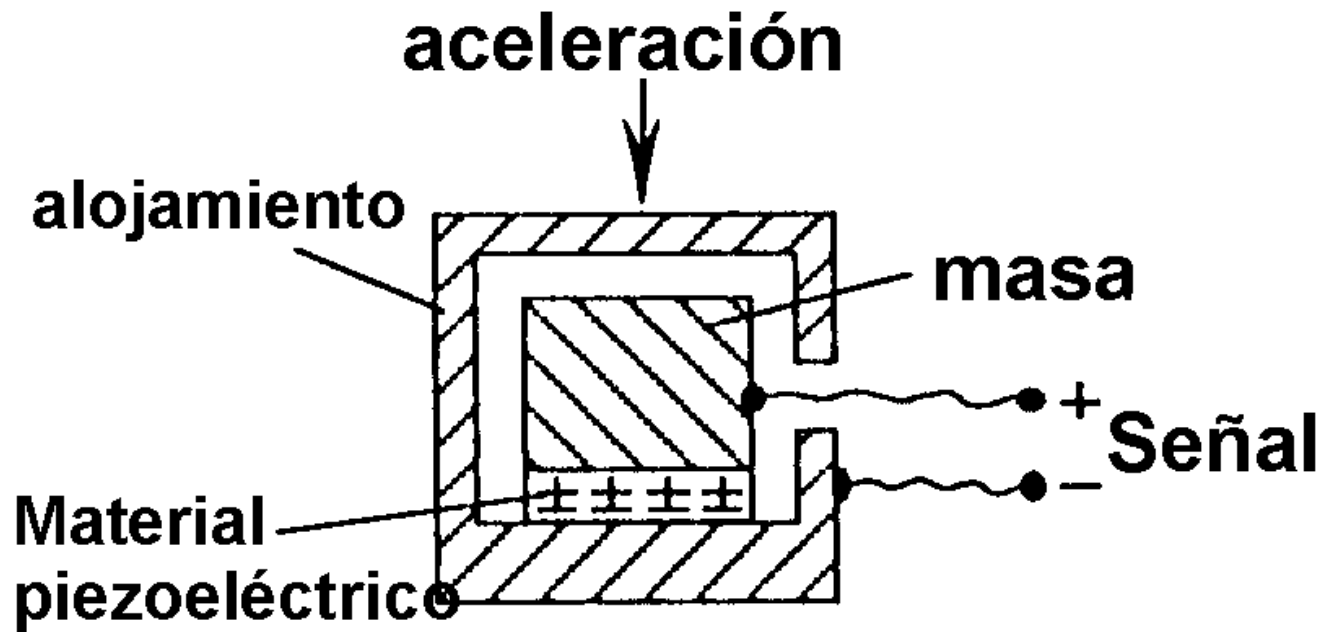
$$V \text{ [mV]} \propto F$$
$$Q \text{ [pC]} \propto F$$

# || ACELERÓMETRO BÁSICO

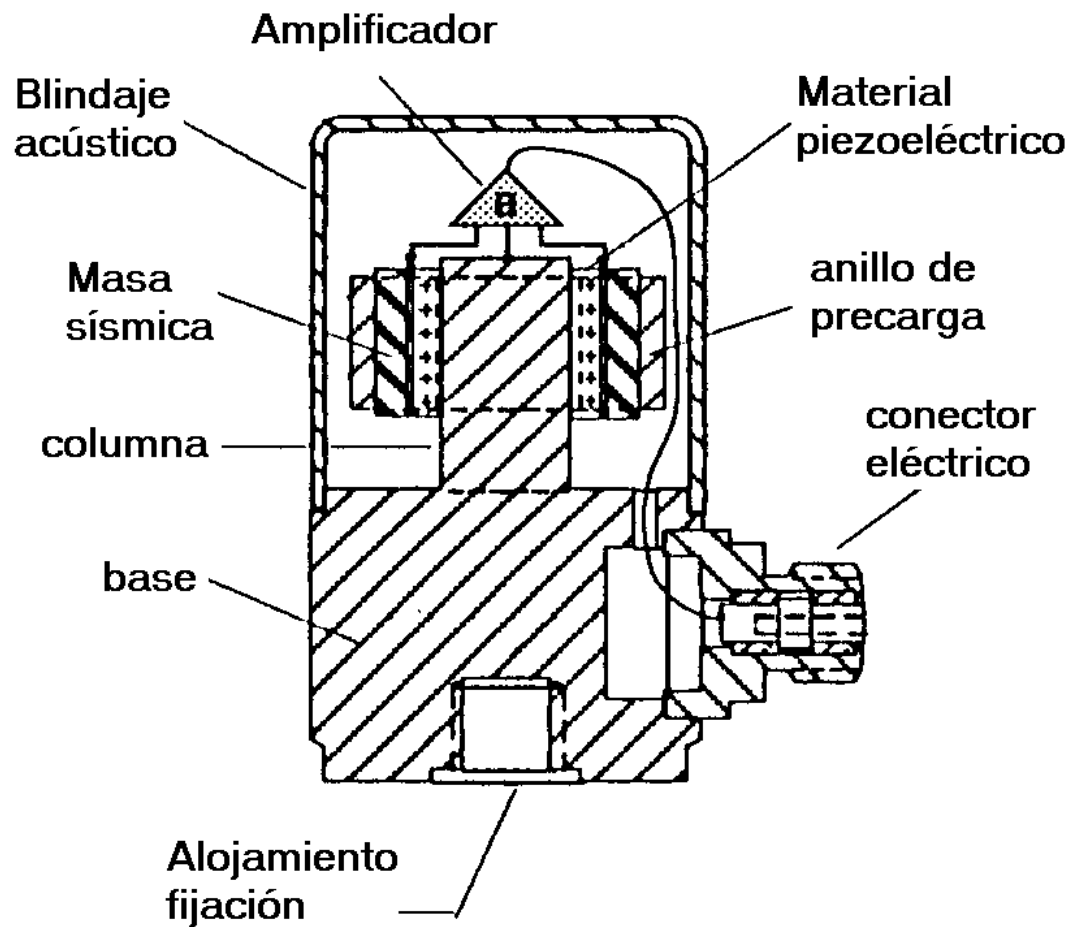




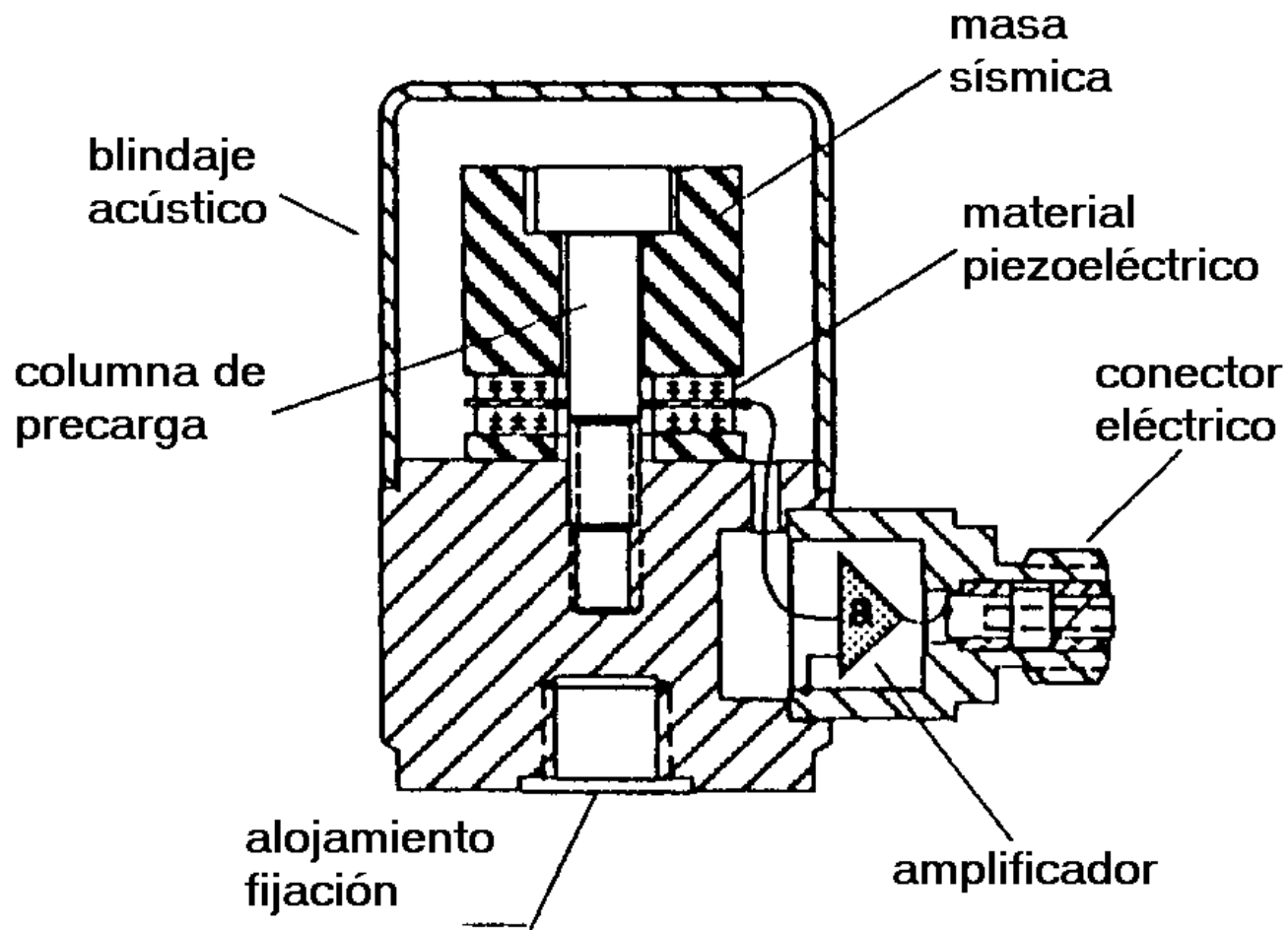
# || ACELERÓMETRO BÁSICO



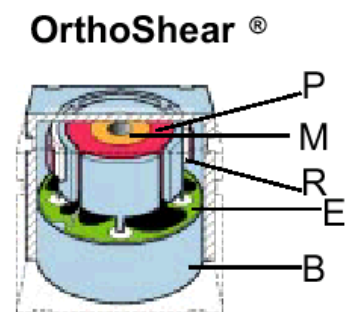
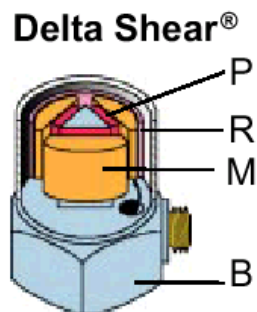
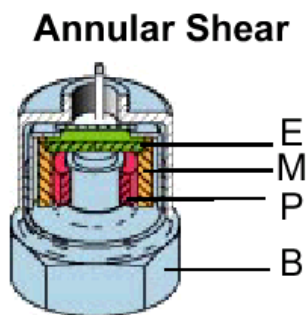
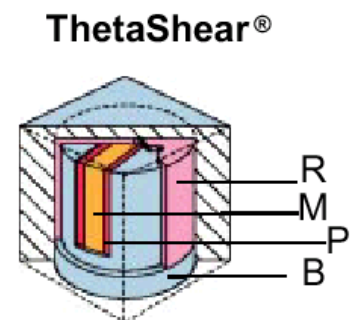
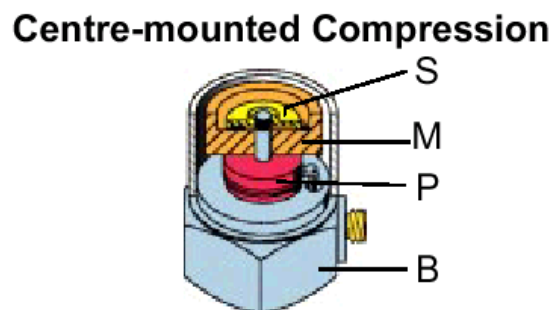
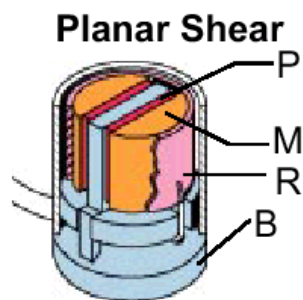
# || Acelerómetro tipo de corte



# || Acelerómetro tipo compresión



# Tipos de A. piezoeléctricos



**P: Piezoelectric Elements**

**E: Built-in Electronics**

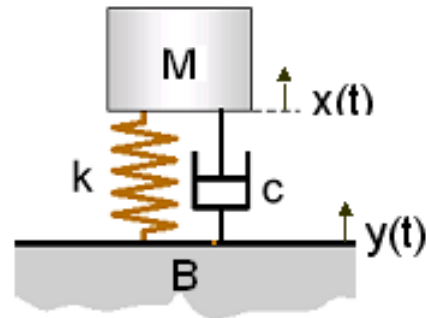
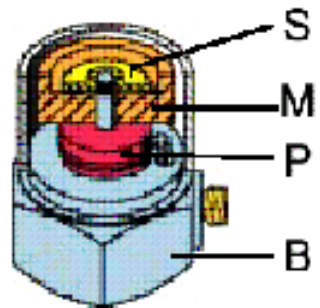
**S: Spring**

**R: Clamping Ring**

**B: Base**

**M: Seismic Mass**

# Sensor "sísmico"



$$k = k_P + k_S$$

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

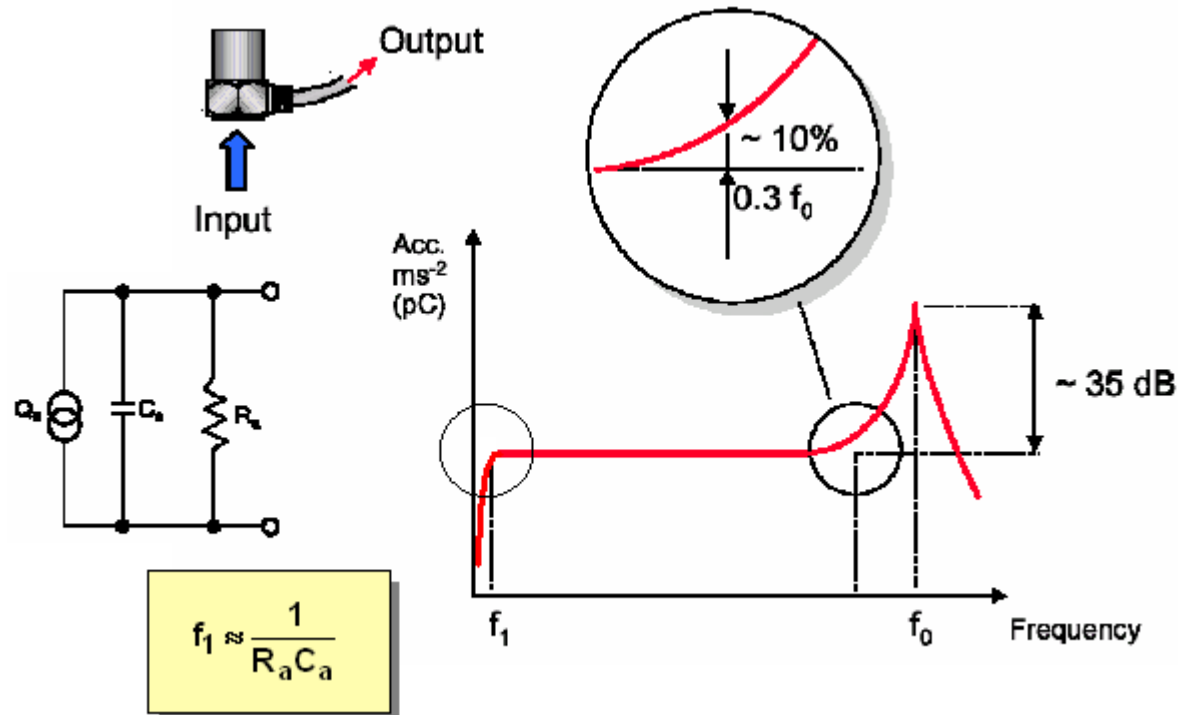
$$F_P(\omega) = k_P(Y(\omega) - X(\omega))$$

$$M\ddot{x}(t) = k(y(t) - x(t)) + c(\dot{y}(t) - \dot{x}(t))$$

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

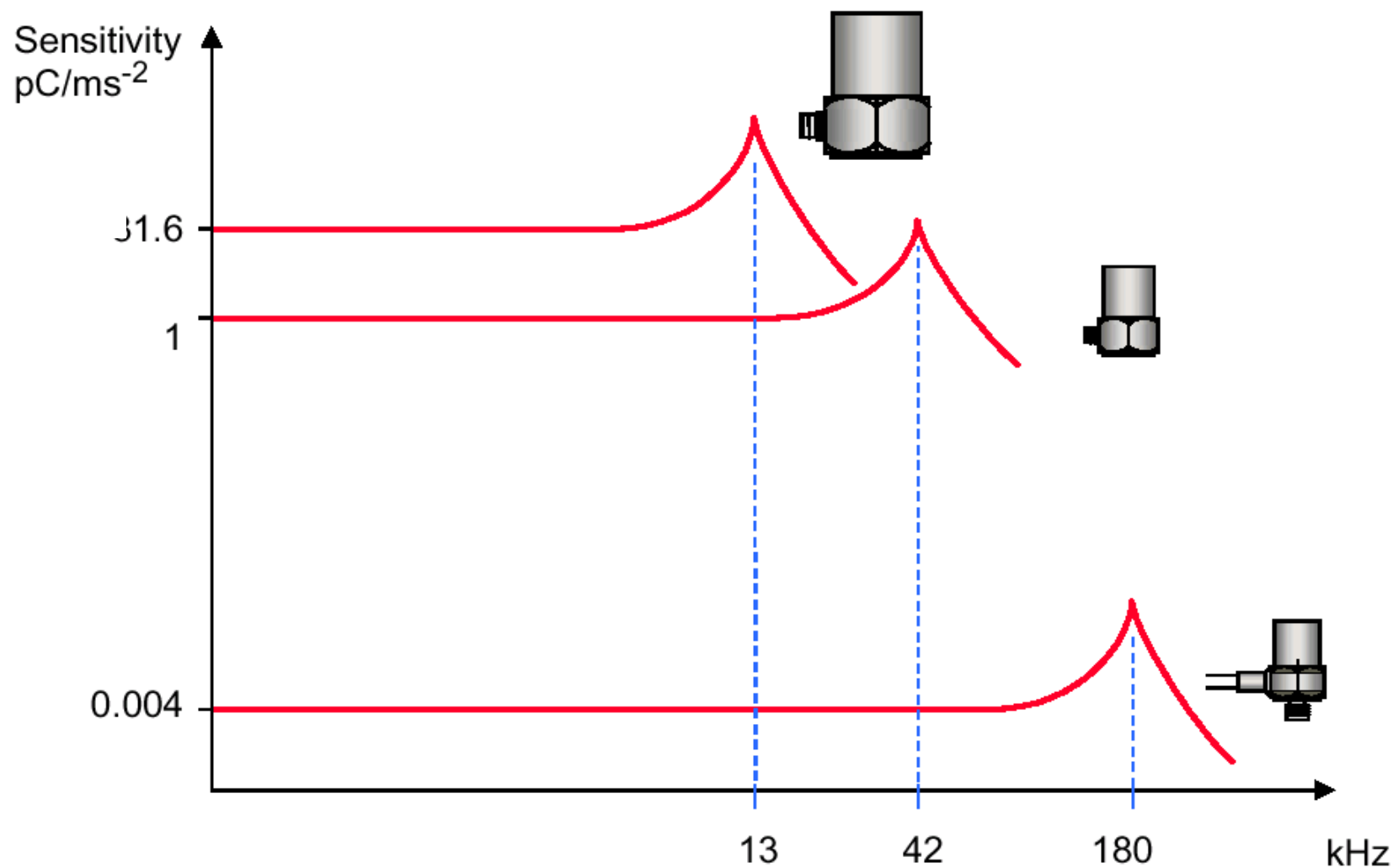
$$X(\omega) = \frac{k + i\omega \cdot c}{-M\omega^2 + k + i\omega \cdot c} Y(\omega)$$

# Rango de aplicación



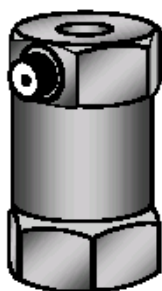


# Sensibilidad vs frecuencia

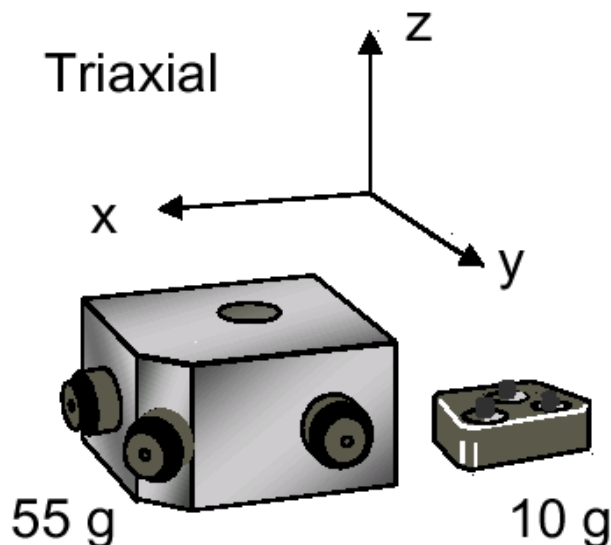


# Acelerómetros especiales

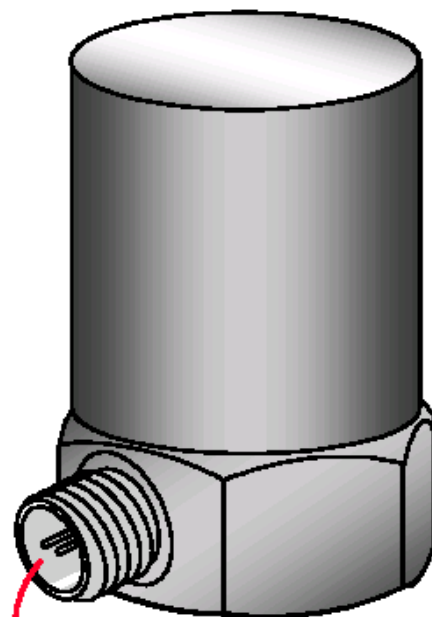
Calibration



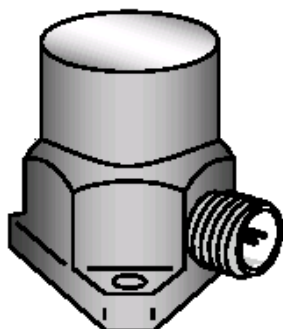
Triaxial



High sensitivity  
(with built-in amplifier)



High temperature



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

Shock



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

$316 \text{ mV/ms}^{-2}$

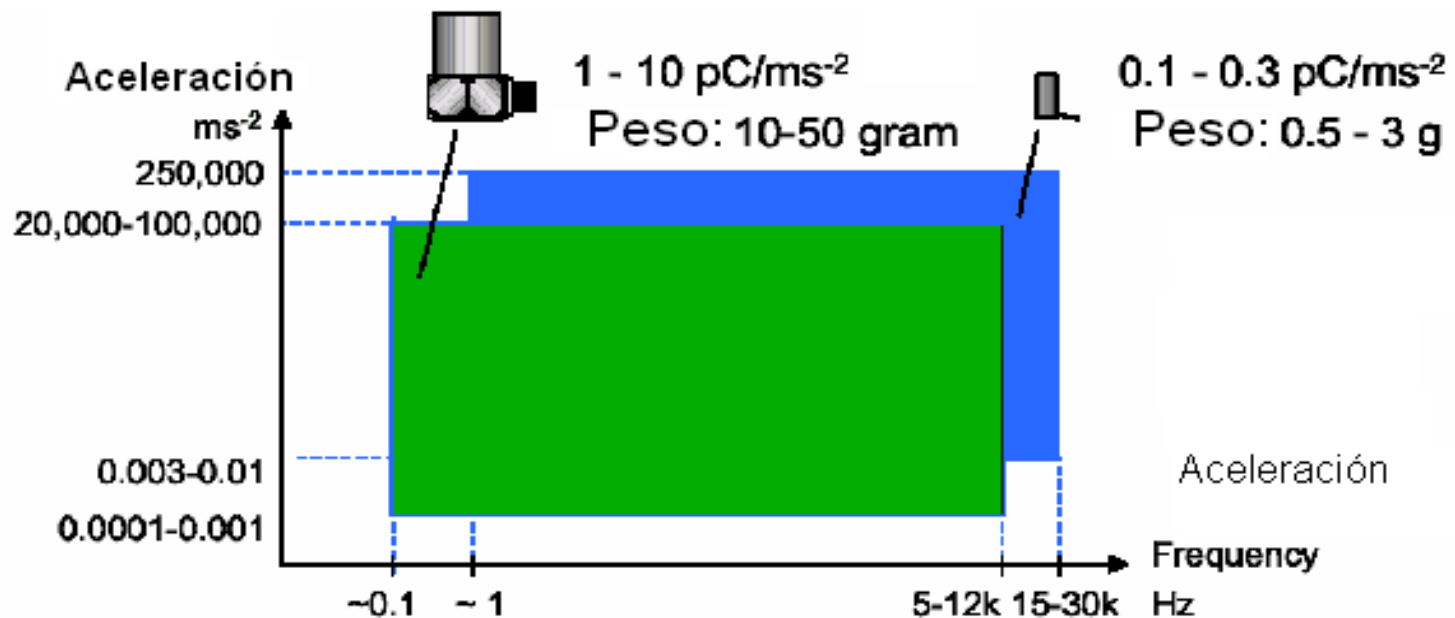
$a_{\min.} = 20 \times 10^{-6} \text{ ms}^{-2}$



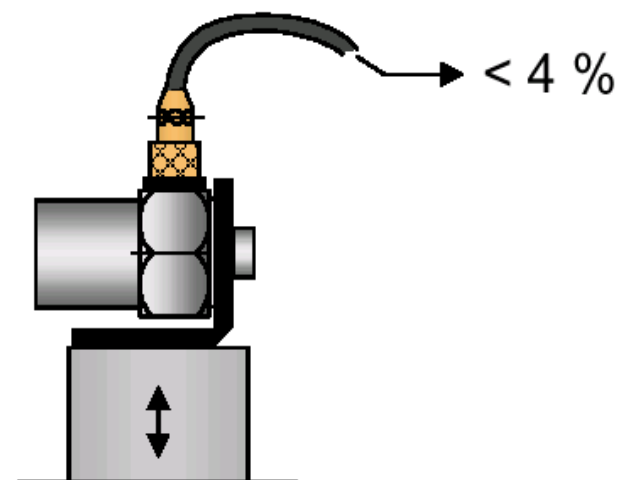
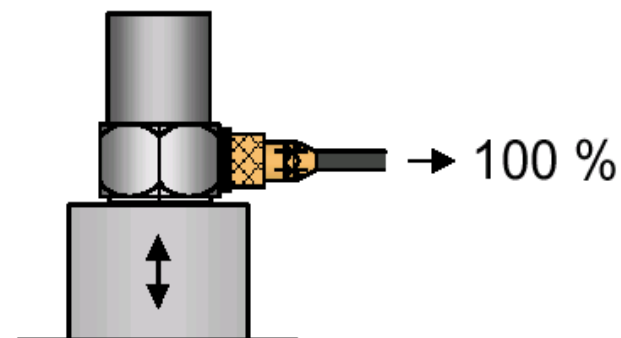
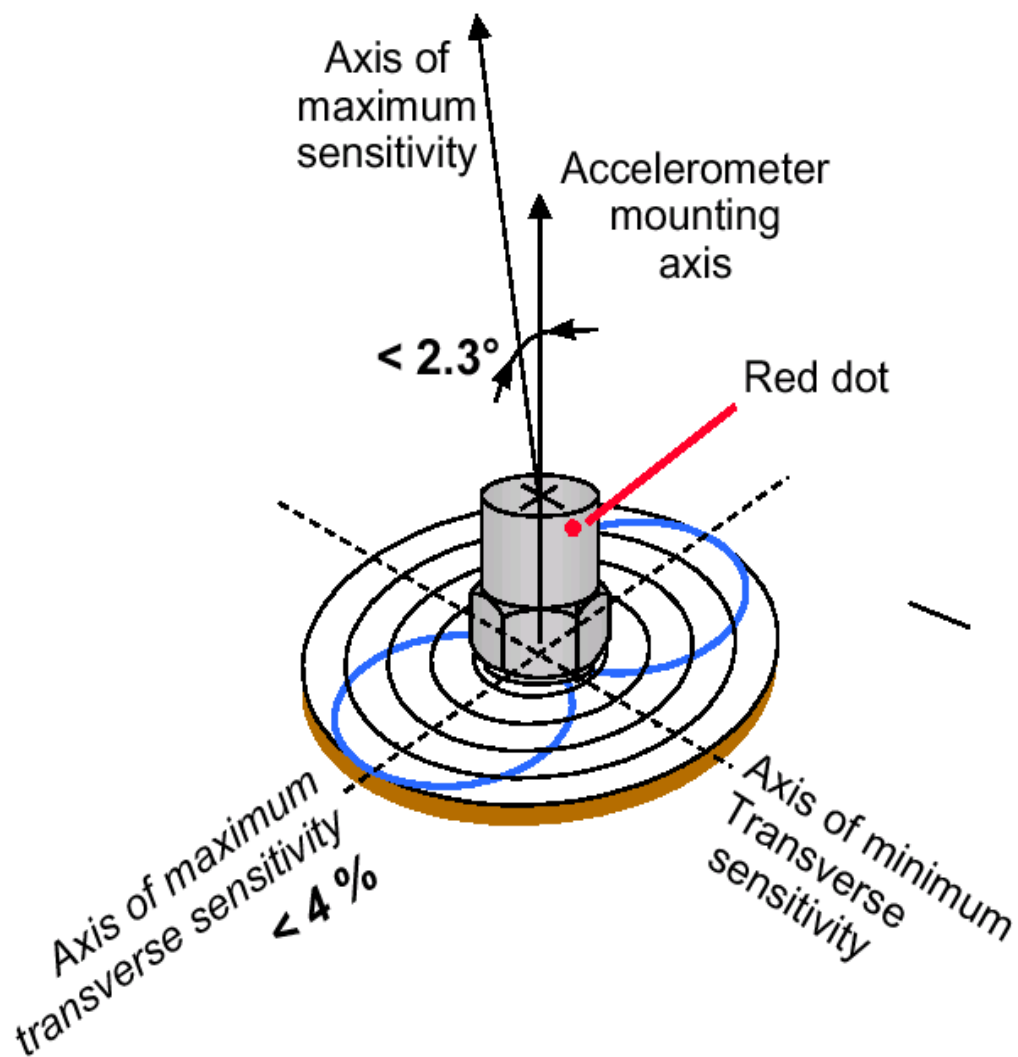
# Selección de un transductor

Propósito general: peso y sensibilidad media o

Pequeño, liviano y de alta frecuencia



# Sensibilidad transversal

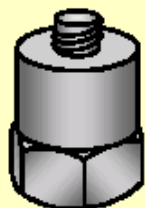


Max. transverse  
sensitivity  $< 4\%$

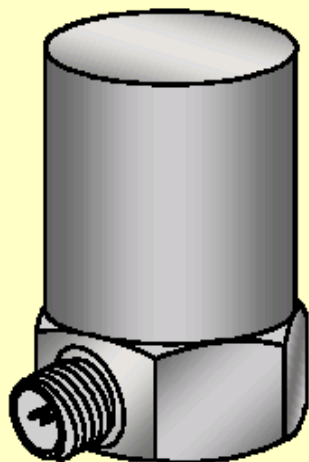
# El d-efecto de incrementar la masa



$0,1 \text{ pC/ms}^{-2}$   
 $0.65 \text{ g} \implies M > 7 \text{ g}$

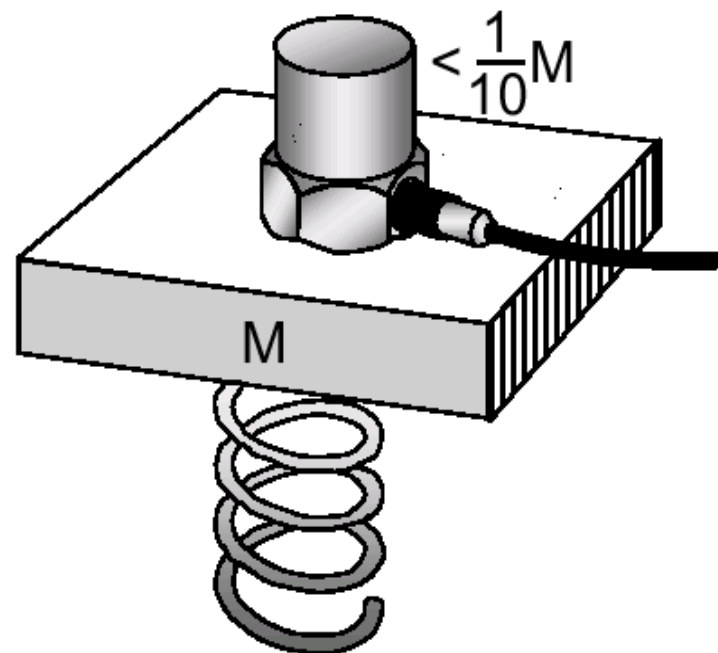


$10 \text{ pC/ms}^{-2}$   
 $54 \text{ g} \implies M > 600 \text{ g}$

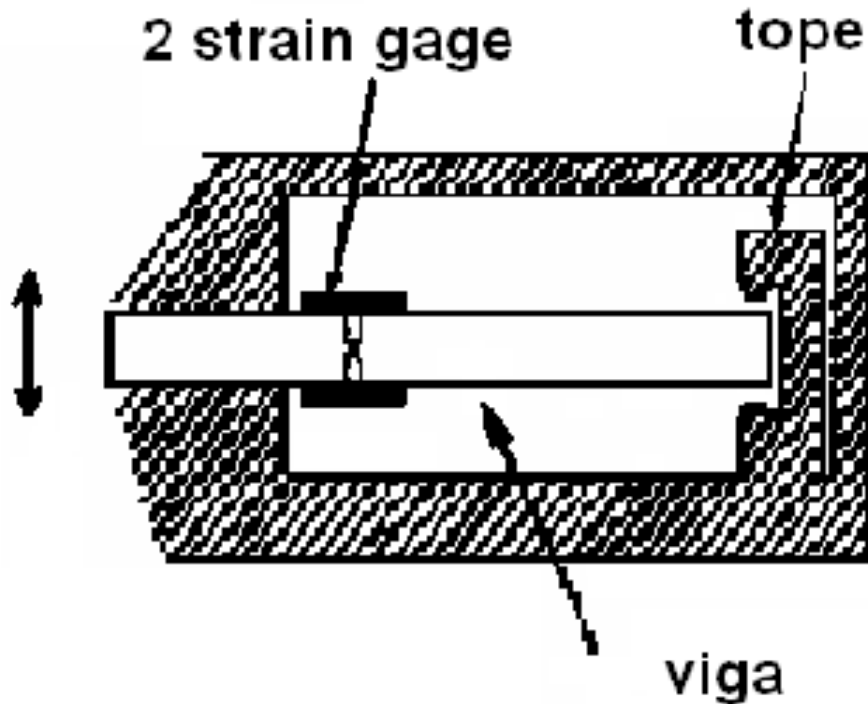


$1000 \text{ pC/ms}^{-2}$   
 $470 \text{ g} \implies M > 5 \text{ kg}$

Dynamic Mass

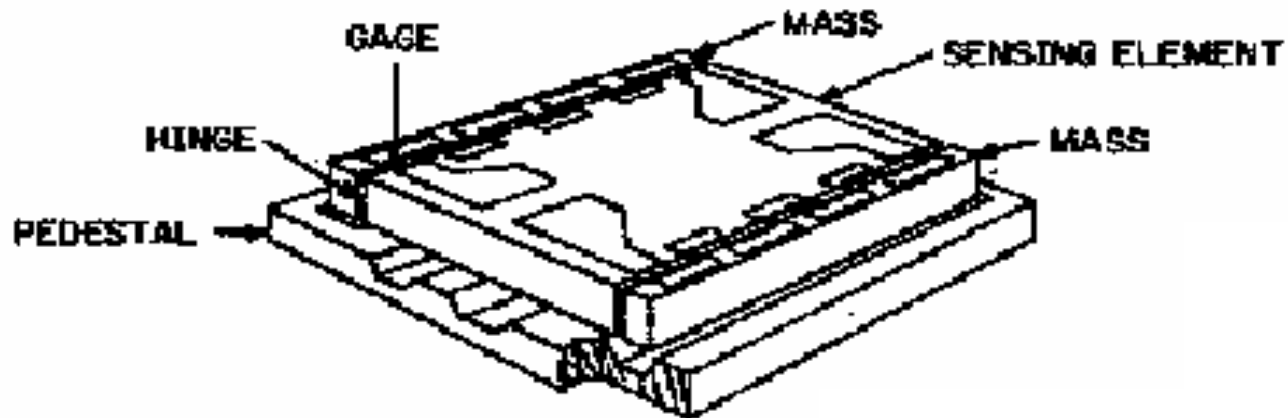


## Con strain gage

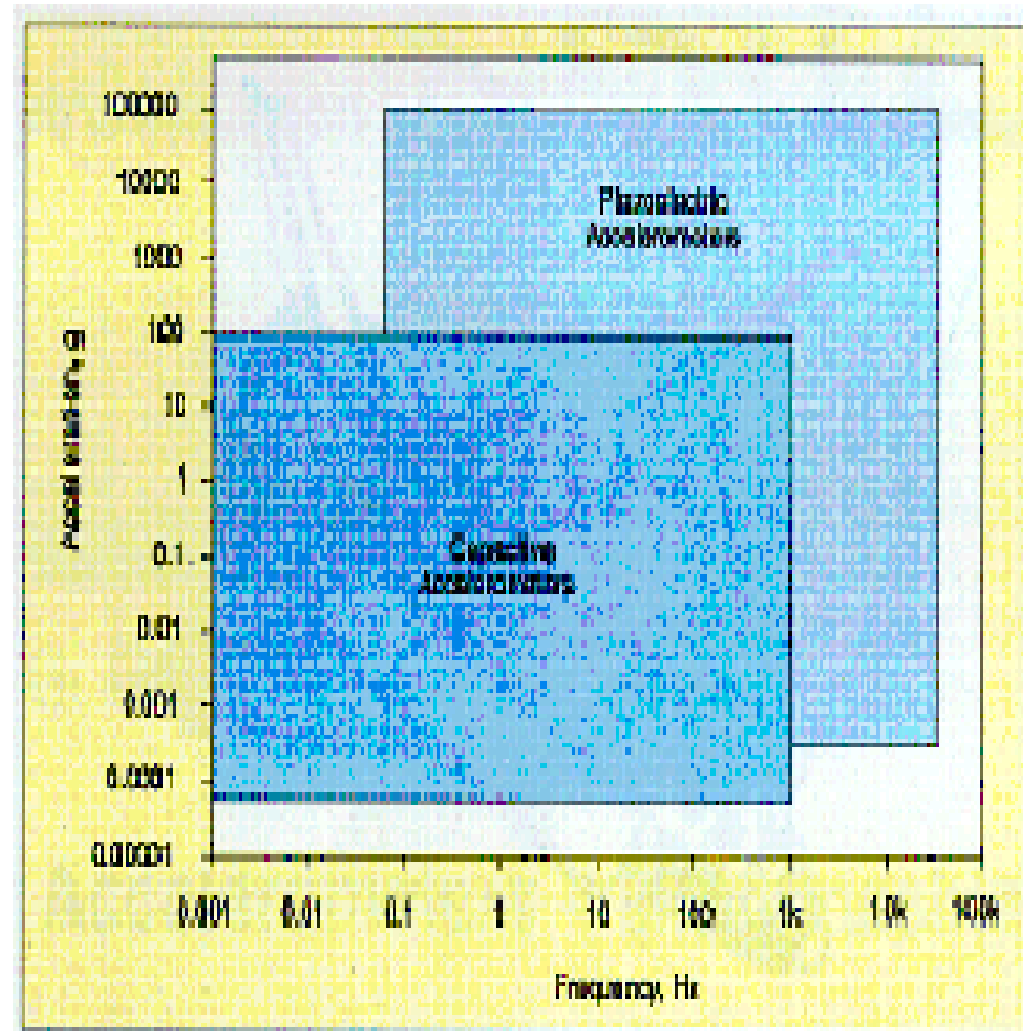
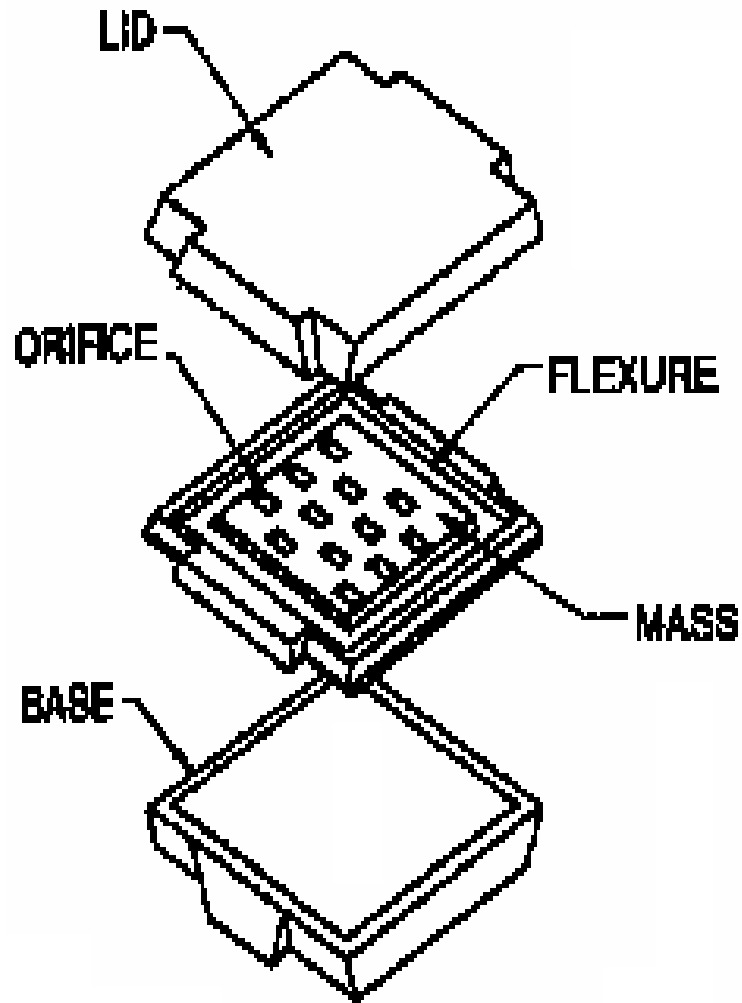


$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta L}{L}$$

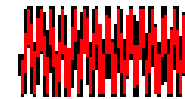
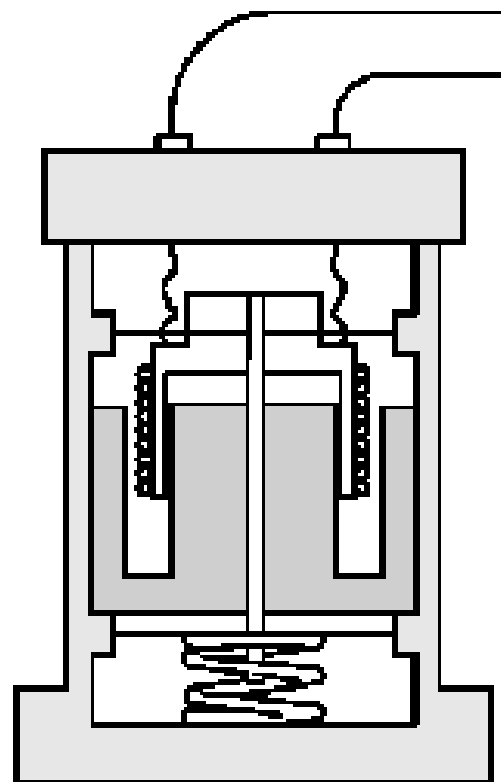
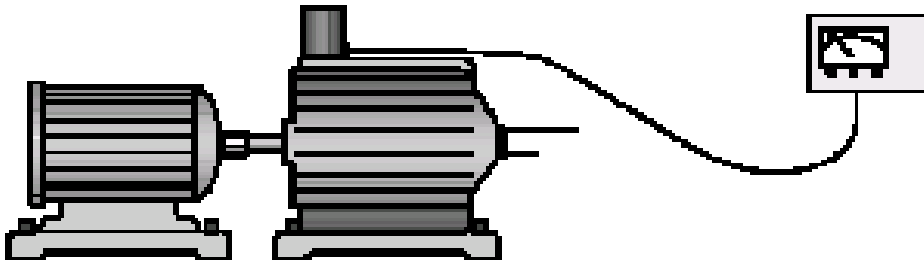
Puente de Wheatstone



# Capacitivo



# ■ Pickup de velocidad

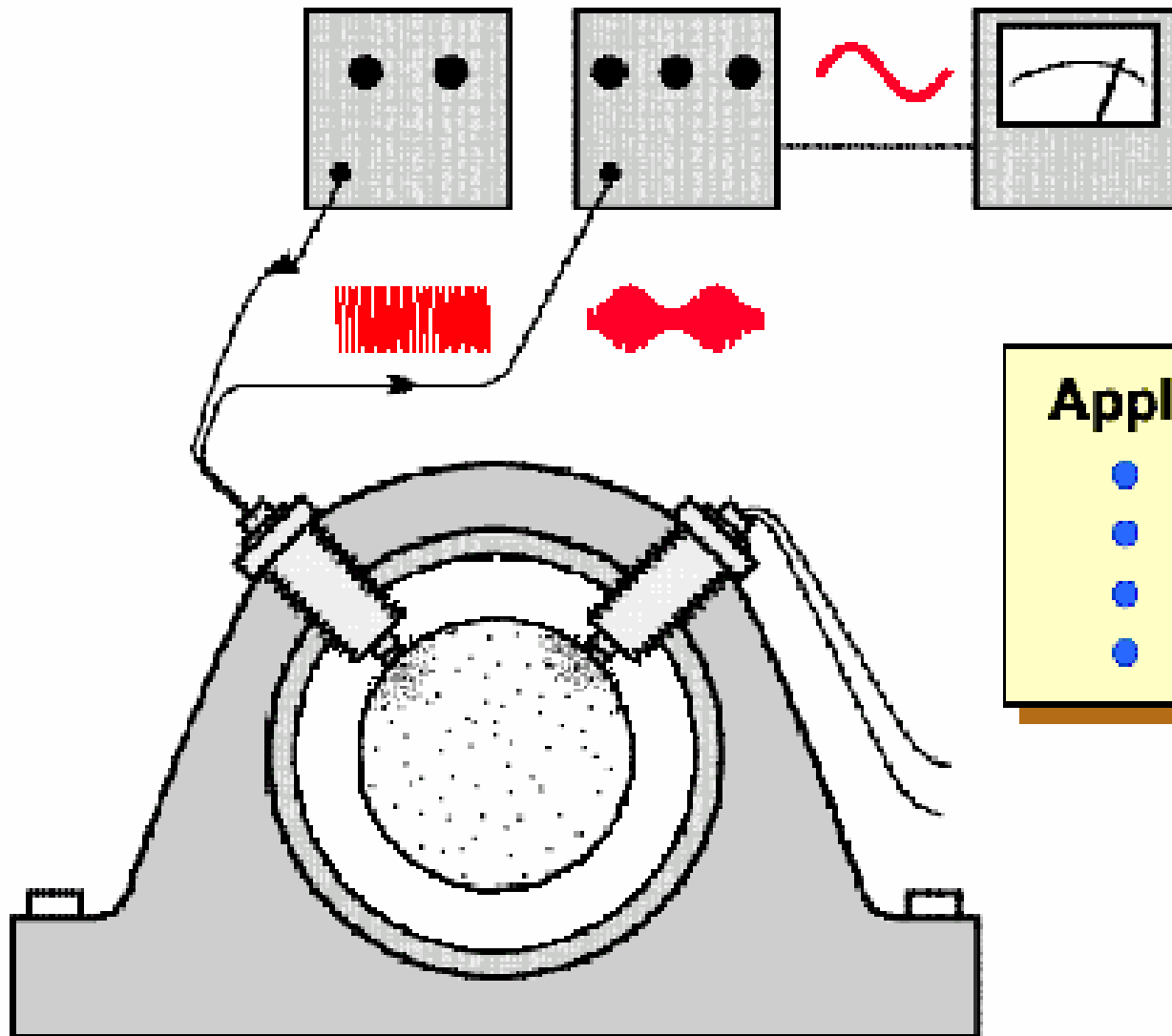


$$e = Blv$$

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



# Sensores de proximidad

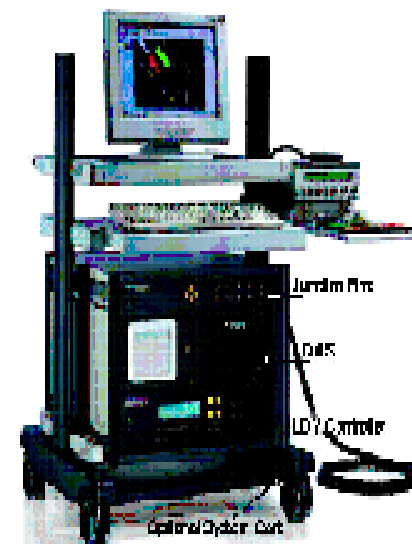
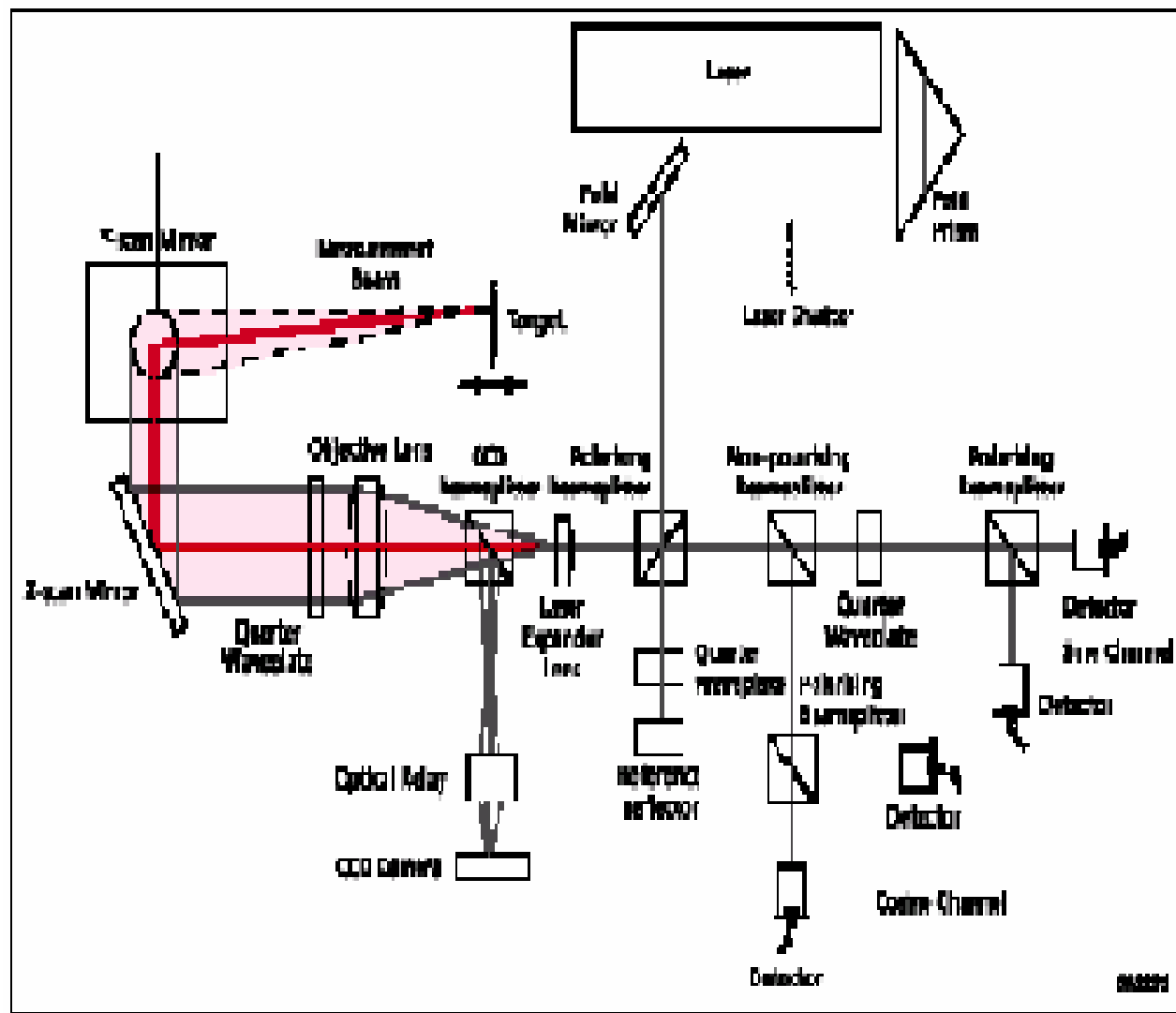


## Applications:

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




# Sensor l  ser






# Acelerómetros - Especificaciones

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

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

|   |   |   |                              |                               |                        |                     |  |  |
|---|---|---|------------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|--|--|
|    | <b>DYTRAN</b><br><small>INSTRUMENTS, INC.</small> | <b>Dynamic Transducers and Systems</b><br><small>21592 Marillo St. • Chatsworth, CA 91311 • Phone 818-700-7818 • FAX 818-700-7880</small> |                              |                               |                        |                     |  |  |
| <b>CALIBRATION CERTIFICATE</b><br><b>VOLTAGE MODE ACCELEROMETER</b>   |   |   |                              |                               |                        |                     |  |  |
| MODEL <u>3101B</u>  | SERIAL NO. <u>2670</u>                            |   |                              |                               |                        |                     |  |  |
| RANGE, F.S. <u>+/- 500</u> G's REFERENCE SENSITIVITY <u>10.4</u> mV/G [1]   |   |   |                              |                               |                        |                     |  |  |
| FREQUENCY RESPONSE [2]<br>FREQUENCY (Hz)  | SENSITIVITY (mV/G)                                | TEMP. <u>23</u> °C<br>HUMIDITY <u>45</u> %  |                              |                               |                        |                     |  |  |
| 20  | <u>10.4</u>                                       |   |                              |                               |                        |                     |  |  |
| 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 <u>&lt; 5</u> %  |   |   |                              |                               |                        |                     |  |  |
| BIAS VOLTAGE <u>11.5</u> VDC  |   |   |                              |                               |                        |                     |  |  |
| DISCHARGE TIME CONSTANT <u>&gt; 0.5</u> SEC   |   |   |                              |                               |                        |                     |  |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>[1] The reference sensitivity is measured at 100 Hz, 1 G RMS.</p> <p>[2] This calibration was performed in accordance with MIL-STD-45662A using the Back-to-Back Comparison Method per SA 537.2 and is traceable to the NIST through test number 737/229485.</p> </div> <div style="width: 80%;"> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">CUSTOMER <u>NAV AIRCRAFT</u></td> <td style="width: 70%;">P.O.# <u>1385763-VC-291-6</u></td> </tr> <tr> <td>ORDER NO. <u>87682</u></td> <td>DATE <u>5-18-92</u></td> </tr> <tr> <td colspan="2">           CALIBRATION PERFORMED BY: <u>[Signature]</u> </td> </tr> </table> </div> </div> |   |   | CUSTOMER <u>NAV AIRCRAFT</u> | P.O.# <u>1385763-VC-291-6</u> | ORDER NO. <u>87682</u> | DATE <u>5-18-92</u> | CALIBRATION PERFORMED BY: <u>[Signature]</u> |  |
| CUSTOMER <u>NAV AIRCRAFT</u>  | P.O.# <u>1385763-VC-291-6</u>                     |   |                              |                               |                        |                     |  |  |
| ORDER NO. <u>87682</u>  | DATE <u>5-18-92</u>                               |   |                              |                               |                        |                     |  |  |
| CALIBRATION PERFORMED BY: <u>[Signature]</u>  |   |   |                              |                               |                        |                     |  |  |



# SELECCIÓN DEL SENSOR

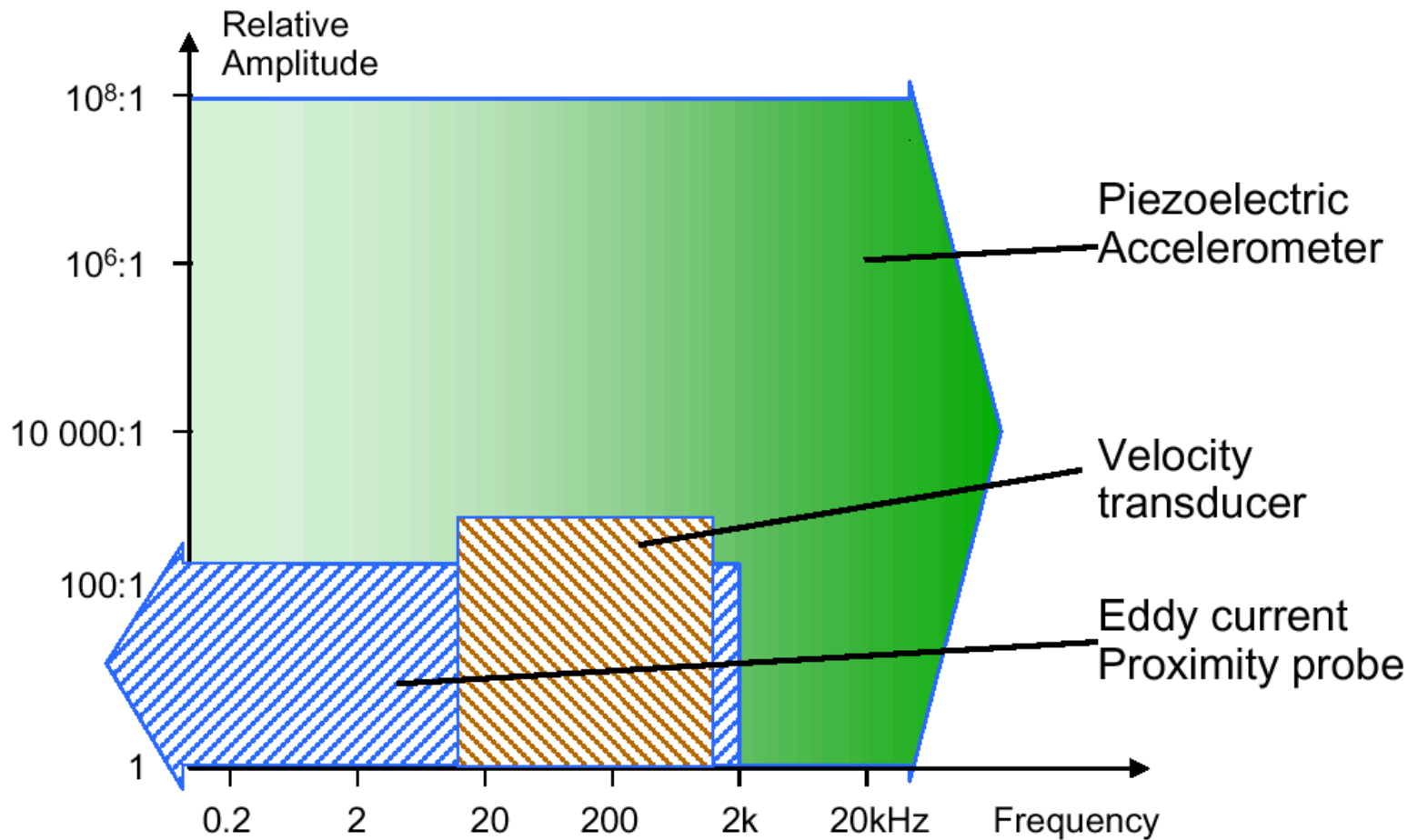
# ■ Selección del sensor:

## **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:



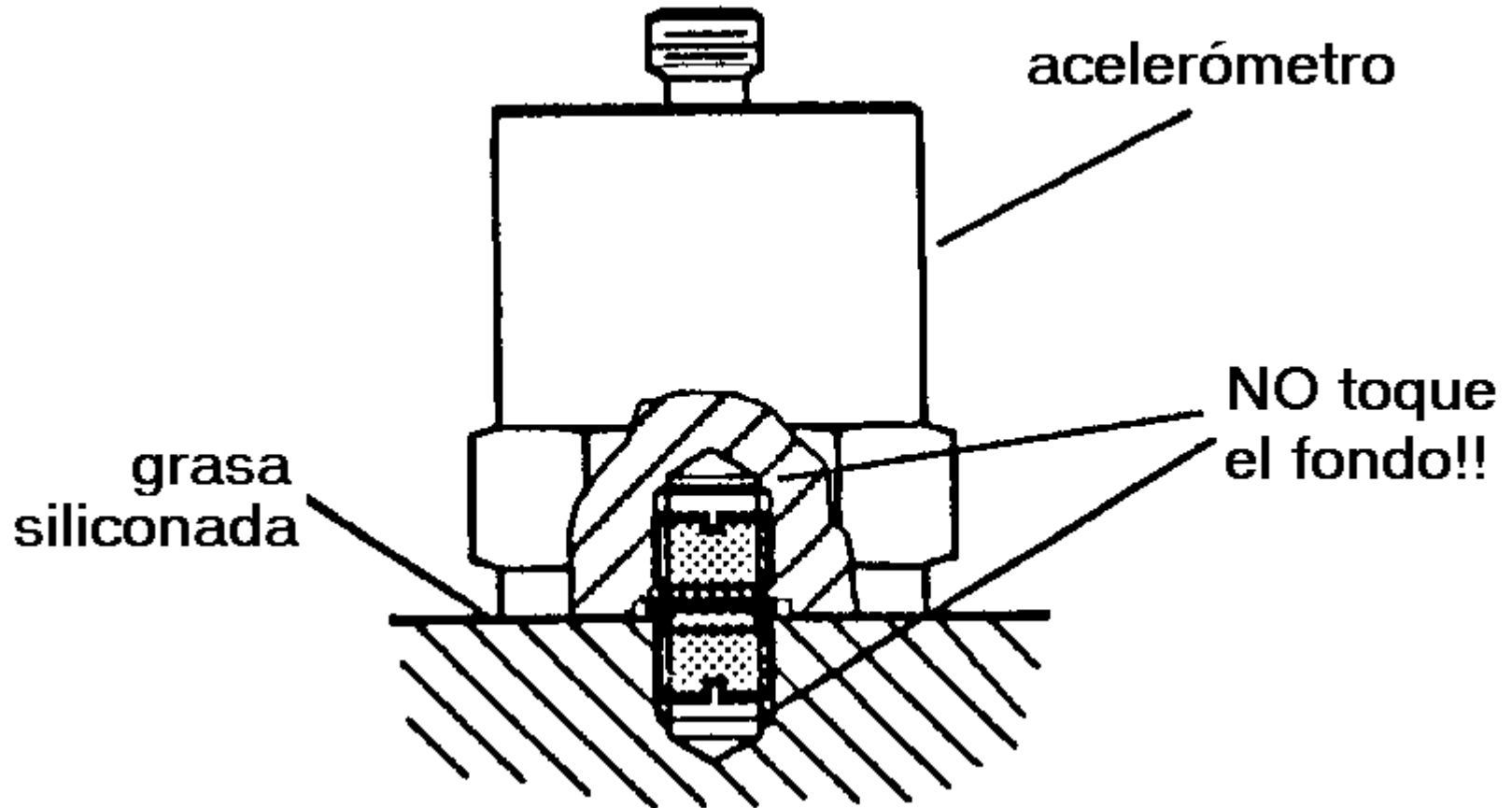
# ■ Instalación del sensor:

## **Instalación del Sensor**

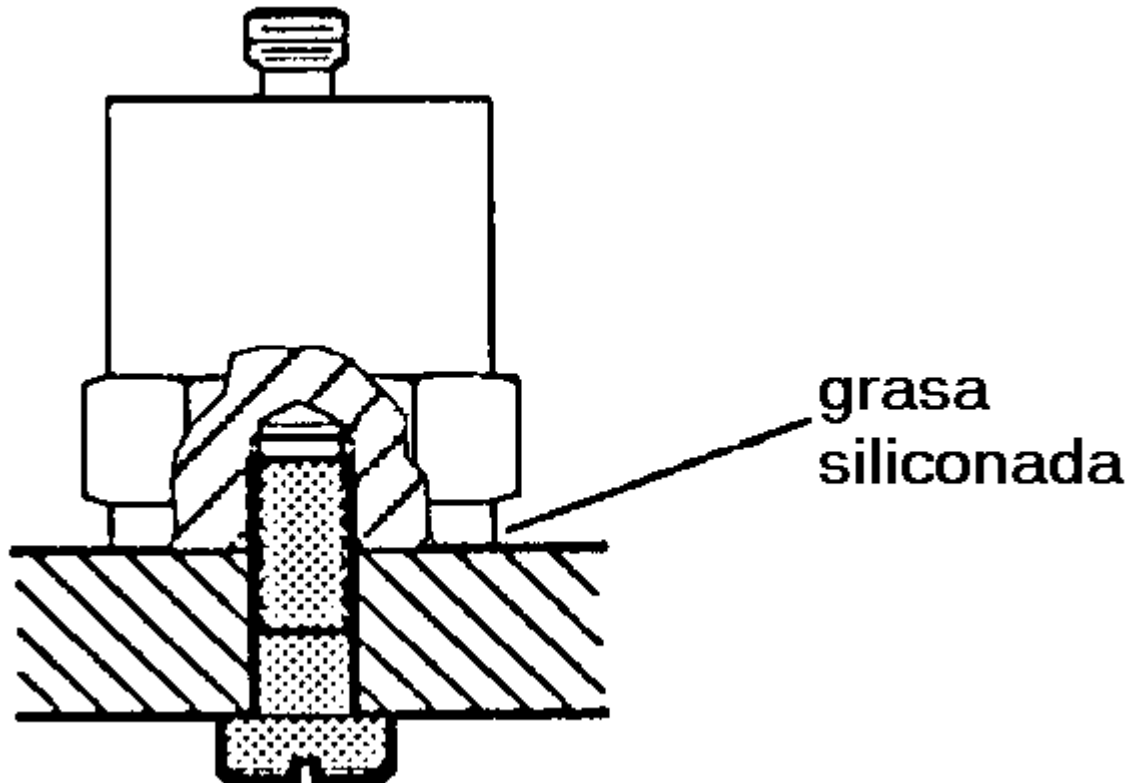
La ubicación para la instalación del sensor puede variar de acuerdo a la aplicación. La mayoría de los fabricantes suministran las especificaciones para una correcta instalación de sus sensores que deberán ser rigurosamente observadas. Si no se siguieran estas especificaciones, el resultado podría no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

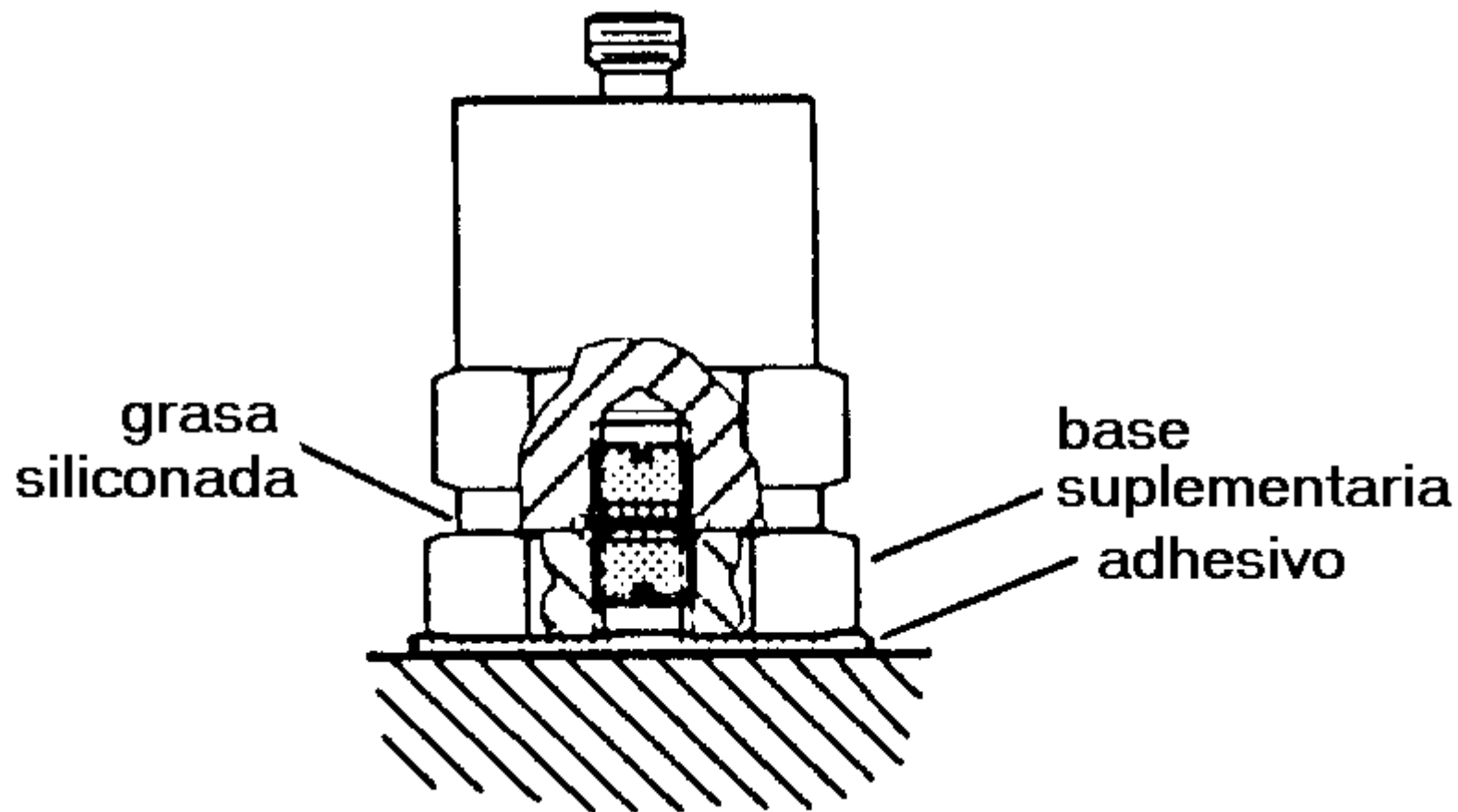


# Instalación del Sensor

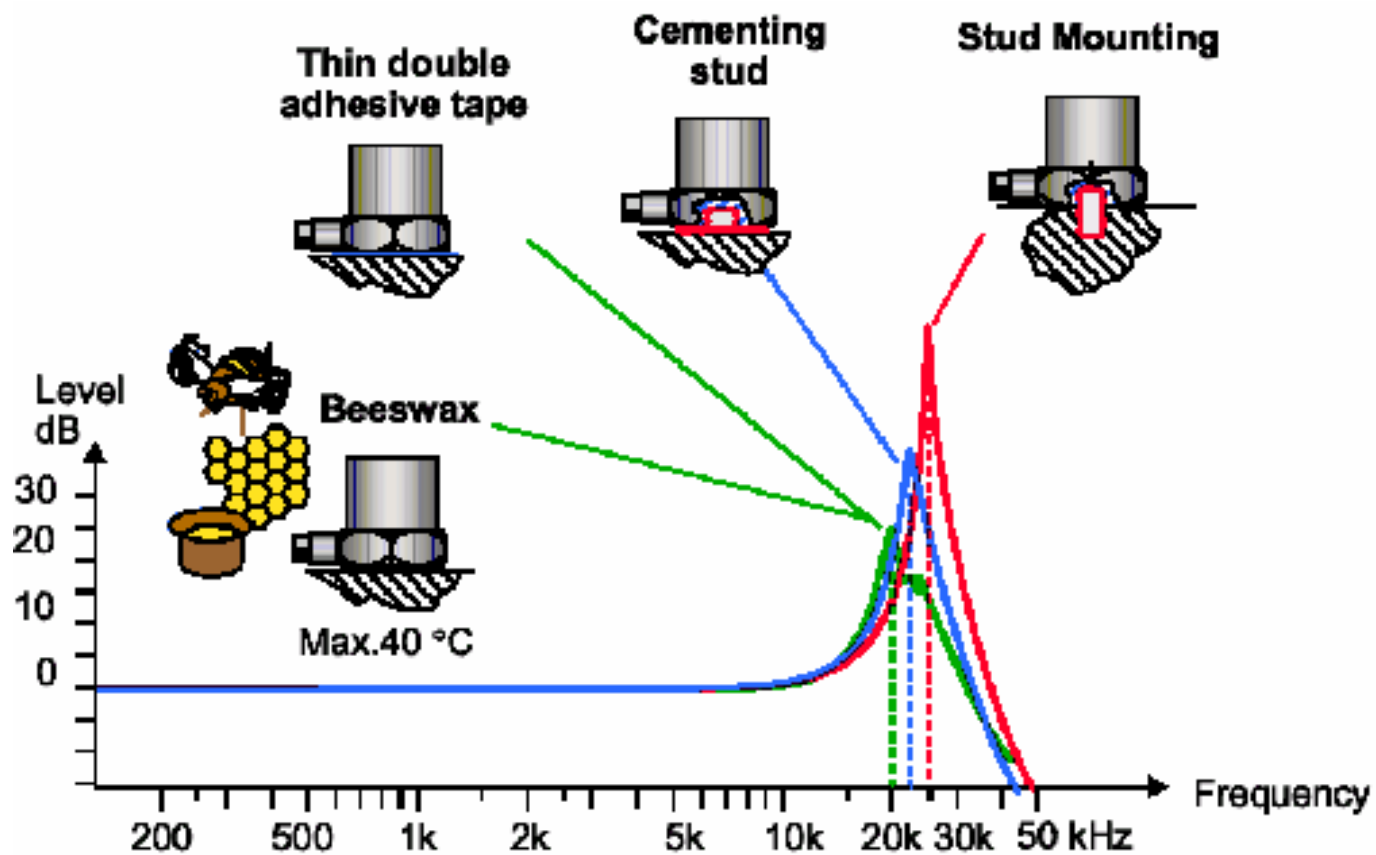




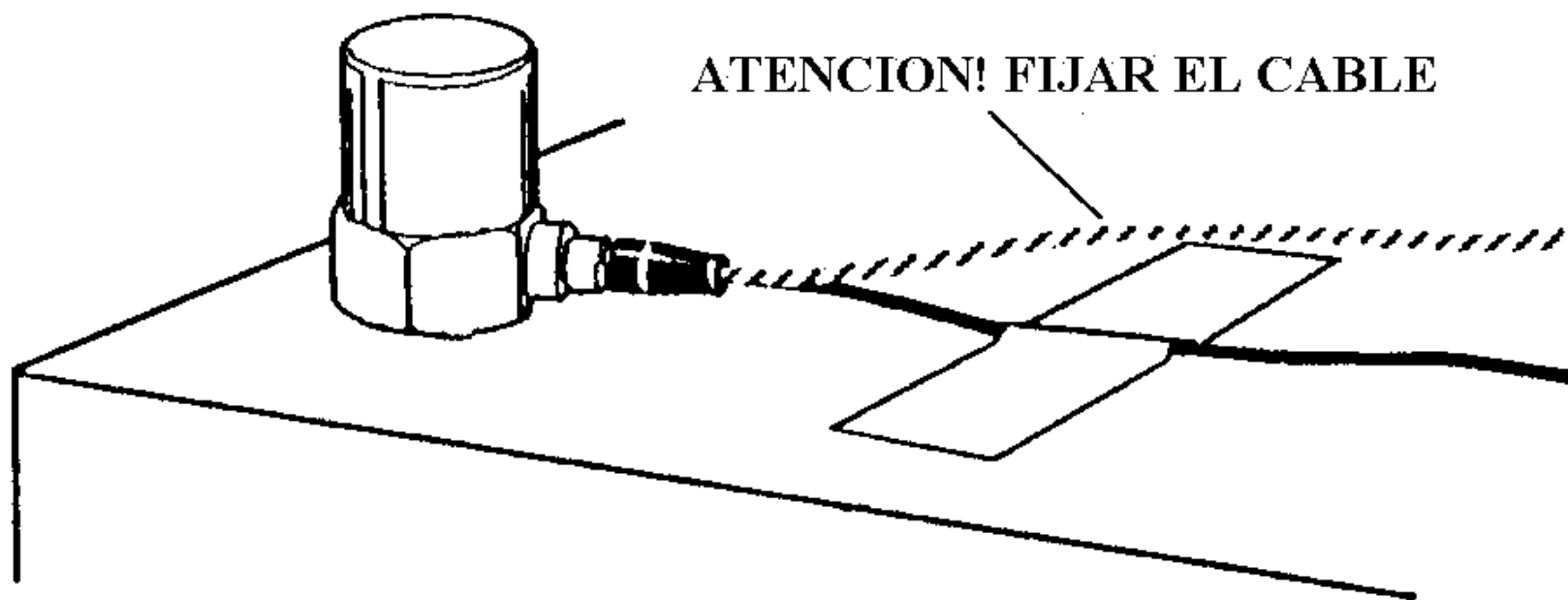
# Instalación del Sensor



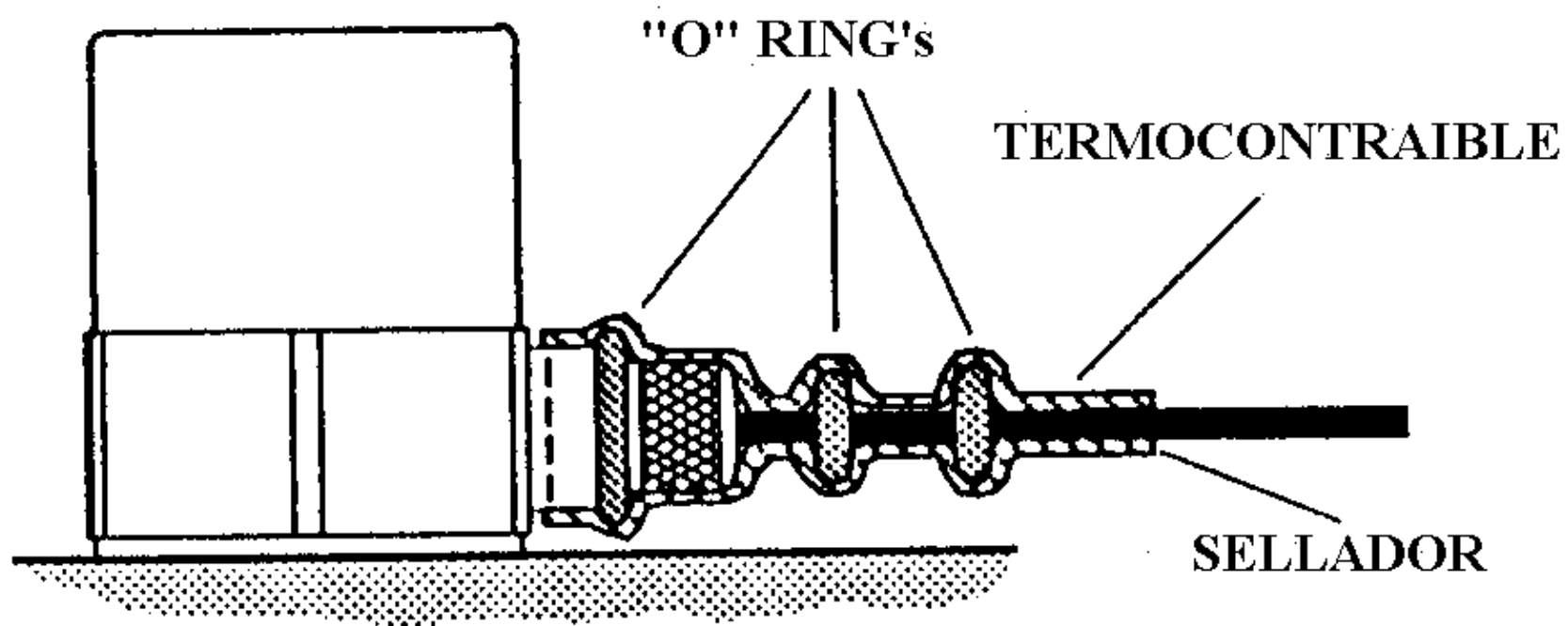
# Fijación del Sensor:



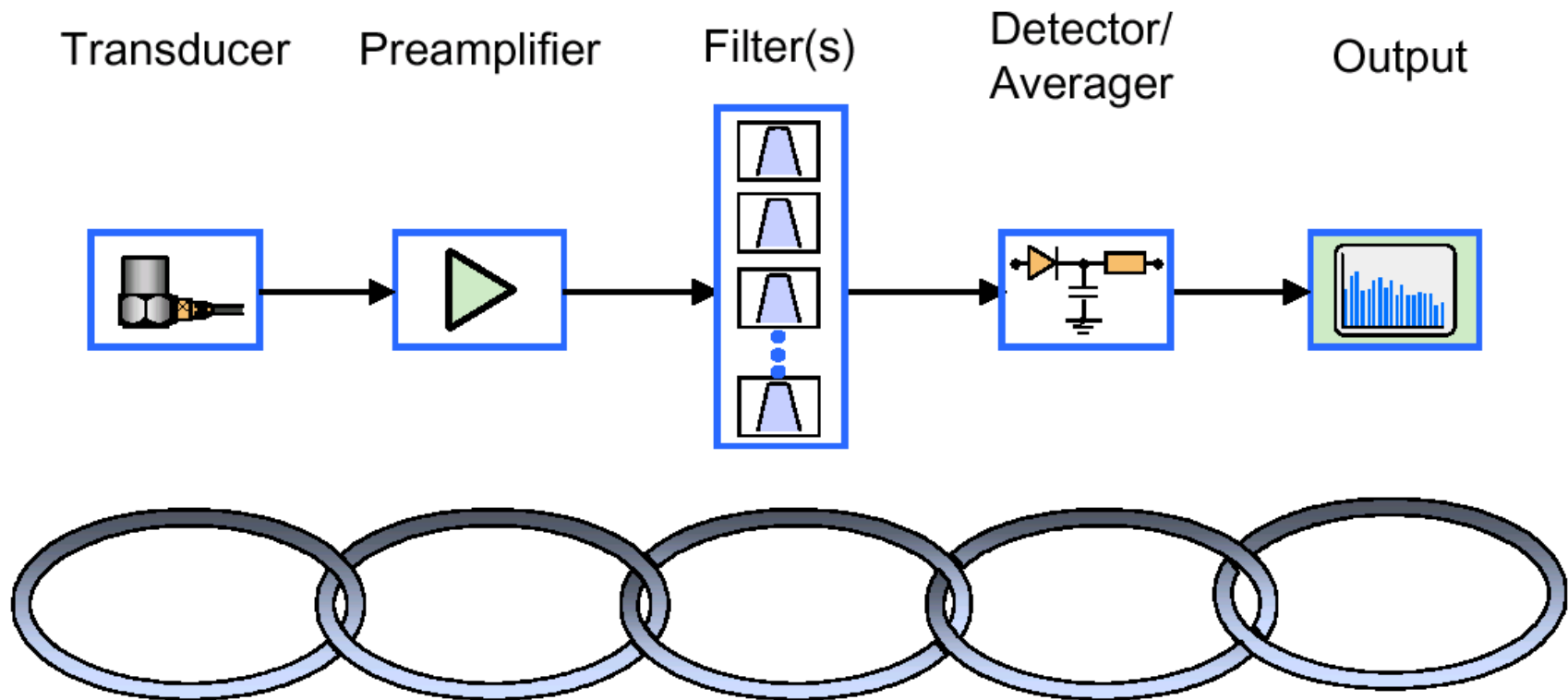
# Instalación del Sensor



# Instalación del Sensor



# El canal de medición

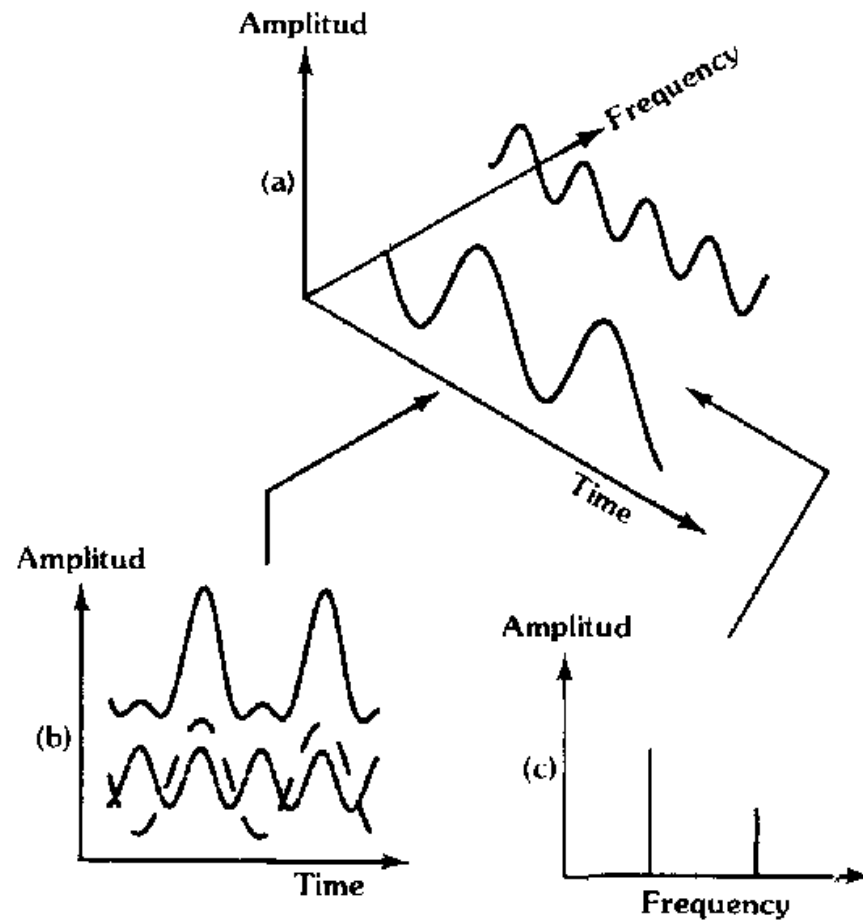




# ANÁLISIS DE VIBRACIONES



# ¿Cómo se analiza una señal de vibración?



# || ¿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.





## ¿Que registra un sensor de vibraciones?

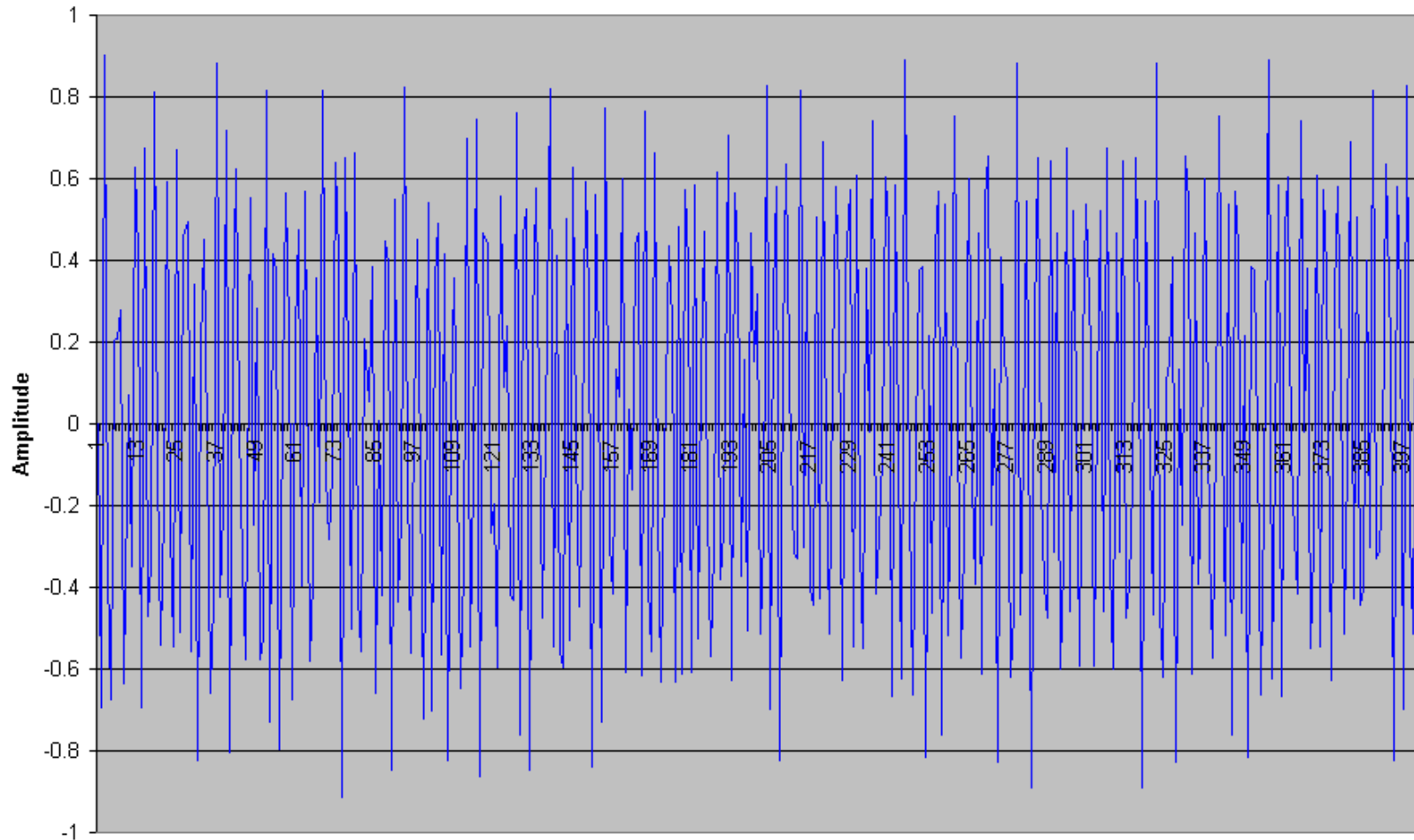
La señal en el dominio del tiempo presentada en la figura muestra las vibraciones de un helicóptero compuesto de cuatro generadores de vibraciones: las dos palas del helicóptero, el rotor de cola y el cardan del rotor. Todas estas señales han sido captadas por el sensor, combinándolas en una única señal.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





# ¿Que registra un sensor de vibraciones?

**Overall**





## ¿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.

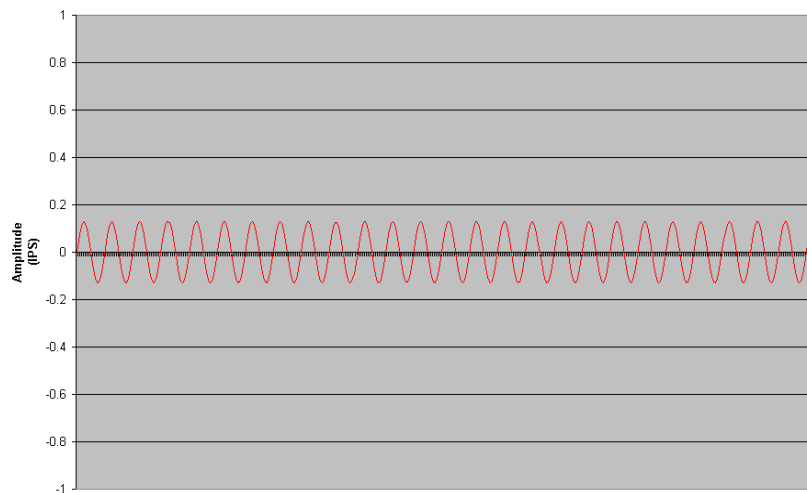
¡Para separar las señales, se requiere una conversión!





# ¿Que registra un sensor de vibraciones?

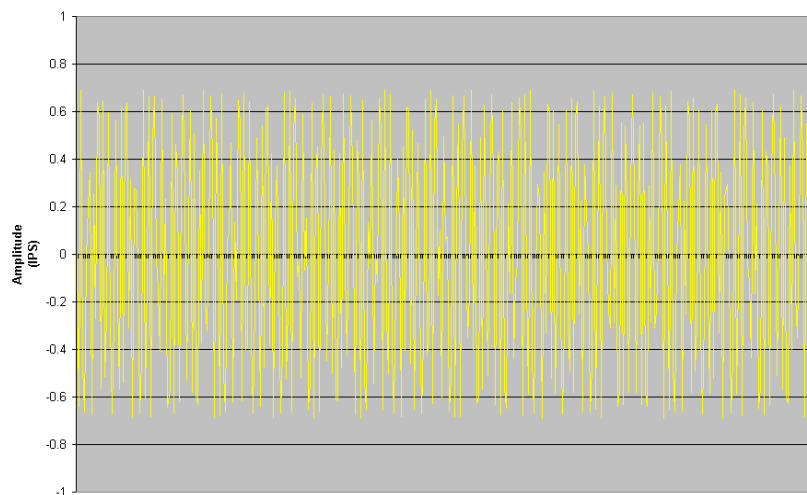
Main Rotor



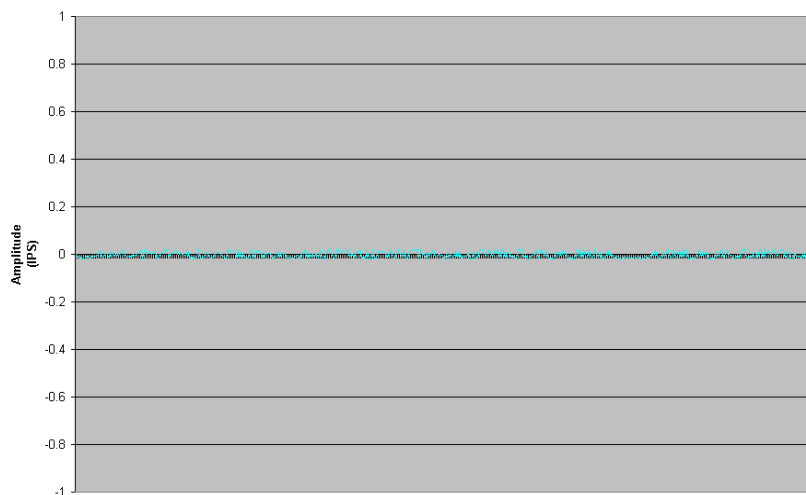
Tail Rotor



Main Rotor 2/Rev



Tail Rotor Drive





# ¿Cómo se analiza una vibración?

## EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

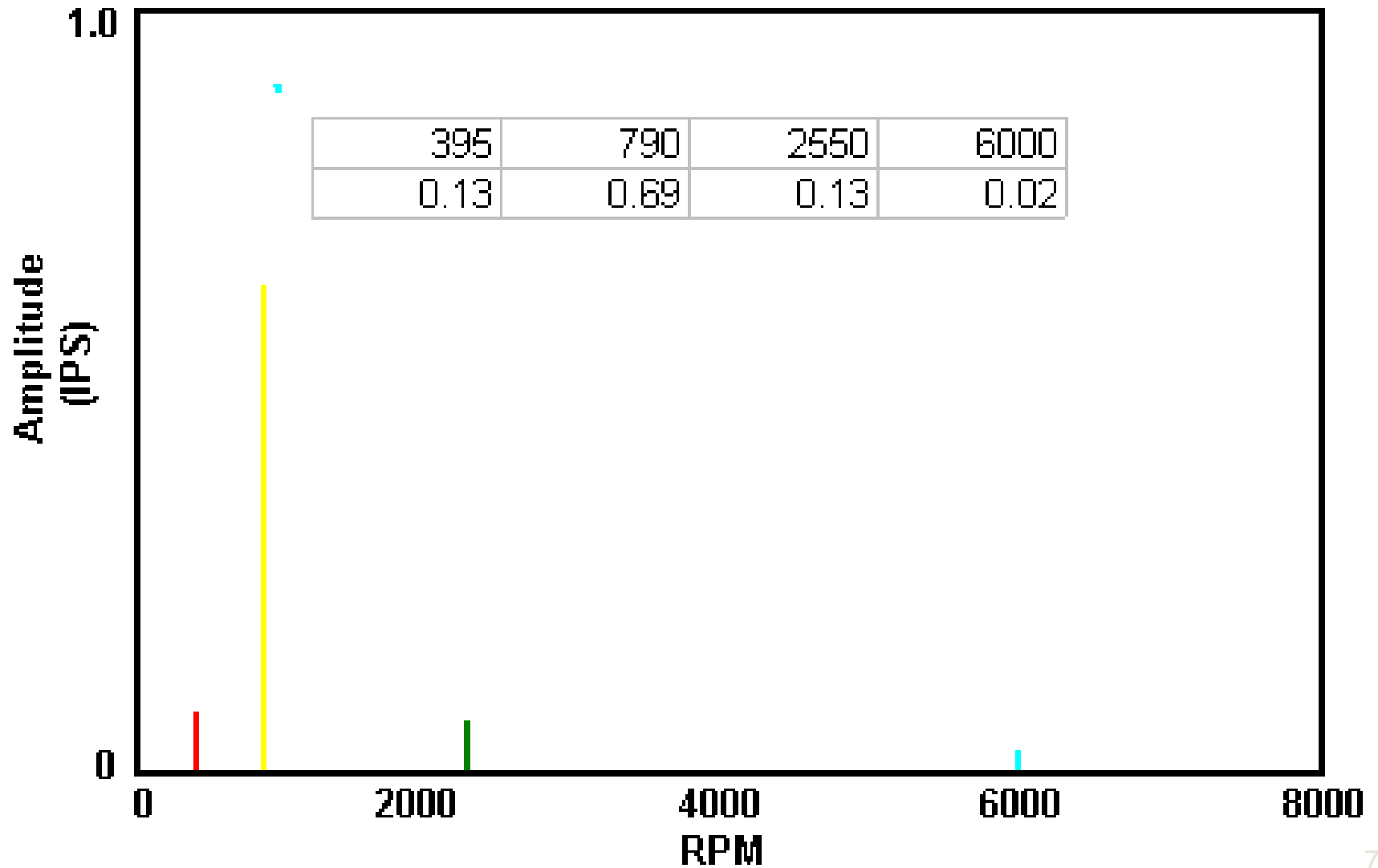
Mediante la aplicación del algoritmo de la transformada rápida de Fourier (FFT) se convierte a una señal del dominio del tiempo al DOMINIO DE FRECUENCIA. En el dominio de frecuencia, se observa cada frecuencia y amplitud.



# Espectro de frecuencias

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

# Espectro de frecuencias





# INFORMES DE VIBRACIONES



# 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)

# 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                  |        |        |

# Tipos de informes de vibraciones

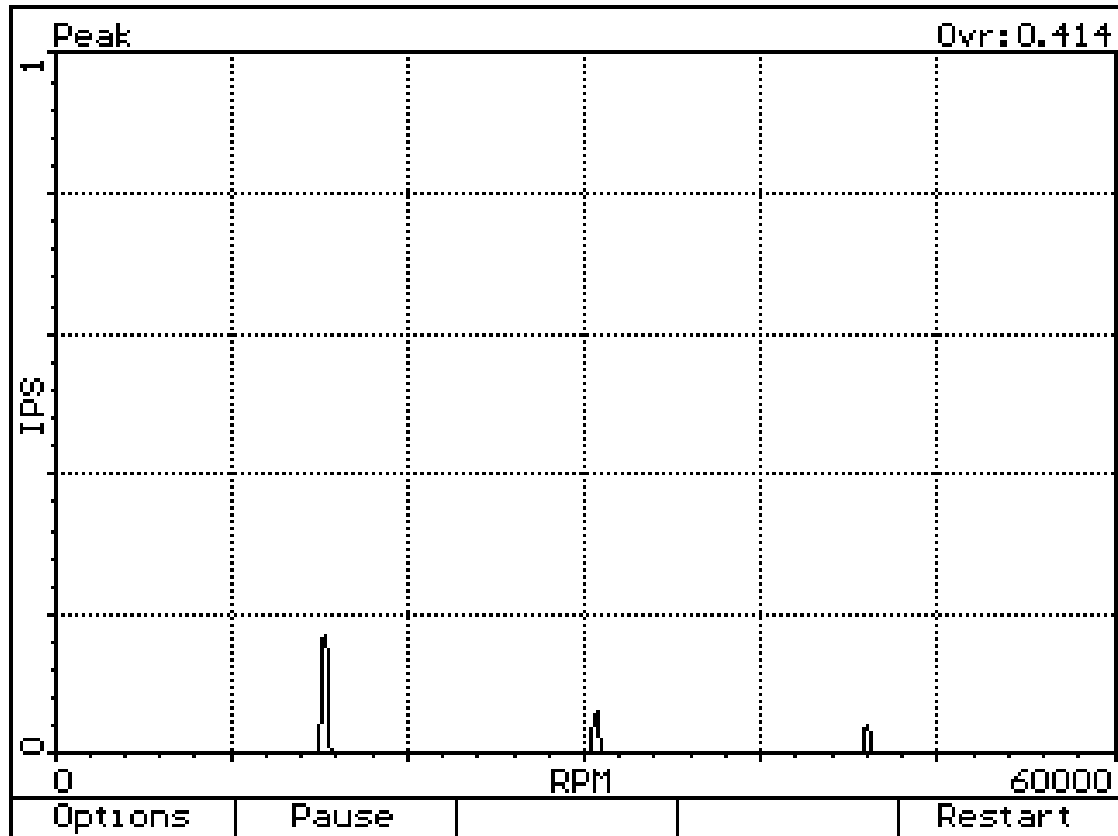
## 2. Régimen estacionario

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



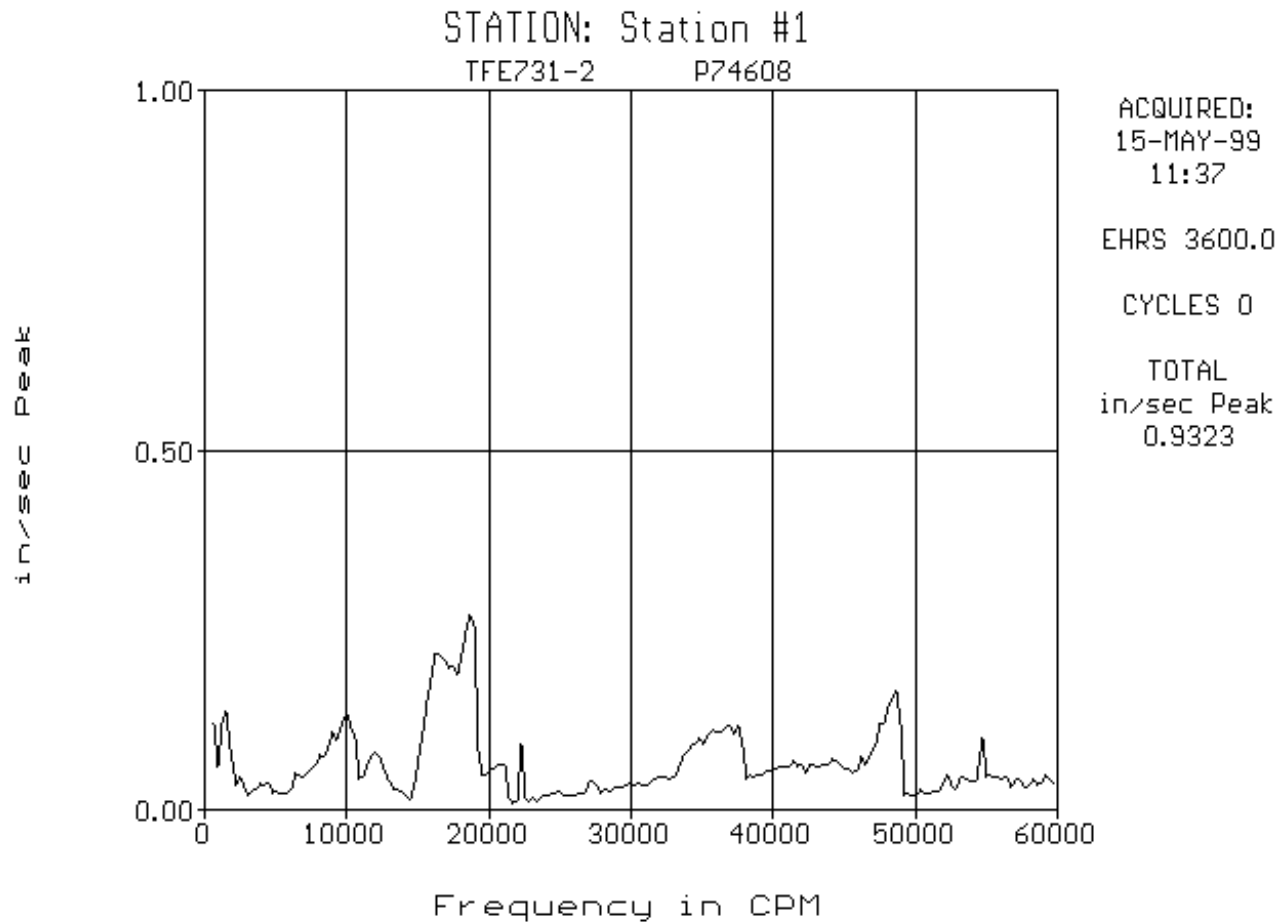
# Tipos de informes de vibraciones

## 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



# Tipos de informes de vibraciones

## 4. Sincrónico

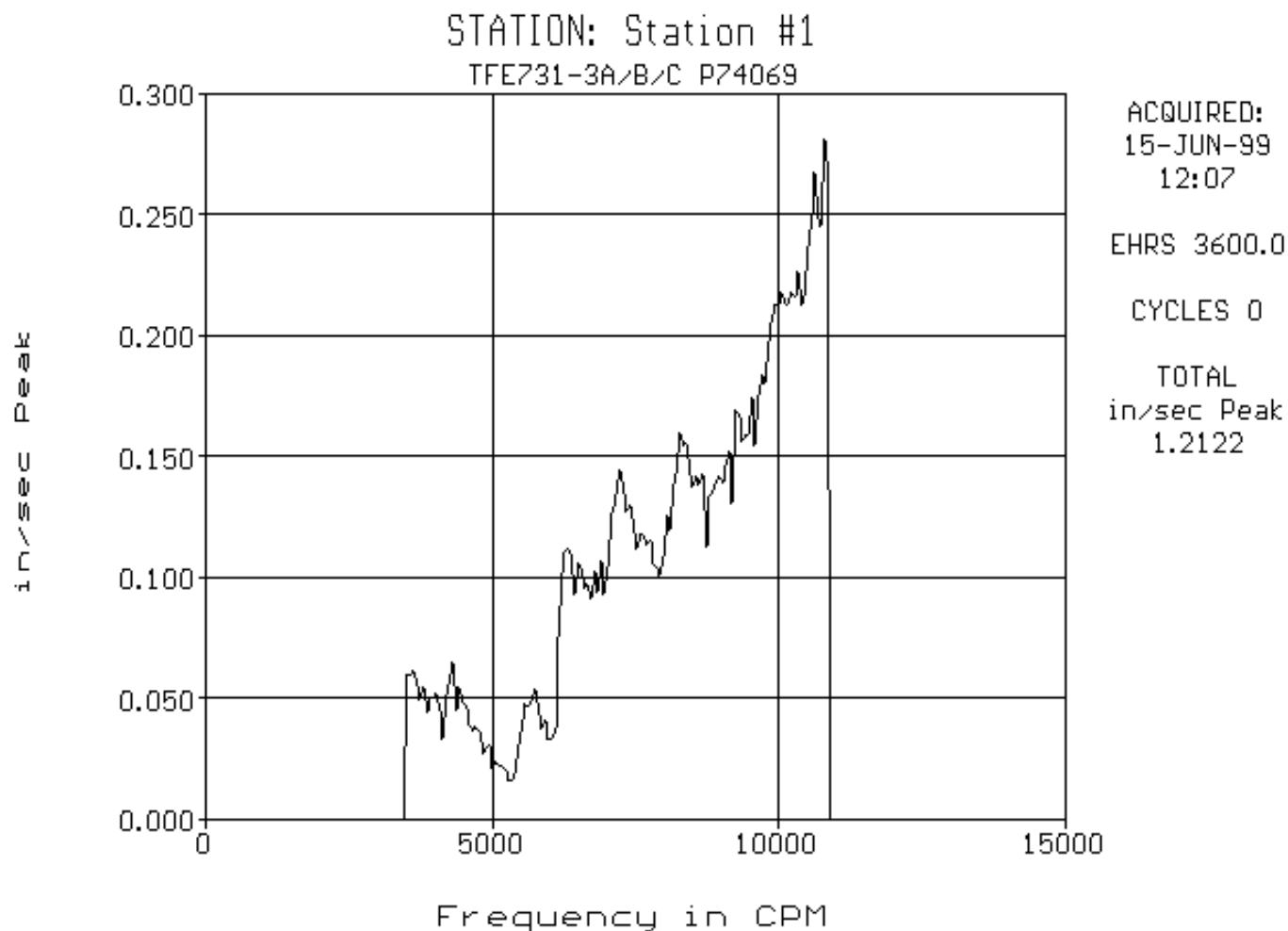
Una medición sincrónica utiliza una señal de un tacómetro y un filtro para relacionar la vibración de un eje o rotor. El filtro elimina toda vibración por arriba o por debajo de la señal del tacómetro.

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





# Tipos de informes de vibraciones



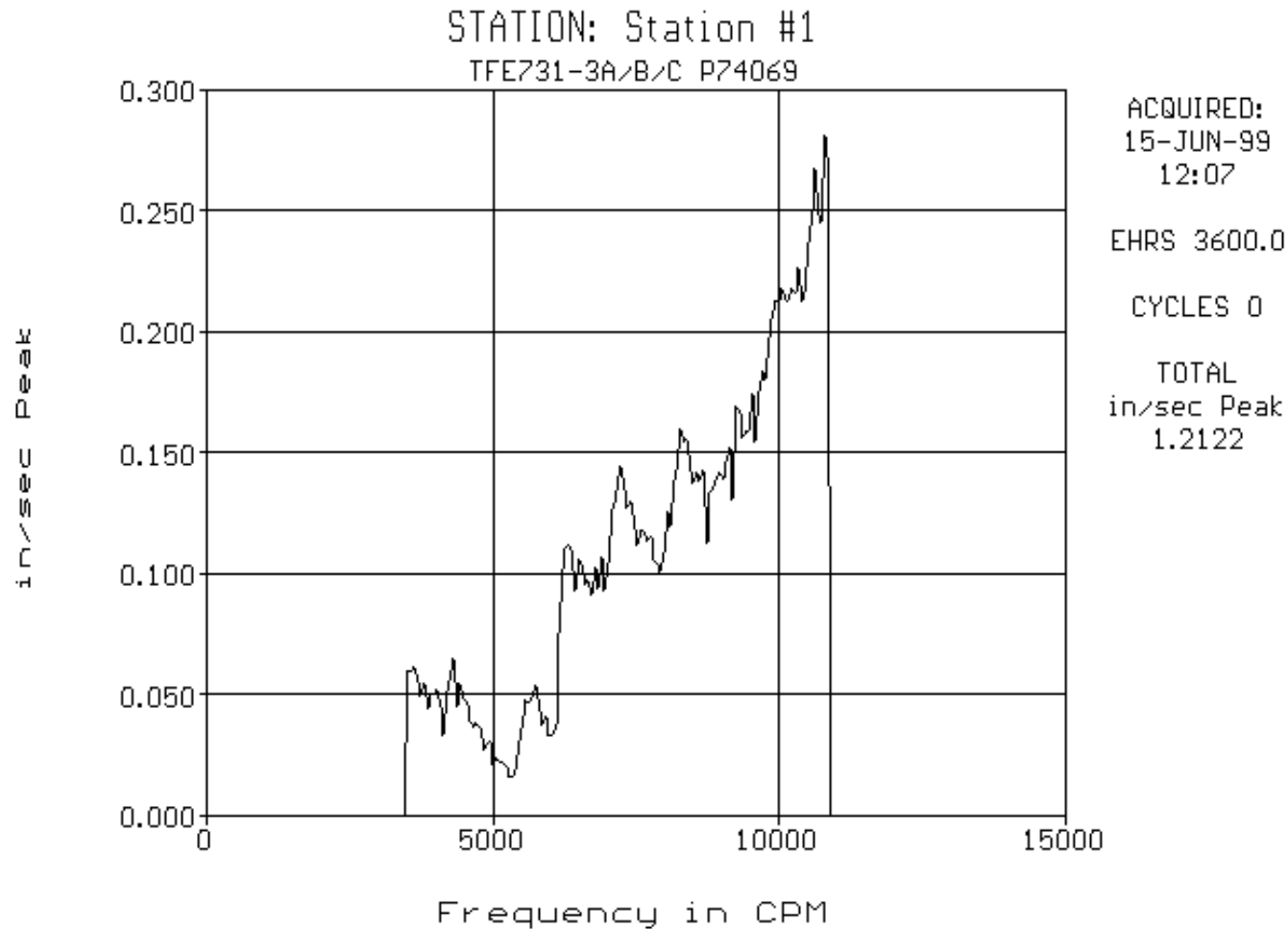
# Tipos de informes de vibraciones

## 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

# ■ Interpretación de vibraciones

Defina el rango de frecuencias de interés.

Identifique las frecuencias componentes.

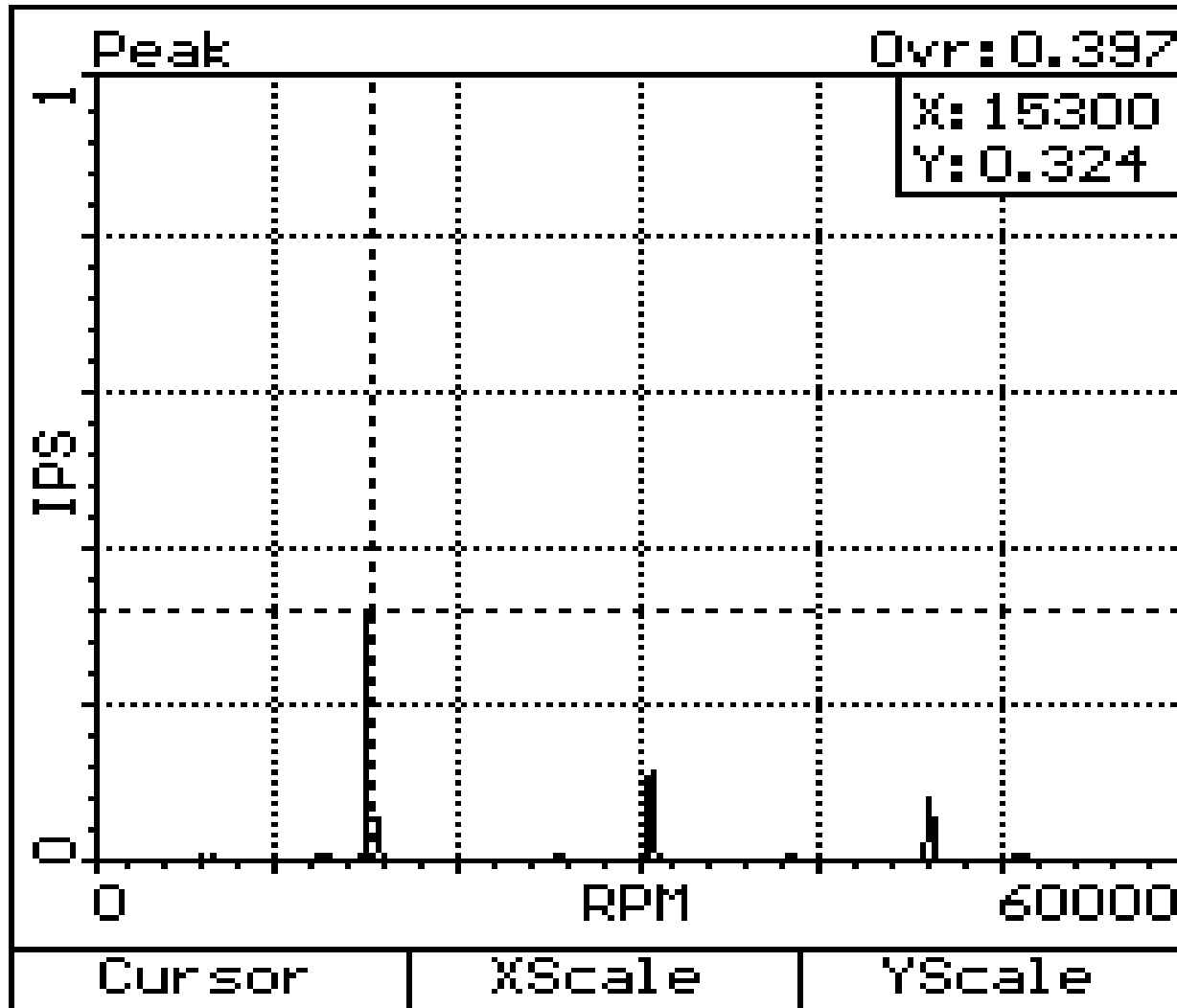
Diagrama de frecuencias

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.

# ■ 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



# || Interpretación de vibraciones

Normas aplicables al realizar medición de vibraciones





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

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

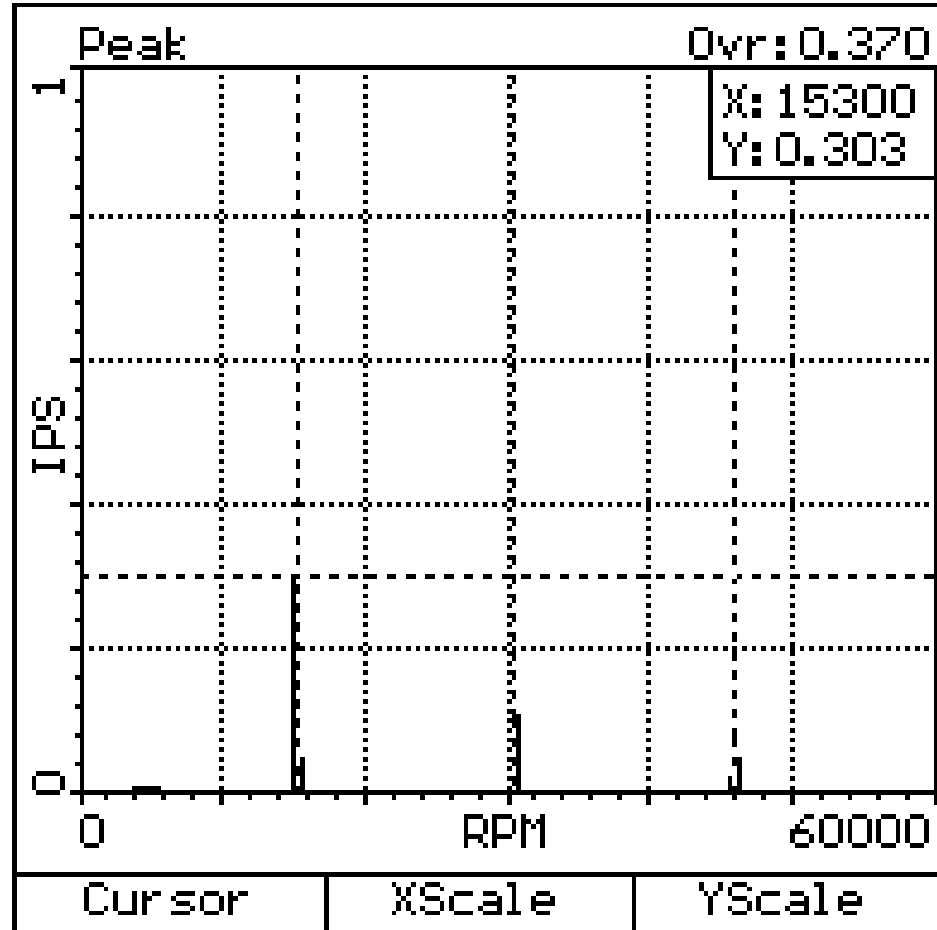
# ■ Interpretación de vibraciones

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

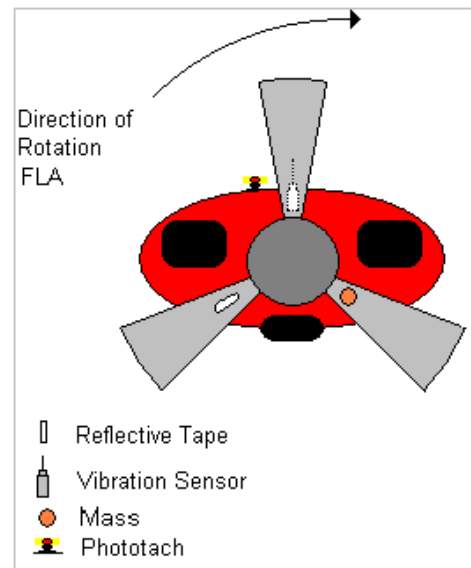




# FUNDAMENTOS DE BALANCEO

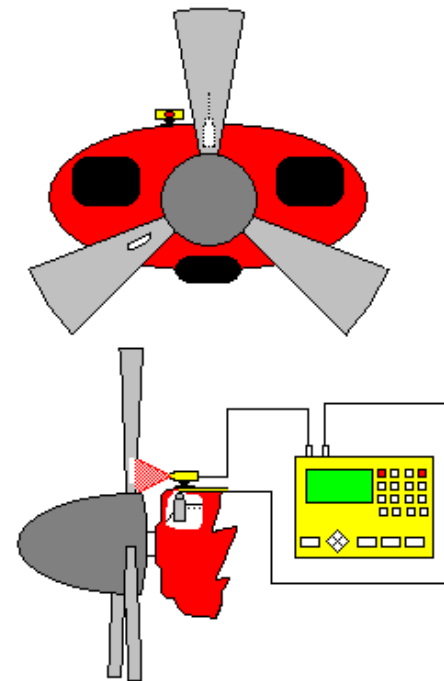
# Fundamentos del balanceado: Recolección y procesamiento de datos

► Se instala el sensor de vibraciones sobre el motor, tan cerca del frente como sea posible. Se monta una foto tacómetro sobre 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.



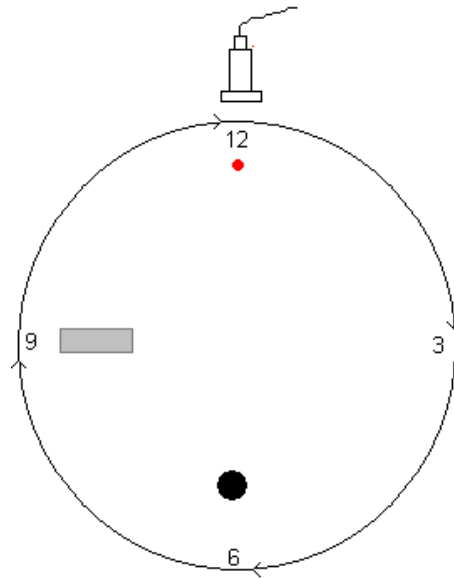
## Fundamentos del balanceado: Recolección y procesamiento de datos

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.



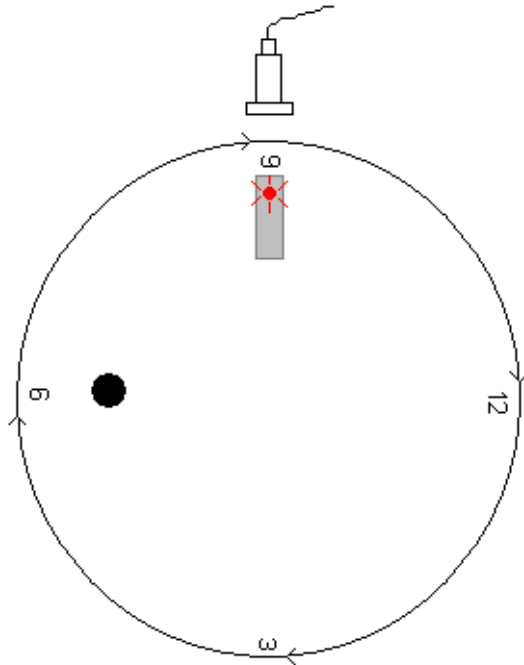
## Fundamentos del balanceado: Recolección y procesamiento de datos

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.

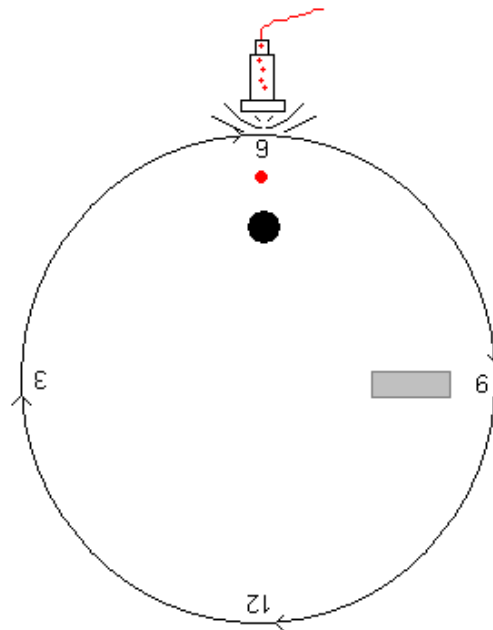




## Fundamentos del balanceado : Recolección y procesamiento de datos

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).



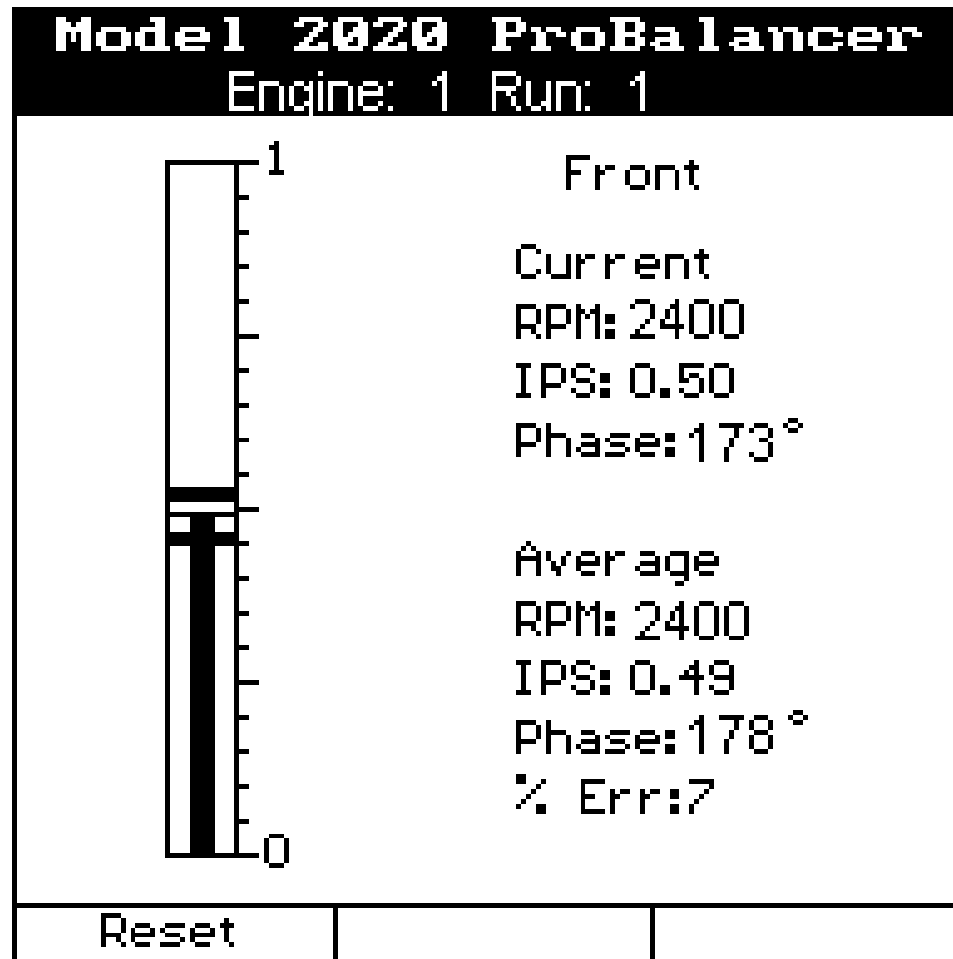


## Fundamentos del balanceado : Recolección y procesamiento de datos

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

# ■ 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)

## ■ 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>

## ■ 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