

Transductores y su tipología

El transductor es el elemento que transforma la vibración mecánica en una señal eléctrica analógica, para ser procesada, medida y analizada. Atendiendo a su principio constructivo, hay transductores de vibración de desplazamiento, velocidad y aceleración, cada uno de ellos más o menos idóneo a cada aplicación industrial.

Todos los transductores deben ser precisos a la hora de tomar las lecturas de amplitud, ofreciendo repetibilidad (dos señales de la misma amplitud tendrán que generar en el transductor la misma salida de tensión). Los transductores también deben ser muy precisos en la información de frecuencias de la señal mecánica. Esto es fundamental pues, en muchos defectos mecánicos, la relación entre sus frecuencias y la frecuencia del eje de giro que se toma como referencia, proporciona al analista la información precisa para determinar la naturaleza del defecto mecánico que genera la vibración.

Los tipos diferentes de transductores responden a parámetros diferentes de la fuente de vibración, como se puede apreciar en la Tabla 1.

Las medidas de desplazamiento son especialmente adecuadas en vibración a baja frecuencia, o cuando el analista necesita conocer el movimiento completo de un eje determinado. Estas medidas se toman directamente con transductores de desplazamiento.

Las lecturas de velocidad son generalmente las de mayor campo de aplicación, ya que la velocidad es directamente proporcional al esfuerzo y al desgaste de un sistema mecánico. Pueden ser tomadas con un sensor sísmico de velocidad, si bien se suele emplear con más asiduidad acelerómetros por su mejor respuesta en frecuencia y menor coste. La señal del acelerómetro es procesada para ser convertida a unidades de velocidad. Las lecturas de aceleración son las mejores para analizar fenómenos a altas frecuencias. La aceleración es el parámetro que ofrece la mejor medida de la fuerza asociada a una fuente particular de vibración.

Tipo		Sensibles a
Transductor de desplazamiento o sonda de proximidad		Desplazamiento
Transductor sísmico de velocidad o sonda de velocidad		Velocidad
Transductor piezoeléctrico o acelerómetro		Aceleración

Tabla 1: Tipos de transductores de vibración.

El procedimiento de convertir una señal de desplazamiento a velocidad o de velocidad a aceleración es equivalente a la operación matemática de diferenciación. De modo contrario,

la conversión de aceleración a velocidad o de velocidad a desplazamiento es la integración matemática. Es posible llevar a cabo estas operaciones con instrumentos que miden la vibración y de esta manera convertir los datos de cualquier sistema de unidades a cualquier otro. Desde un punto de vista práctico la diferenciación es un procedimiento ruidoso en si, y muy raras veces se lleva a cabo. La integración, por otra parte se lleva a cabo con mucha precisión, con un circuito electrónico muy barato. Esa es una de las razones de que el acelerómetro sea el transductor estándar para medición de vibraciones, ya que su señal de salida se puede integrar fácilmente una o dos veces para mostrar velocidad o desplazamiento. La integración no es adecuada para señales con una frecuencia muy baja (por debajo de 1 Hz), ya que en este área el nivel de ruido se va incrementando y la precisión del procedimiento de integración padece. La mayoría de los integradores disponibles comercialmente funcionan correctamente por encima de 1 Hz, lo que es lo suficientemente bajo para casi todas las aplicaciones de vibraciones.

Transductores de desplazamiento

El transductor de desplazamiento, conocido también como transductor "de corriente Eddy" o proxímetro, se aplica normalmente para bajas frecuencias (por debajo de 1.000 Hz) en cojinetes de fricción de turbomáquinas. Los proxímetros se emplean para medir el desplazamiento radial o axial de ejes. Se instalan en las cubiertas de rodamientos o a su lado y detectan el desplazamiento del eje en relación a su posición de anclaje. Un sistema de captación de proximidad de tipo Eddy se compone del propio sensor y un acondicionador de señal. Su respuesta en frecuencia es excelente. No tienen un límite inferior de frecuencia de trabajo y se emplean en la medición tanto de vibración como de la posición axial de ejes.



Figura 23: Transductores de corriente Eddy.

Ventajas del transductor de desplazamiento:

- Mide el movimiento relativo entre su punta y el eje de giro.
- Su empleo es de especial utilidad en maquinaria rígida donde se transmite muy poca vibración a la carcasa de la máquina. Esta situación se da si la masa de la carcasa es del mismo orden de magnitud que la del eje.
- Mide tanto la componente continua como alterna de una señal vibratoria. La tensión continua permite localizar físicamente el eje en el cojinete objeto de estudio. La tensión alterna suministra información de la forma de onda y del espectro de vibración, lo que permite diagnosticar y observar la evolución de defectos mecánicos.

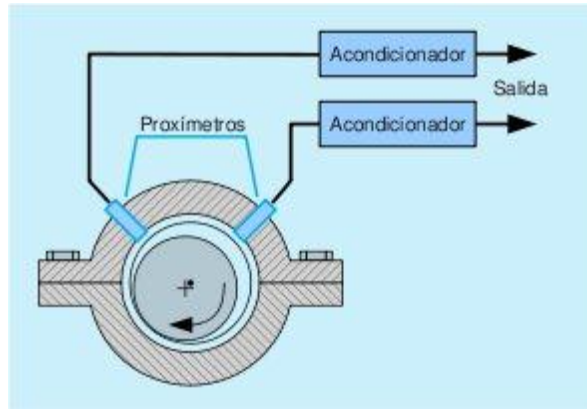


Figura 24: Proximetros en un cojinete.

Inconvenientes del transductor de desplazamiento:

- Estos transductores deben instalarse permanentemente. Esto es siempre costoso, e incluso imposible en algunos casos.
- El rango de frecuencias está limitado en cierto modo respecto a otros modernos transductores típicamente lineales entre 0-1.000 Hz.
- Se requiere un acondicionador de señal.
- Los transductores de desplazamiento se ven afectados por errores de lectura eléctricos y mecánicos. Incluso pequeñas grietas en el eje pueden hacer que el transductor las interprete como una gran actividad de vibración.

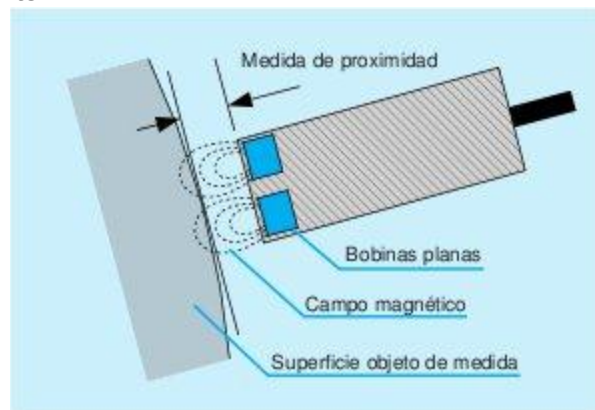


Figura 25: Esquema de un proxímetro.

Transductores sísmicos de velocidad

El transductor sísmico de velocidad se aplica a máquinas donde el eje transmite la vibración a la carcasa con poca amortiguación, es decir, las amplitudes de vibración en la carcasa son grandes. Se compone de un imán permanente ubicado en el centro de una bobina de hilo de cobre. Cuando la carcasa vibra, se crea un movimiento relativo entre el imán y el bobinado, induciéndose por la ley de Faraday una tensión proporcional a la velocidad del movimiento. Este tipo de dispositivo fue desarrollado para su uso industrial por primera vez a finales de los años 40 por Arthur Crawford, y su aplicación se extendió durante los años 60 y 70.

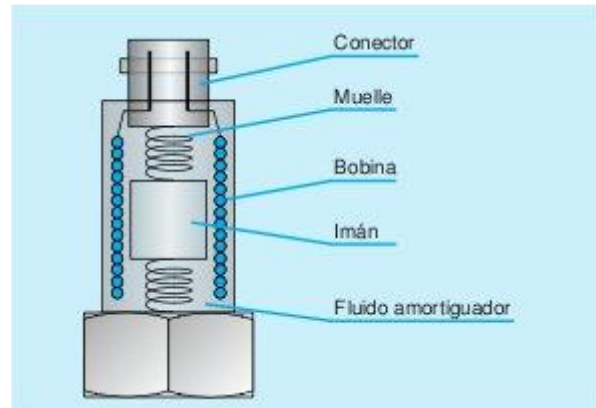


Figura 26: Transductor sísmico de velocidad.

Ventajas del transductor sísmico:

- Mide directamente la velocidad, que es proporcional a la severidad de la vibración.
- No se necesita fuente externa de alimentación, lo que permite enviar la señal eléctrica a lo largo de grandes distancias por cable, haciéndolo ideal para aplicaciones donde queden lejanos e instalados permanentemente.
- Sólo requiere una simple diferenciación o integración para convertir la señal a otras unidades de amplitud. Esto repercute en una mejor calidad del postprocesado de datos.
- Tienen una relación de señal muy buena respecto al ruido eléctrico de su rango de frecuencia de uso.

Inconvenientes del transductor sísmico:

- Las dimensiones del transductor son relativamente grandes, necesitando grandes bases magnéticas para su sujeción. En consecuencia, el rango de frecuencias es, en cierto modo, restrictivo: 10-1.000 Hz.
- La salida del transductor depende de la temperatura. A elevadas temperaturas, la salida se reduce al debilitarse el campo magnético. Sin embargo, se han desarrollado transductores específicos para altas temperaturas.
- La orientación de la medida, vertical u horizontal del transductor puede alterar la señal de salida del orden de un 5-10%.

- La calibración puede perderse por el desgaste y la temperatura.

Transductores piezoeléctricos

Este tipo de transductor genera una tensión eléctrica proporcional a la aceleración por presión sobre un cristal piezoeléctrico. Un acelerómetro piezoeléctrico puede captar con precisión señales entre 1 Hz y 15.000 Hz. Estos dispositivos son muy apropiados para tomar datos de vibración a alta frecuencia, donde aparecen grandes esfuerzos con desplazamientos relativamente pequeños. Algunos transductores especiales pueden medir frecuencias mucho más bajas y también mucho más altas. La recogida de datos de vibración a altas frecuencias depende del medio de fijación del transductor a la máquina. Un velocímetro piezoeléctrico se construye igual que un acelerómetro, pero con un amplificador de señal que realiza una integración lógica. Como esta etapa de integración se hace dentro del velocímetro, la salida de señal viene en unidades de velocidad. El velocímetro aprovecha las buenas características de respuesta en frecuencia de un acelerómetro, de modo que genera una salida lineal en un rango de frecuencia mucho mayor que el velocímetro sísmico.

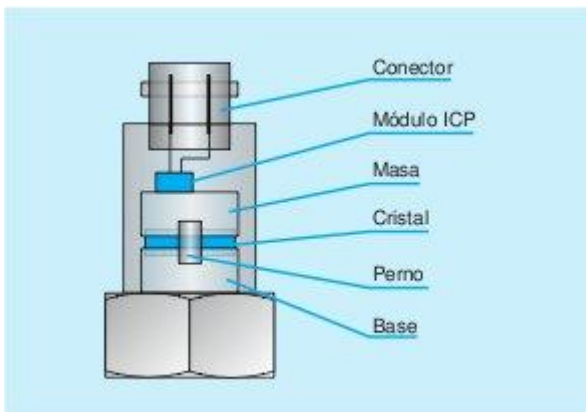


Figura 27: Transductor piezoeléctrico.



Figura 28: Acelerómetro piezoeléctrico.

Ventajas del transductor piezoeléctrico :

- La mayoría de los sensores tiene un amplio rango de frecuencia, normalmente entre 2 Hz y 15.000 Hz. Hay que observar que la respuesta en frecuencia depende del tipo de montaje del sensor en la máquina.
- Estos transductores son muy compactos, sin partes móviles, ligeros y de tamaño reducido, necesitando pequeñas bases magnéticas.

- El transductor del tipo ICP (Integrated Circuit Piezoelectric) tiene un acondicionador de señal interno. Aunque ICP es una marca registrada de PCB Piezotronics Inc., se ha convertido en un término genérico para referirse a un acelerómetro con amplificador integrado. También se les suele denominar con más precisión acelerómetros en modo voltaje.
- Se montan fácilmente con adhesivos o atornillados. También se puede disponer de bases magnéticas para montajes temporales o aplicaciones especiales.

Inconvenientes del transductor piezoeléctrico :

- Cuando se usa en modo "hand-held" o "stinger" para medir altas frecuencias, la respuesta de señal es muy pobre por encima de 1.200 Hz.
- Los acelerómetros necesitan una fuente de alimentación externa.
- La salida de amplitud viene dada en unidades de aceleración. Esta salida debe ser integrada para obtener la representación espectral o el valor global de amplitud de velocidad.

Técnicas de Fijación a la máquina

Existe un aspecto de gran importancia relativo a la colocación de los sensores de contacto. El método de sujeción del sensor en la máquina determina directamente el corte de altas frecuencias, ya que el contacto sensor-máquina actúa como un filtro mecánico. En la Tabla 2 se muestra la frecuencia límite según las distintas formas de sujeción de los sensores que aparecen en la Figura 29 agrupadas como temporales y permanentes.

Es preferible sujetar el sensor con la mano de forma directa sobre el punto a medir a utilizar varillas de extensión que actúan como amortiguadores. El mejor método de sujeción es, evidentemente, atornillando el sensor a la superficie de la máquina donde se va a medir, aunque, por su coste, solamente se utiliza este método en sistemas de monitorización en continuo. Para capturar señales a muy alta frecuencia (de 6 a 8 kHz), se recomienda la utilización de grasas y pegamentos a base de silicona.



En general, en la industria es muy difícil obtener medidas fiables de vibraciones a frecuencias por encima de 5 kHz. Los analizadores de vibraciones modernos disponen de rangos de frecuencia para medidas lineales que están muy por encima de los rangos de respuesta lineal de los sensores.

Forma de fijación	Frecuencia max. (Hz)
Sujeción manual	2000
Montaje con imán	5000
Montaje con adhesivo	6000
Montaje atornillado	7000

Figura 29: Técnicas de fijación.

Tabla 2: Límite frecuencial según la fijación.

Instrumentos de medida de vibración

La mayor parte del mantenimiento predictivo por análisis de vibraciones realizado en la actualidad, entra dentro de uno de los siguientes grupos:

- Medidas periódicas de espectros y valores globales.
- Monitorización en continuo de vibraciones.

Medición periódica de espectros y valores globales

Las medidas periódicas (también llamadas en ruta) se realizan con equipos portátiles, estos equipos atendiendo a su capacidad de análisis se pueden clasificar como:

- Vibrómetros de valor global: Analógicos y Digitales.
- Analizadores de frecuencia: Analógicos de banda de ajuste y Digitales FFT en tiempo real.

Los vibrómetros son instrumentos que reciben la señal eléctrica de un transductor y la procesan (filtrado, integración) para obtener el valor del nivel global de vibración. La mayoría de ellos están diseñados para tomar medidas según determinadas normativas de severidad de vibración. Por ejemplo, según la norma ISO 2372 se debe medir el valor de vibración en velocidad RMS, en un rango de frecuencia entre 10 y 1.000 Hz. Las principales ventajas de estos instrumentos son su fácil manejo, su poco peso y el coste asequible. Sus limitaciones son grandes, pues sólo sirven para medir amplitudes, ya que no están provistos de frecuencímetros.



Figura 30: Vibrómetro.

Otra de sus limitaciones hace referencia al rango de frecuencia, tanto por debajo (frecuencias subarmónicas en problemas de desgaste de correas, remolino de aceite, roces, etc.) como por encima (frecuencias de defectos en engranajes, rodamientos, cavitación, lubricación, etc.) del rango de medida.

Pero la limitación más importante de los vibrómetros es la imposibilidad de determinar la frecuencia a la que se produce la vibración y, por lo tanto, su origen mecánico. En la actualidad, el desarrollo de la instrumentación para medir vibración ha sido tan grande que ya existen en el mercado pequeños aparatos que, por un coste bastante razonable, realizan el análisis FFT y obtienen el espectro de frecuencia, permitiendo distinguir unos problemas de otros.

Los analizadores de frecuencia son pequeños ordenadores portátiles. Su principal virtud es la gran capacidad de diagnóstico de problemas asociados a frecuencias características de problemas mecánicos en elementos rotativos. Estos analizadores pueden ser analógicos de banda ajustable o digitales con microprocesador integrado FFT. Los primeros son antiguos, pesados, lentos e incómodos de manejar. Los segundos obtienen el espectro en tiempo real y disponen de multitud de funciones de ayuda al análisis. Estos ordenadores normalmente son muy robustos, pero el precio de su robustez (aparte del puramente económico) es que sus prestaciones son muy inferiores a lo que cabría esperar.



Figura 31: Analizador de frecuencia.

Normalmente estos colectores están basados en procesadores de la familia Intel 8086, o 80286, con unas velocidades de proceso bajas, y con muy poca memoria disponible para el almacenamiento de medidas. Entre las marcas que dominan el mercado destacan Pruftechnik, CSI, Predict, Bently Nevada, Entek IRD, Bruel & Kjaer, Diagnostic Instruments, Framatome, Schenck.

Las medidas en ruta se suelen realizar con un sensor (normalmente un acelerómetro) que se va fijando en los distintos puntos de medida situados en la máquina. La identificación de estos puntos en la máquina se puede realizar simplemente con pintura, aunque es más recomendable el empleo de una base fija para asegurar la repetibilidad de las medidas. Así mismo, el tipo de sujeción con la cual se conecta el acelerómetro a la máquina es determinante en la calidad de la medida de vibración obtenida. La sujeción manual, ampliamente usada hasta hace unos años, ha dado paso a otro tipo de fijaciones de mayor calidad, como puede ser el empleo de imanes o la conexión rígida a elementos de fijación en la propia máquina. La identificación de los puntos de medida también se ha visto mejorada con la introducción de elementos de ayuda, como el empleo de códigos de barras. Sea cual sea el sistema empleado para la medida, todos los datos quedan guardados en la memoria del colector. Esta memoria suele ser, como ya se ha comentado, bastante limitada, y normalmente volátil (se pierde cuando se agotan las baterías). Por tanto, para realizar las tendencias de vibración (elemento fundamental en el mantenimiento predictivo) hay que

descargar estas medidas en un ordenador de sobremesa, dotado de un paquete específico de software. Esta descarga se realiza normalmente a través del puerto serie del ordenador, cuya baja velocidad hace que el proceso pueda requerir bastante tiempo. El tiempo empleado en la medida de vibraciones, así como el usado en el procesado de estos datos por el ordenador, tiende a minimizarse, ya que es un tiempo que no implica ningún valor añadido. Hay que tener en cuenta que el verdadero valor obtenido por el mantenimiento predictivo, y en el que habría que invertir todo el tiempo posible, es en el análisis de las vibraciones, no en su toma. Por tanto, se han desarrollado métodos para disminuir el tiempo de medida de vibraciones (sensores triaxiales, fijaciones especiales,...), así como el de análisis (sistemas automáticos de diagnóstico). Aquellos puntos de medida que son de difícil o peligroso acceso, se suelen dotar de sensores colocados de forma permanente. Estos sensores se cablean hasta una caja de conexiones, a la cual se conecta el colector durante la toma de medidas en ruta.

Monitorización en continuo de vibraciones

La toma de datos de vibración en máquinas evoluciona hacia sistemas automatizados (sistemas en continuo o "on-line") que ofrecen mayores beneficios que la adquisición de datos con colectores portátiles:

- Reducción drástica de los intervalos de toma de datos. Ya que estos se toman de forma continua. Permitiendo detectar inmediatamente los cambios de vibración en la máquina.
- Menor coste de explotación. Al ser la toma de datos automática eliminamos el coste de la mano de obra por tomar los datos de vibración de la máquina.
- Mayor calidad en la toma de datos. La exactitud en el punto de medida de datos es mayor, puesto que siempre se mide en el mismo sitio y con el mismo sensor y además podemos condicionar la toma de datos siempre que se den unas determinadas condiciones de operación (velocidad y carga dadas).

Los sistemas de monitorización en continuo normalmente presentan el problema del gran coste que supone su instalación, comparado con el de un sistema portátil. Este coste incluye los sensores, el cableado en la planta, así como los gastos de los propios registradores de vibración. Hay que prestar especial atención al cableado de los acelerómetros, ya que es importante que estos den una buena señal de vibración. Para ello hay que evitar fuentes de interferencias electromagnéticas (cables de alta tensión principalmente), así como cables excesivamente largos.

Hoy en día, gran parte de los registradores de monitorización en continuo sólo tienen en cuenta el valor global de vibración, por lo que se ven limitados a la hora de realizar diagnósticos precisos de los fallos de las máquinas. En el caso de querer instalar un sistema permanente con la capacidad de análisis de espectros, el coste sube de manera importante.



Figura 32: Sistema de monitorización en continuo.

