

## Análisis de vibraciones e interpretación de datos

Jesús A. Royo

Gloria Rabanaque

**Fernando Torres**

DIDYF Universidad de Zaragoza

El análisis de vibraciones, la termografía, el análisis de lubricantes, entre otras son técnicas de mantenimiento predictivo que permiten hallar las causas de posibles fallos anticipándose a la avería.

Para la implantación de un mantenimiento predictivo resulta imprescindible la realización de un programa y una organización que aseguren el seguimiento constante y riguroso de los elementos que componen la empresa.

### Programa de mantenimiento predictivo

Los pasos en que se basa el programa de mantenimiento predictivo se pueden explicar de la siguiente forma. El programa de mantenimiento predictivo sigue una secuencia lógica desde que se detecta un problema, se estudia, se encuentra su causa, y finalmente se decide la posibilidad de corregirlo en el momento oportuno con la máxima eficiencia. Los pasos de que consta son tres:

- *Detección: Reconocimiento del problema.*
- *Análisis: Localización de la causa del problema.*
- *Corrección: Encontrar el momento y forma de solucionar el problema.*

Como se ha dicho, la detección consiste en encontrar un problema en la maquinaria. Para ello es necesario un seguimiento constante y riguroso del nivel de vibraciones de una máquina. El intervalo entre mediciones depende de cada equipo y puede variar desde dos meses a una medición continua, según el tipo e importancia en el proceso. Los puntos elegidos para tomar vibraciones son aquellos donde puede ser posible encontrar un defecto que afecte al buen funcionamiento de la maquinaria, serán lugares en los que se alojen rodamientos, ventiladores, engranajes o uniones entre ejes. En los puntos a medir se tomarán valores de velocidad, aceleración o desplazamiento, en función de la situación del punto y de las características de la máquina.

El aparato utilizado será un colector de datos junto con un programa informático que almacene los valores recogidos en las revisiones rutinarias sobre los elementos de la fábrica. A partir de un histórico de datos de los puntos de cada máquina es posible detectar un problema cuando la tendencia de valores aumenta o se modifica notablemente.

El siguiente paso es analizar el problema detectado, una vez que se ha encontrado éste, se identifican sus posibles causas. Este estudio es complicado, depende en cada caso del punto donde aparece el defecto, la posición y el entorno de la máquina. No existen rasgos que caractericen de una forma inequívoca una causa de exceso de vibración, si no que la experiencia, el sentido común y el conocimiento de cada máquina son puntos esenciales.

Por último, el paso a seguir es la corrección del fallo detectado y analizado, así, una vez encontrado un problema y analizado sus causas, es necesario estudiar las acciones a realizar para solucionarlo, a la vez que buscar el momento adecuado para su reparación, intentando que esta sea lo más eficiente posible y que afecte de forma mínima el proceso de producción, aprovechando para ello una parada o una situación en la que la carga de trabajo para la máquina sea menor que en otras.

### Organización del programa de mantenimiento predictivo

Un estricto y constante seguimiento de las vibraciones de las máquinas proporciona un aviso previo a un fallo que puede obligar a su paro repentino, con lo que esto puede conllevar desde el punto de vista de producción.

A la vez, este tipo de mantenimiento puede disminuir costes en los cambios de elementos programados y que todavía pueden continuar trabajando por más tiempo. Es por tanto una forma de mejorar la eficiencia de un mantenimiento preventivo.

En la organización del mantenimiento predictivo son importantes los siguientes nueve pasos:

#### 1. Reconocimiento de la planta

En primer lugar, antes de la implantación del mantenimiento predictivo es preciso decidir la necesidad y eficacia en una empresa. Esta decisión estará en función del tipo de máquinas, de la cantidad y de su importancia en el proceso.

#### 2. Selección de las máquinas

Dentro de una fábrica se hará un estudio de vibraciones de acuerdo a un calendario establecido de aquellos equipos que forman parte del proceso de producción de una forma esencial, es decir, de aquellos cuyo fallo provocaría pérdidas importantes

desde el punto de vista de producción, por pérdidas económicas, dificultad y cantidad de tiempo en volver a arrancar. De igual modo, se seguirá de forma constante la parte de la maquinaria que por su tamaño o valor económico, productivo sean importantes para la empresa.

### *3. Elección de técnicas óptimas para verificar*

Forma de efectuar la verificación, decidir qué, cómo, cuándo, dónde se han de realizar las mediciones.

### *4. Implantación del predictivo*

El programa de implantación del predictivo debe contener:

- Máquinas a estudiar.
- Sistema de medición, toma de datos y análisis de los mismos.
- Datos para comparar.
- Conocimiento del tipo de mantenimiento y de los medios para tomar datos.

### *5. Fijación y revisión de datos y límites de condición aceptable*

Para fijar un límite según valores que pueden llamarse normales es esencial contar con un histórico de datos obtenido en repetidas mediciones. Un valor medio de los datos obtenidos dará el nivel de vibración aceptable de cada uno de los puntos medidos. Los límites que marcan que un valor sea aceptable serán fijados según este histórico de datos y de la experiencia. Al principio, cuando no se tiene un conjunto de valores que permitan estimar si una vibración está dentro de los límites que marcan su normalidad, la aceptación de un valor se hará mediante las instrucciones del fabricante y con las gráficas de severidad.

### *6. Mediciones de referencia*

Siempre se tendrá una medida de referencia con la que se compararán cada una que se tome para ver si está entre los límites de aceptabilidad.

### *7. Recopilación, registro y análisis de las tendencias.*

Aquí se tratará de detectar un posible defecto en la máquina.

### *8. Análisis de la condición de la máquina*

En este paso se confirmará si existe realmente un fallo y se determinarán sus causas y la evolución que pueden sufrir.

### *9. Corrección de fallos.*

## **Vibraciones**

### ***Definición y características***

Para empezar se puede dar una definición y características de la vibración. La vibración es el movimiento de vaivén de una máquina o elemento de ella en cualquier dirección del espacio desde su posición de equilibrio. Generalmente, la causa de la vibración reside en problemas mecánicos como son: desequilibrio de elementos rotativos; desalineación en acoplamientos; engranajes desgastados o dañados; rodamientos deteriorados; fuerzas aerodinámicas o hidráulicas, y problemas eléctricos. Estas causas como se puede suponer son fuerzas que cambian de dirección o de intensidad, estas fuerzas son debidas al movimiento rotativo de las piezas de la máquina, aunque cada uno de los problemas se detecta estudiando las características de vibración.

Las características más importantes son: frecuencia, desplazamiento, velocidad, aceleración, *spike energy* (energía de impulsos).

La frecuencia es una característica simple y significativa en este análisis. Se define como el número de ciclos completos en un período de tiempo. La unidad característica es cpm (ciclos por minuto). Existe una relación importante entre frecuencia y velocidad angular de los elementos rotativos. La correspondencia entre cpm y rpm (ciclos por minuto-revoluciones por minuto)

identificará el problema y la pieza responsable de la vibración. Esta relación es debida a que las fuerzas cambian de dirección y amplitud de acuerdo a la velocidad de giro. Los diferentes problemas son detectados por las frecuencias iguales a la velocidad de giro o bien múltiplos suyos. Cada tipo de problema muestra una frecuencia de vibración distinta.

La amplitud de la vibración indica la importancia, gravedad del problema, esta característica da una idea de la condición de la máquina. Se podrá medir la amplitud de desplazamiento, velocidad o aceleración. La velocidad de vibración tiene en cuenta el desplazamiento y la frecuencia, es por tanto un indicador directo de la severidad de vibración. La severidad de vibración es indicada de una forma más precisa midiendo la velocidad, aceleración o desplazamiento según el intervalo de frecuencias entre la que tiene lugar, así para bajas frecuencias, por debajo de 600 cpm, se toman medidas de desplazamiento. En el intervalo entre 600 y 60.000 cpm, se mide velocidad, y para altas frecuencia, mayores a 60.000 cpm, se toman aceleraciones.

La velocidad es otra característica importante en la vibración, gráficamente se puede ver en la figura 1.

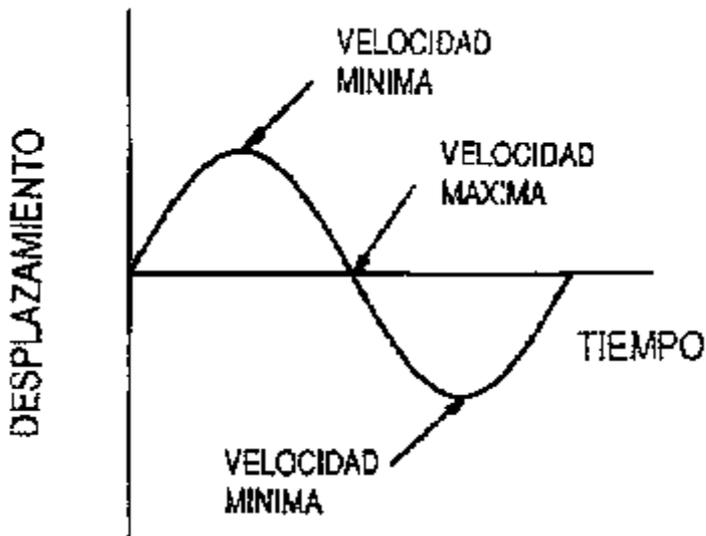


Fig. 1. Gráfica de la velocidad de un objeto que vibra.

Se mide la velocidad de pico mayor de todo el recorrido que realiza el elemento al vibrar. La unidad es mm/s. El cambio de esta característica trae consigo un cambio de aceleración. La velocidad tiene una relación directa con la severidad de vibración, por este motivo es el parámetro que siempre se mide. Las vibraciones que tienen lugar entre 600 y 60.000 cpm se analizan teniendo en cuenta el valor de la velocidad.

La aceleración está relacionada con la fuerza que provoca la vibración, algunas de ellas se producen a altas frecuencias, aunque *velocidad y desplazamiento sean pequeños* En la figura 2, se puede ver la aceleración de vibración.

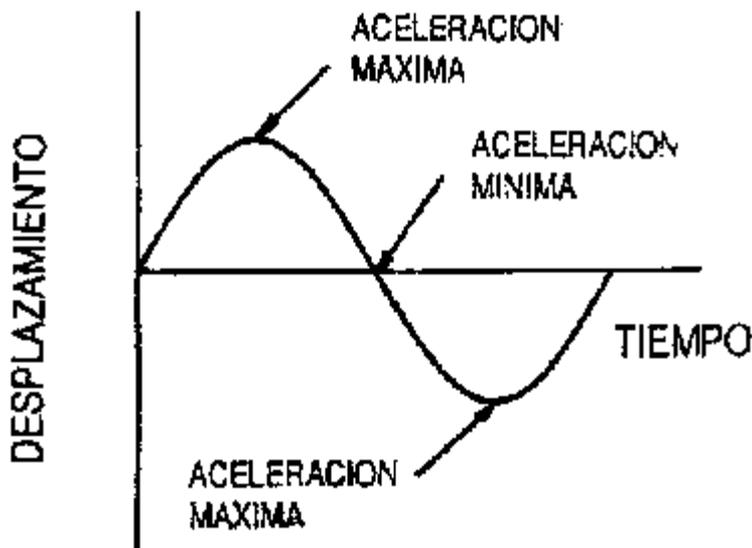


Fig. 2. Gráfica de la aceleración de un objeto que vibra.

El *spike energy* o energía de impulsos proporciona información importante a la hora de analizar vibraciones. Este parámetro mide los impulsos de energía de vibración de breve duración y, por lo tanto, de alta frecuencia.

Pueden ser impulsos debidos a: Defectos en la superficie de elementos de rodamientos o engranajes. Rozamiento, impacto, contacto entre metal-metal en máquinas rotativas. Fugas de vapor o de aire a alta presión. Cavitación debida a turbulencia en fluidos.

Sin este parámetro es muy difícil detectar engranajes o rodamientos defectuosos. Con esta medida se encuentran rápidamente las vibraciones a altas frecuencias provocadas por estos defectos. El valor de *spike energy* es básicamente una medida de aceleración, pero tiene como unidad g-SE.

### Severidad de vibración

Un punto importante a la hora de hablar de vibraciones es conocer la severidad de vibración, ella indica la gravedad que puede tener un defecto. La amplitud de la vibración expresa la gravedad del problema, pero es difícil establecer valores límites de la vibración que detecten un fallo.

La finalidad del análisis de vibraciones es encontrar un aviso con suficiente tiempo para poder analizar causas y forma de resolver el problema ocasionando el paro mínimo posible en la máquina.

Una vez obtenido un histórico de datos para cada elemento de las máquinas que se estudian, el valor medio refleja la normalidad en su funcionamiento. Desviaciones continuas o excesivas indicarán un posible fallo que será identificado después, teniendo en cuenta la frecuencia a la que se producen las mayores vibraciones.

Cuando no se posee histórico de datos para una máquina, puede analizarse la severidad de vibración teniendo en cuenta las siguientes gráficas (figs. 3 y 4):

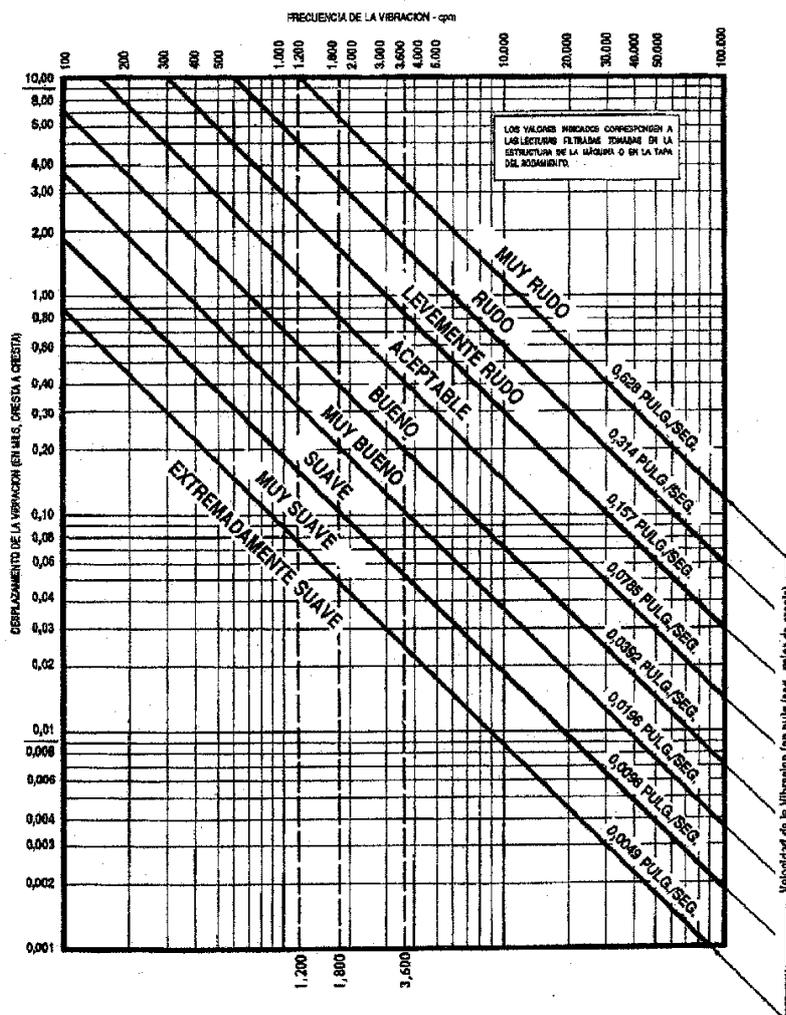


Fig. 3. Gráfica de la severidad de la velocidad y el desplazamiento.

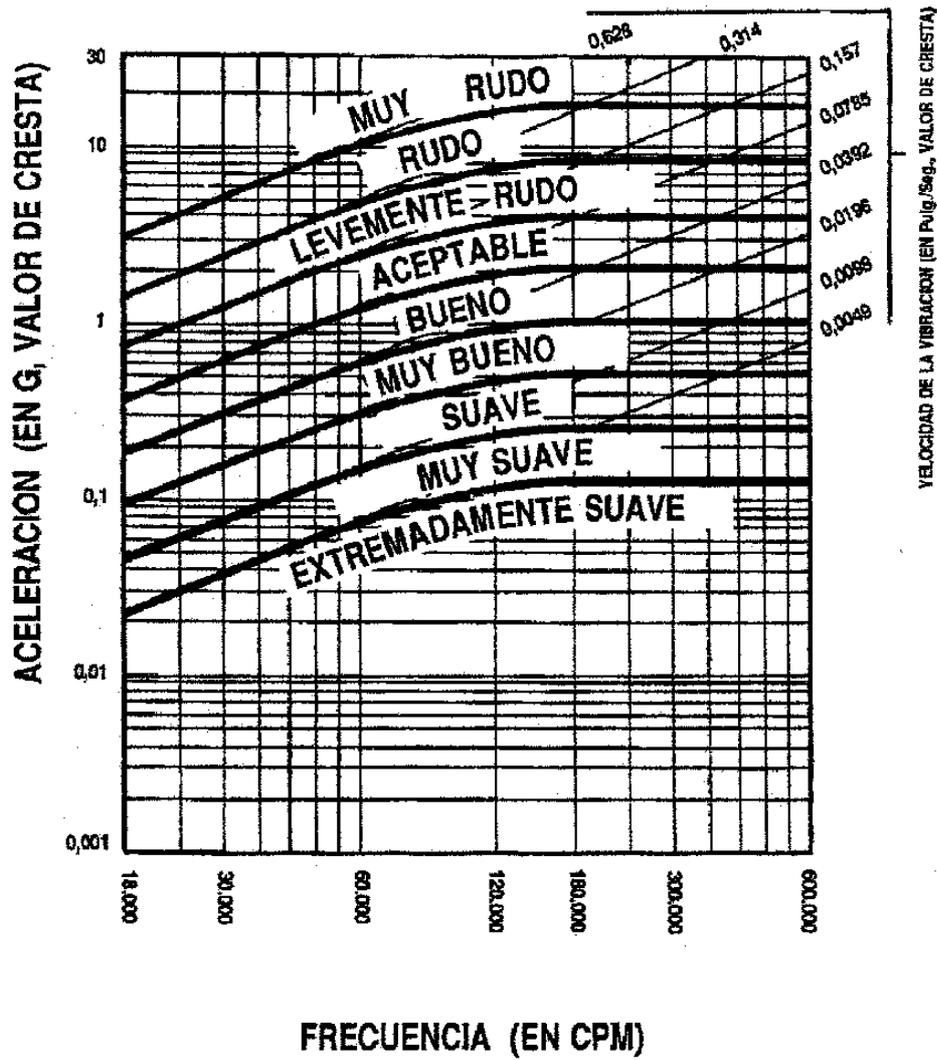


Fig. 4. Gráfica de la severidad de la velocidad de aceleración.

## Análisis

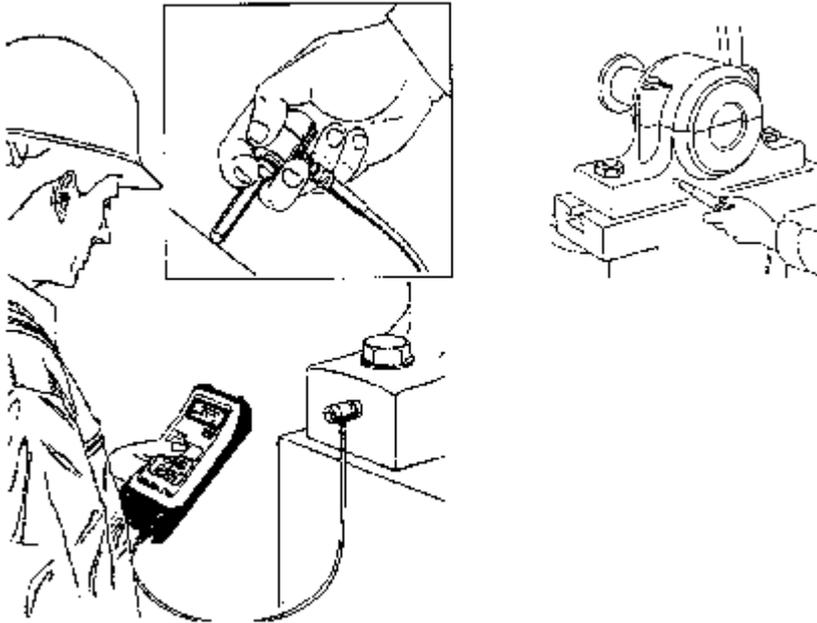


Fig. 5. Toma de datos con transductor.

La esencia del estudio de vibraciones es realizar el análisis de las mismas. El análisis de datos consta de dos etapas: adquisición e interpretación de los datos obtenidos al medir la vibración de la máquina. El fin a alcanzar es determinar las condiciones mecánicas del equipo y detectar posibles fallos específicos, mecánicos o funcionales.

La adquisición de datos es el primer y principal paso a dar para hacer un análisis de vibraciones. Los datos a tomar, desplazamiento, velocidad o aceleración dependerán de la velocidad de la máquina, de acuerdo con su relación equivalente de frecuencia ( $\text{rpm}=\text{cpm}$ ). Así,

para bajas rpm, (bajos cpm), se tomarán datos de desplazamientos. Para velocidades que estén dentro del orden de 600 y 60.000 rpm, se medirán velocidades. Y para los que sean de orden superior, los datos a tomar serán aceleraciones (fig. 5).

Pasos a seguir en la adquisición de datos:

1. Determinación de las características de diseño y funcionamiento de la máquina, como son: velocidad de rotación de la máquina, tipo de rodamiento, engranaje y condiciones del entorno en que esté situada como es el tipo de apoyo, acoplamiento, ruido, etc. También habrá que tener en cuenta las condiciones de funcionamiento como velocidad y cargas entre otras que normalmente afectarán a las mediciones de vibración.

2. Determinación de la finalidad de la vibración que podrá incluir:

Medidas de rutina para detectaren un momento determinado un posible fallo y determinar las causas que lo originan.

Medidas para crear un histórico de datos y con él obtener un valor de base, sobre el que estará el valor de vibración que deba tener la máquina cuando sus condiciones de trabajo sean normales.

Toma de datos antes y después de una reparación, la medida de antes pondrá de manifiesto el problema, elemento defectuoso y será más eficaz así su reparación. Después de la reparación se tomarán medidas que indiquen la evolución del elemento sustituido o la corrección del defecto existente.

3. Selección de los parámetros de medición: desplazamiento, velocidad, aceleración, *spike energy*. Ellos determinarán el transductor a utilizar.

4. Determinación de posición y dirección de las medidas con los transductores, la vibración se tomará generalmente en rodamientos de la máquina o puntos donde sea más probable un fallo por acoplamiento, equilibrio, puntos donde se transmitan las fuerzas vibratorias. Los tres sentidos principales en una medición son horizontal, vertical y axial. Sentidos radiales son horizontal y vertical, y se toman con eje del transductor a 90° respecto al eje de rotación, como se observa en la figura 6.

5. Selección del instrumento de medición y transductores.

6. Determinación del tipo específico de datos requeridos para la interpretación de las medidas realizadas. Así se ahorrará tiempo a la hora de realizar las medidas y se obtendrá de estas, información más útil en el análisis.

Los datos obtenidos pueden ser: valores de magnitud total, espectro de frecuencias amplitud-frecuencia que indica el tipo de problema existente, amplitud-tiempo para vibraciones transitorias rápidas o vibraciones muy lentas, spike energy en rodamientos, engranajes y

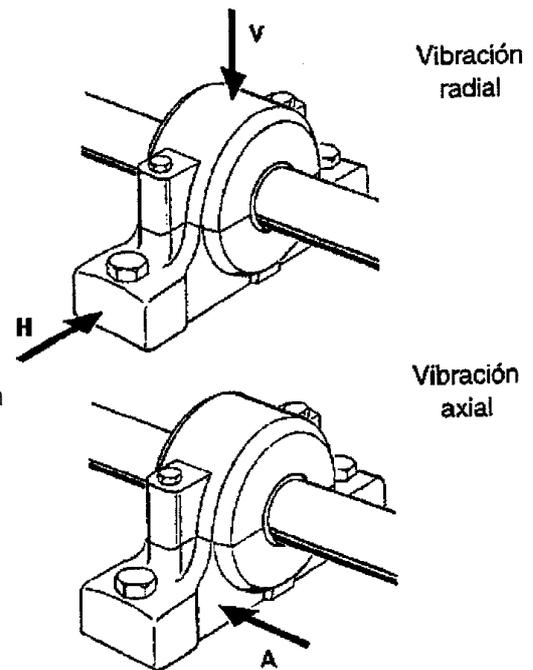


Fig. 6. Sentido de toma de datos en una silla.

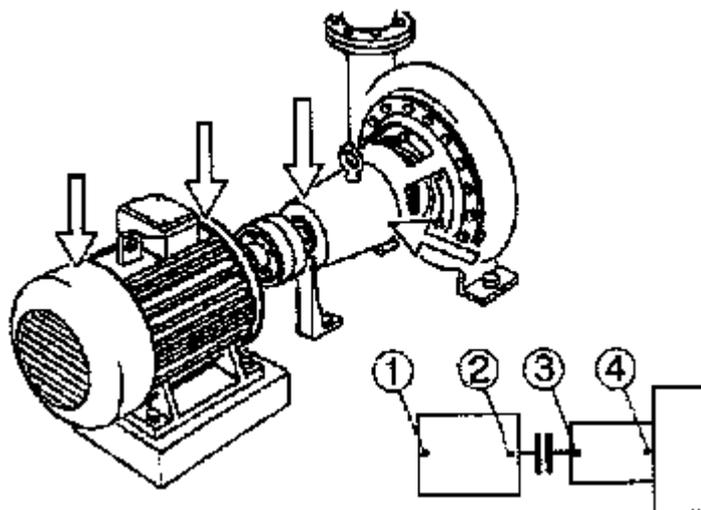


Fig. 7. Puntos de toma de datos de motor y bomba.

problemas de cavitación (fig. 7).

7. Toma de datos. Paso esencial en el análisis, precisa de atención y fiabilidad de las medidas tomadas.

A la hora de la adquisición de datos es importante tener en cuenta:

- Secuencias de medición, tomar datos correctos y lo más rápido posible, evitan tiempo perdido.
- Lugar de toma de datos siempre será el mismo, con el transductor unido de una forma firme, para la veracidad de los datos.
- Seguimiento de la máquina, es decir, mantener un contacto con los operarios que trabajan con ella y los de mantenimiento, ellos serán las personas que conocen de cerca la máquina.

- Controlar el entorno exterior de la máquina, aspecto, ruido, etc.
- Atender tendencias inesperadas. Estar preparado para tomar mas datos, medidas cuando pueda haber signos de algún problema.
- Mantener sólo datos coherentes, tomados con precisión.
- Comparar con máquinas similares y en igual forma de trabajo.

Por tanto, se puede decir que la toma de datos es un paso esencial para un buen análisis de vibraciones. Para una buena interpretación de los datos es necesario tener unos datos fiables que hayan sido tomados de una forma metódica y precisa. Así podrá hacerse un diagnóstico de algún problema lo más exacto posible.

## Identificación de causas de vibraciones. Interpretación de datos

Una vez obtenidos de una forma metódica y precisa los datos de vibraciones de una máquina donde se ha detectado un problema, es necesario identificar cual ha sido su causa y así buscar la forma y momento de reparación más eficiente, es decir, que elimine el fallo y su coste económico sea el mínimo posible.

Un defecto puede localizarse al comparar las amplitudes de las vibraciones tomadas. Normalmente una máquina que funciona correctamente tiene valores que suelen seguir una línea con tendencia ligeramente ascendente o constante. Cuando en algún momento los valores aumentan o la tendencia asciende de una forma inesperada, se puede pensar en la presencia de algún problema.

Generalmente los valores de amplitud que se comparan son los de velocidad, una vez observado que esta ha aumentado de una forma inesperada, es importante comparar los valores de la energía de impulsos (g), estos valores indicarán la gravedad del problema. Así un fallo puede detectarse al encontrar una tendencia de velocidad ascendente de forma imprevista y unos valores del parámetro g altos. También es posible que existiendo un problema haya valores de *spike energy* altos y de repente disminuyan y poco a poco aumenten, esto puede dar lugar a un fallo total, donde la máquina deje de funcionar. Valores altos de *spike energy* pueden ser indicadores en la mayor parte de los casos de problemas de rodamientos, acoplamientos y en los casos más extraños de problemas hidráulicos.

Generalmente la máxima amplitud de vibración se da en los puntos donde se localiza el problema, aunque muchas veces la vibración es transmitida a otros puntos de la máquina aunque en ellos no se encuentre el problema. El análisis de las gráficas puede indicar el tipo de defecto existente, pero muy pocas veces aparecen problemas únicos y por tanto espectros donde se refleje un defecto claramente. La experiencia y el conocimiento de la máquina son dos factores fundamentales a la hora de identificar la causa que produce una vibración importante.

Es esencial una vez corregido el problema seguir la evolución de la reparación, de esta forma se conocerá si realmente existía el defecto, si estaba situado en el punto con máxima vibración y lo que es más importante, seguir la evolución tras la reparación y asegurarse que el problema ha desaparecido.

El estudio de los datos de vibraciones, de sus espectros es la base para encontrar las causas y la forma de corregir el defecto que ellas indican. Sólo es importante prestar especial atención a las vibraciones que vayan acompañadas de otros efectos como ruido, pérdida de aceite o cualquier fallo, o bien los valores de amplitudes que sean excesivos comparados con otros en funcionamiento correcto, en esos casos se analizará la forma de los espectros que identificarán las causas de los problemas.

Los problemas mecánicos más comunes en las máquinas que producen vibraciones son desequilibrio entre ejes, falta de alineación de acoplamientos, defectos en rodamientos y engranajes y problemas eléctricos. A continuación se pueden ver la forma de identificar estos problemas analizando los datos y espectros de vibraciones.

### Desequilibrio

Esta es una de las causas más probable de que exista vibración en las máquinas, en casi todos los elementos es fácil encontrar un pico en el gráfico de amplitud frente a frecuencia, que denote un pequeño desequilibrio.

Como se puede ver en el siguiente gráfico (fig. 8) hay un pico en una frecuencia que coincide con la velocidad de giro.

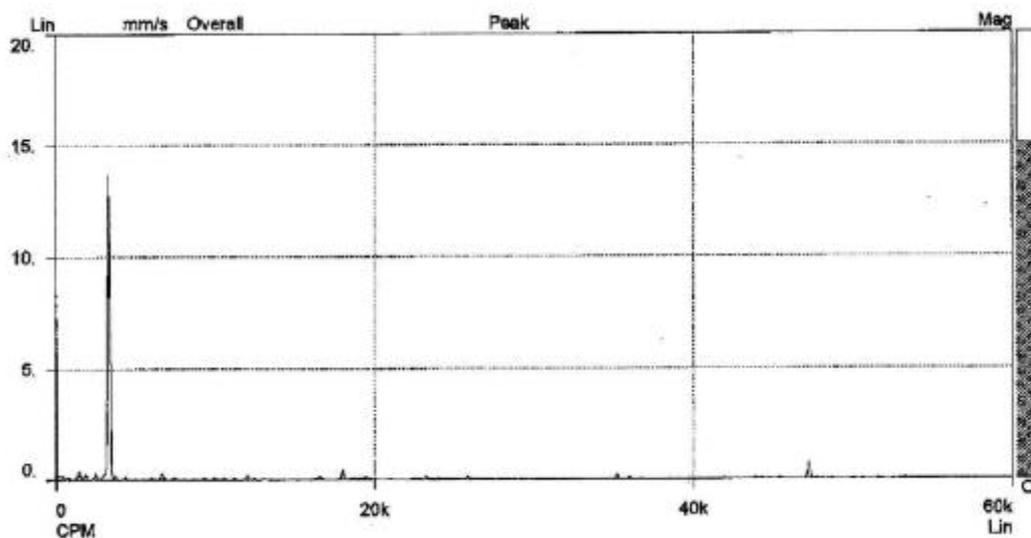
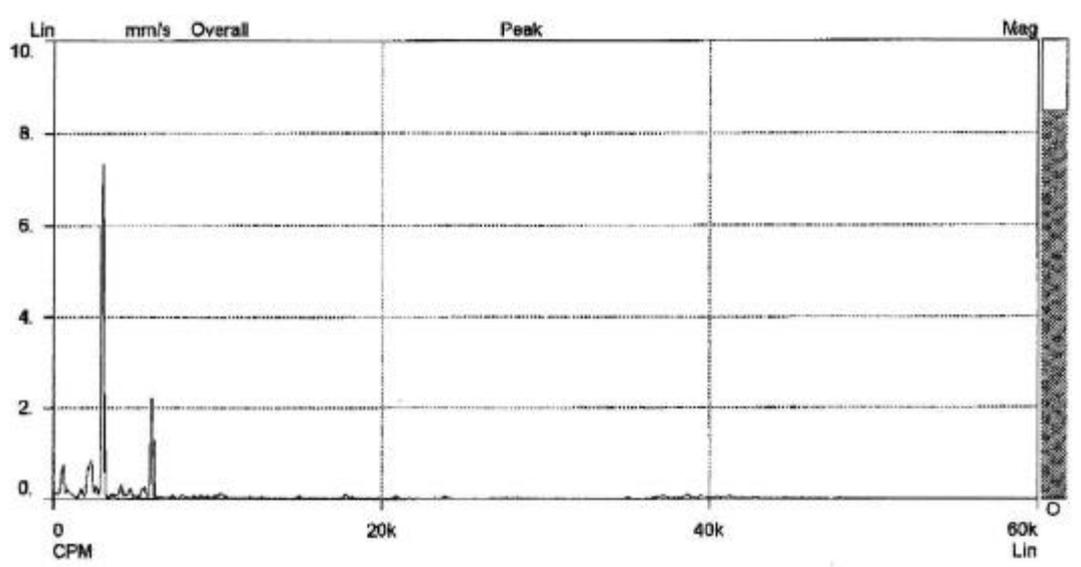


Fig. 8. Espectro de velocidad de un problema de desequilibrio.

Para conocer la cantidad de desequilibrio hay que encontrar la amplitud de la vibración en la frecuencia igual a 1 x rpm. La amplitud es proporcional a la cantidad de desequilibrio. Normalmente, la amplitud de vibración es mayor en sentido radial (horizontal y vertical) en las máquinas con ejes horizontales, aunque la forma de la gráfica sea igual en los tres sentidos. Como se ha dicho antes, para analizar datos de vibraciones son tan importantes la experiencia y el conocimiento de la máquina como los datos tomados en ella. Cuando aparece un pico en frecuencia igual a 1 x rpm. El desequilibrio no es la única causa posible, la desalineación también puede producir picos a esta frecuencia. Al aparecer vibraciones en esta frecuencia como otras causas posibles están los engranajes o poleas excéntricas, falta de alineamiento o eje torcido si hay alta vibración axial, bandas en mal estado (si coincide con sus rpm), resonancia o problemas eléctricos, en estos casos además del pico a frecuencia de 1 x rpm habrá vibraciones en otras frecuencias.

## Desalineación



Es un problema muy común debido a la dificultad que supone alinear dos ejes y sus rodamientos de forma que no se originen fuerzas que produzcan vibraciones.

La forma de vibración de un eje torcido es similar a la de una mala alineación angular.

Para reconocer una vibración debida a una desalineación en la gráfica se pueden ver picos a frecuencias iguales a la velocidad de giro del eje, de dos o tres veces esta velocidad en situaciones donde este problema sea grave. Un ejemplo del espectro de este problema se observa en la figura 9, la forma de la gráfica será similar en las tres direcciones, variando únicamente la amplitud. Igual que en todos los casos, la amplitud es proporcional a la gravedad del defecto, aquí de desalineación. Este fallo puede presentar alta vibración en sentido axial además de radial. Así siempre que exista una alta vibración en axial y radial, y si la axial es mayor que la mitad de la radial puede existir un problema de desalineación o ejes torcidos.

En la figura 10 se pueden ver los tres tipos básicos de desalineación, en paralelo, angular y una combinación de ambos.

La falta de alineación en paralelo, figura 11, produce sobre todo vibración en dirección radial con frecuencia igual al doble de la velocidad de giro del eje.

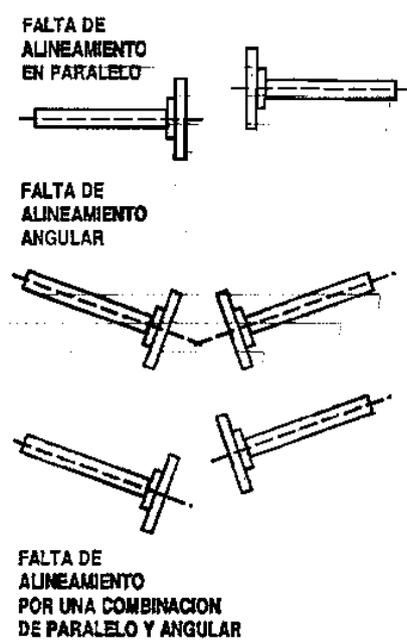


Fig. 10. Tipos de falta de alineación.

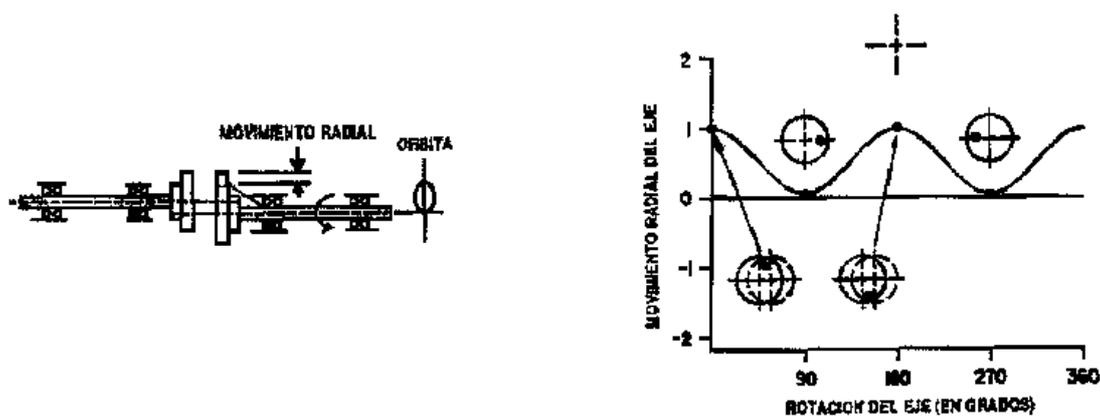


Fig. 11. Falta de alineación en paralelo.

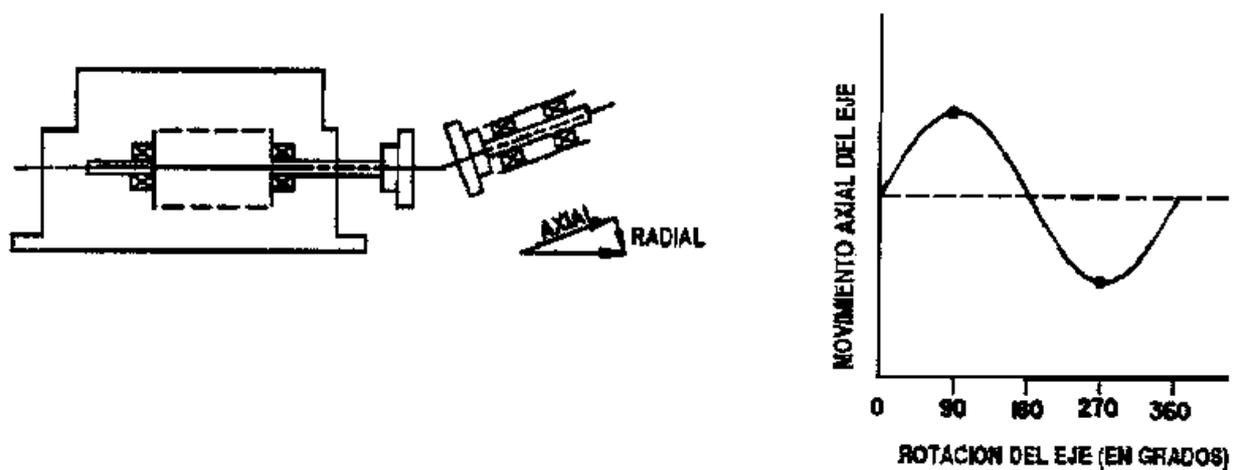


Fig. 12. Falta de alineación angular.

La falta de alineación angular, representada en la figura 12, da vibración en dirección axial en los dos ejes a una frecuencia

igual a 1 x rpm.

Las condiciones de una desalineación no siempre llevan consigo un acoplamiento.

Una desalineación entre eje y su rodamiento, figura 13, es un ejemplo usual de este defecto y que sólo se elimina corrigiendo la colocación del rodamiento.

Un casquillo mal alineado con su eje, como se ve en la figura 13, no crea vibración importante, a menos que además exista un problema de desequilibrio, este defecto sería el que produciría una falta de alineación.

## Engranajes

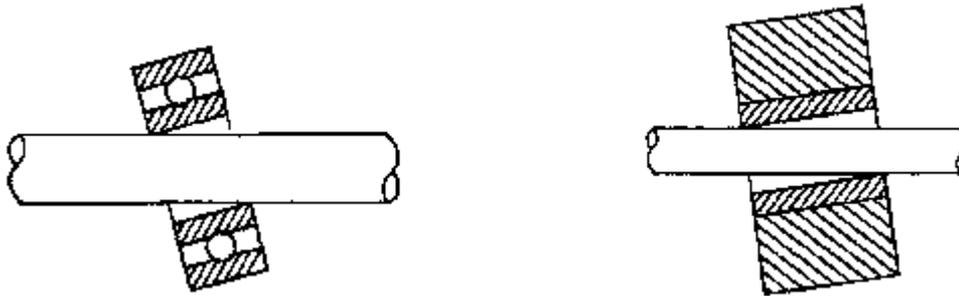


Fig. 13. Rodamiento y casquillo mal alineados respecto al eje.

Este defecto se puede observar al encontrar picos a frecuencias que coinciden con múltiplos enteros de la velocidad de giro del engranaje que falla, además existirá vibración de amplitud menor de forma simétrica a la frecuencia del engranaje. En la figura 14 se pueden observar picos de valor importante a frecuencias que son múltiplos de la velocidad de giro de un piñón, de forma simétrica a estos picos existen otros de valor muy pequeño y separados una distancia igual a la velocidad de giro.

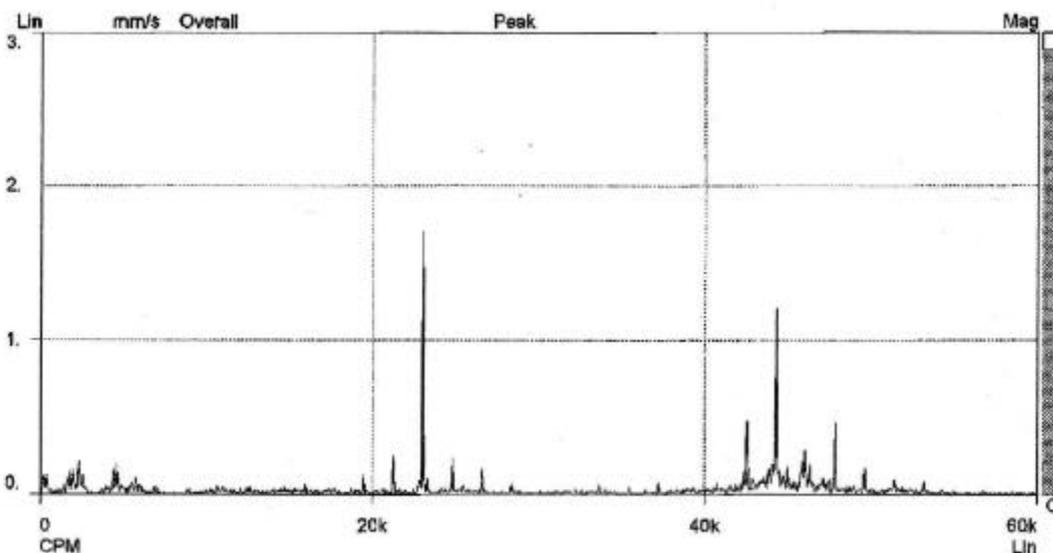


Fig. 14. Espectro de velocidad de un problema de engranaje.

Los problemas de engrane que dan esta vibración son: desgaste excesivo de los dientes, inexactitud de los dientes, fallos de lubricación, elementos extraños entre dientes. Las vibraciones causadas por defectos de engranajes pueden ser detectadas en varios puntos de las máquinas. Esta es una característica que diferencia una gráfica causada por un engranaje con poca carga y la vibración producida por un rodamiento, ya que el diagrama de amplitud frente a frecuencia puede dar lugar a confusión cuando la carga del piñón es baja.

Tanto el fallo de engranaje como el de un rodamiento, llevan consigo también la aparición de ruido.

## Problemas eléctricos

La vibración es creada por fuerzas desiguales que pueden ser causadas por la forma interna de elemento. Es complicado reconocer gráficamente este problema, ya que no tiene características que indiquen de forma sencilla que esta es la causa de vibración.

El espectro puede llevar a errores por ser similar a la del desequilibrio, solo que aquí al desconectar la corriente el problema

desaparecerá. Se detectarán picos mayores a distancias iguales a cuatro veces la velocidad de giro si los polos son cuatro, distinguiendo la vibración separada una frecuencia coincidente con la velocidad de giro. En la figura 15 se ve el espectro que da este tipo de problema.

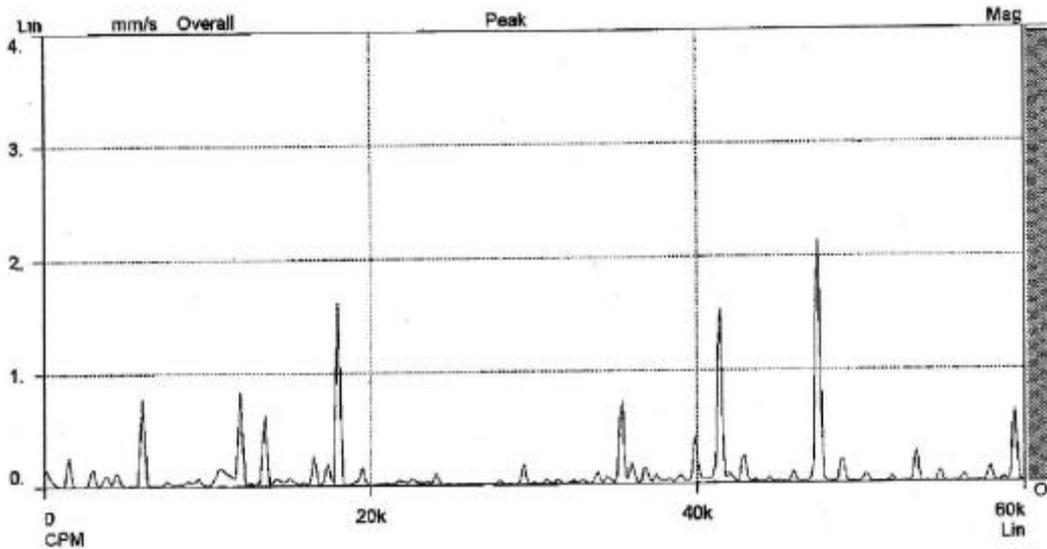


Fig. 15. Espectro de velocidad de un problema eléctrico.

## Rodamientos

Fallos en elementos del rodamiento dan vibración a unas frecuencias altas no relacionadas con la velocidad de rotación y de amplitud también aleatoria. A continuación, en las figuras 16 y 17 se pueden observar los espectros de velocidad y aceleración, respectivamente, de un rodamiento de bolas defectuoso.

Es relativamente fácil reconocer este fallo a ver la gráfica de amplitud-frecuencia, ya que se caracteriza por tener muchos picos juntos a altas frecuencias y de amplitud variable que dependerá de la gravedad del problema. La frecuencia a la que se produce la máxima amplitud puede dar una idea del elemento defectuoso del rodamiento. Los defectos en elementos rodantes, pistas de rodamiento o jaula de retención generan fuerzas que se transmiten al alojamiento y estructura que les rodea.

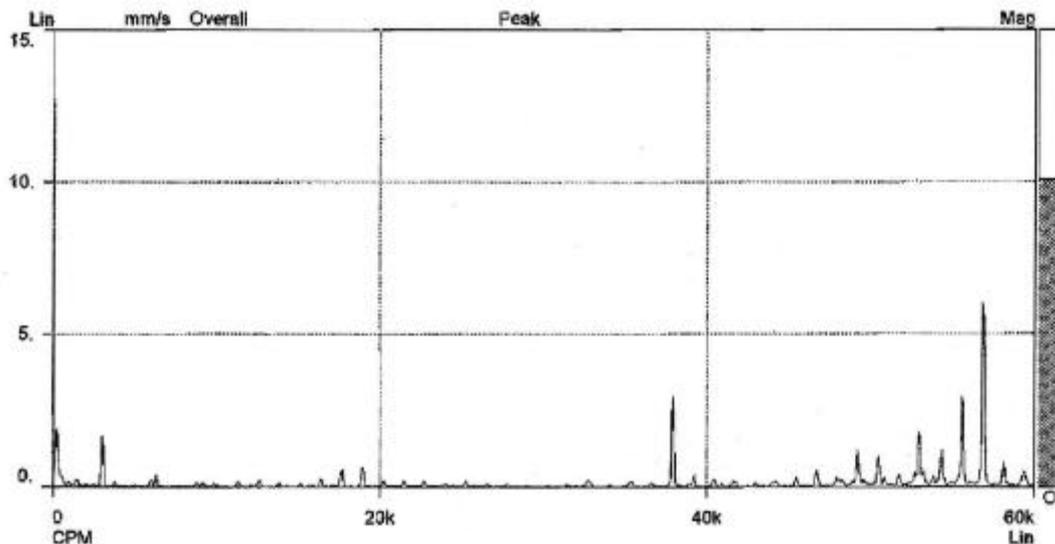


Fig. 16. Espectro de velocidad de un rodamiento defectuoso.

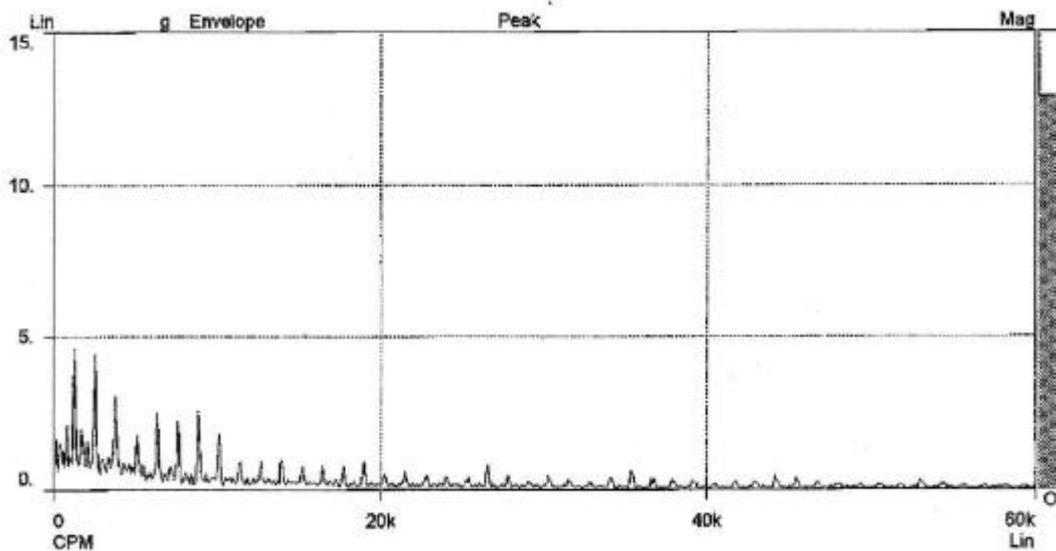
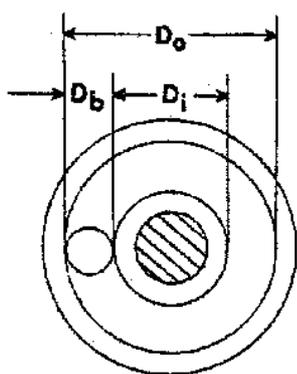


Fig. 17. Espectro del parámetro g de un rodamiento defectuoso.



Nota: Eje en rotación, pista de deslizamiento externa fija

Defecto de la jaula o de una bola  $F_{\text{jaula}} = \frac{D_i}{D_i + D_o} \times \text{rpm}$

Defecto de una bola  $F_{\text{bola}} = \frac{D_o}{D_o} \times \frac{D_i}{D_i + D_o} \times \text{rpm}$

Defecto de la pista de deslizamiento interna  $F_{\text{int}} = \frac{D_o}{D_i + D_o} \times M \times \text{rpm}$

Defecto de la pista de deslizamiento externa  $F_{\text{ext}} = \frac{D_i}{D_i + D_o} \times M \times \text{rpm}$

Donde:  $D_i$  = diámetro de la pista de deslizamiento interna  
 $D_o$  = diámetro de la pista de deslizamiento externa  
 $D_b$  = diámetro de la bola  
 $M$  = cantidad de bolas en el rodamiento  
 $\text{rpm}$  = velocidad de rotación del eje  
 $F$  = frecuencia del defecto en cpm

Para detectar que tipo de fallo existe se ha de obtener la frecuencia a la que la amplitud es mayor y comparar con las calculadas según las fórmulas dadas en la figura 18.

Cuando esta es la causa de la vibración es importantísimo conocer el valor de *spike energy*, con este parámetro se puede intuir la gravedad del problema. La gráfica que representa g-frecuencia indica que la vibración del rodamiento a alta frecuencia es inestable y generada al azar.

Así el estado de la máquina se identifica según la siguiente tabla:

	Nivel de vibración			
Estado máquina	Desplazamiento	Velocidad	Aceleración	<i>Spike energy</i>
Buenas condiciones	Normal	Normal	Normal	Normal
Rodamiento defectuoso Funcionamiento	Normal	Normal	Normal	Alto
Rodamiento defectuoso Funcionamiento	Normal	Normal	Alto	Alto
Problemas Analizar, parar	Normal	Alto	Alto	Alto
Problemas Analizar, parar	Alto	Alto	Alto	Alto

El fallo de un rodamiento se detecta sólo en la medida realizada en él, es decir, no se transmitirá al resto de los puntos de la máquina. Exteriormente el rodamiento defectuoso se notará por el exceso de ruido.

Los rodamientos son elementos importantes en la máquina y cuyo fallo puede dar problemas más graves, por eso es necesario tener un especial cuidado con ellos. Pueden fallar por errores en el montaje, lubricación inadecuada, defectos internos en la fabricación, corriente eléctrica, desalineación, rodamiento no preparado para la carga que soporta. Estas son las causas más comunes de fallo.

Por tanto, el análisis de vibraciones es una técnica, que aunque no exacta, es capaz de encontrar fallos en máquinas, anticipándose a la avería. Las ventajas de realizar este tipo de mantenimiento son la desaparición de fallos repentinos en los equipos estudiados, conocimiento del estado de la máquina en cada momento. Así se disminuyen los costes económicos por reparaciones imprevistas, paro en el proceso de producción, cambios de elementos que todavía pueden seguir funcionando, aumento de la eficiencia y disminución de costes de una parada, además de todo esto, ayuda a mejorar el mantenimiento preventivo a realizar en la fábrica. Detrás de todo esto las ventajas que ofrece este estudio son sobre todo de tipo económico, de seguridad frente a averías repentinas.