



Capítulo 11

Análisis de Rodamientos

Temas:

- F0** Análisis de vibraciones y rodamientos
 - o La vibración cambia a medida que el rodamiento falla
 - o Frecuencias forzadas – geometría del rodamiento
 - o Limitaciones del análisis del espectro clásico
 - F1** Cuatro etapas de falla del rodamiento
 - o Severidad y vida
 - o Patrones de vibración
 - F1** Técnicas de prueba
 - o Envolvente
 - o Shock Pulse®
 - o PeakVue®
 - o Spike Energy®
 - o Análisis de forma de onda de tiempo
 - o Análisis del espectro
 - F0 F1** Casos de estudio

Introducción

En este capítulo vamos a ver las muchas técnicas de análisis de vibración que se pueden aplicar para diagnosticar fallas de rodamientos, y discutiremos las cuatro etapas del desgaste del rodamiento. Este capítulo abarcará el análisis del espectro, el análisis de la forma de onda de tiempo, las técnicas de envolvente (y demodulación) y las técnicas adicionales de análisis de alta frecuencia: Shock Pulse, Spike Energy, PeakVue y emisión acústica.

Después de completar esta sección usted debe entender cómo aplicar estas técnicas para que pueda detectar con confianza las fallas de los rodamientos desde la etapa más temprana, y realizar un seguimiento seguro de su estado a través de las cuatro etapas de desgaste.

Confiabilidad

En este capítulo aprenderemos cómo detectar fallas y monitorear su condición; sin embargo, es importante revisar primero lo que se debe hacer con el fin de extender la vida útil del rodamiento. Como analista de vibración, puede considerar que es su trabajo simplemente detectar la falla. Eso debería ser sólo una parte de la descripción del trabajo. Si los rodamientos se especificaran, transportaran, almacenaran, instalaran, lubricaran y operaran correctamente, entonces proporcionarían un servicio confiable durante muchos años. Lamentablemente, casi todos los factores antes mencionados no son atendidos – como resultado, sólo el 10% de los rodamientos alcanzan 1su vida útil de diseño.

Cuando los rodamientos fallan, podemos experimentar tiempo de inactividad, daños secundarios, costos de mano de obra adicionales (horas extras) e incluso lesiones al personal. Deseamos evitar estos gastos innecesarios.

Pero la pregunta es, ¿qué puede hacer usted con el problema? ¿Qué está dispuesto a hacer con el problema?

Básicamente hay dos caminos que podemos tomar- y debemos tomar ambos caminos. Podemos hacer lo que está a nuestro alcance para asegurarnos de obtener la vida más larga del rodamiento, y podemos monitorear el rodamiento para que poder tomar las acciones más apropiadas antes de que falle.

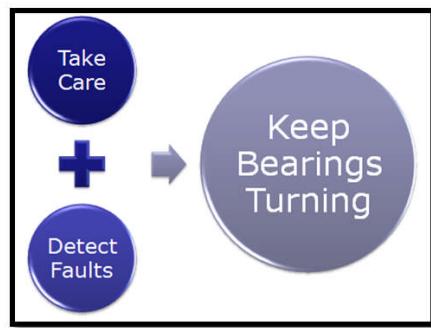


Figura 11-1

El diseño deficiente, las malas prácticas de instalación y el mantenimiento deficiente conducen a una vida útil reducida del rodamiento.

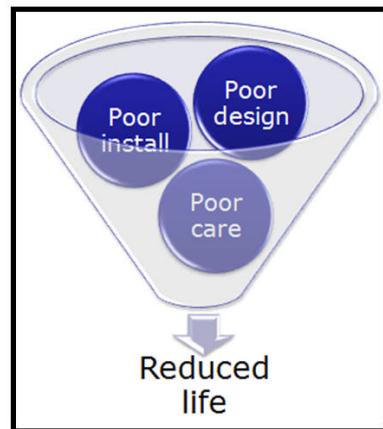


Figura 11-2

Como se indicó anteriormente, y como se ha acordado generalmente en la industria, menos del 10% de los rodamientos alcanzan su vida útil de diseño. El siguiente gráfico destaca la razón principal por la que esto es cierto.

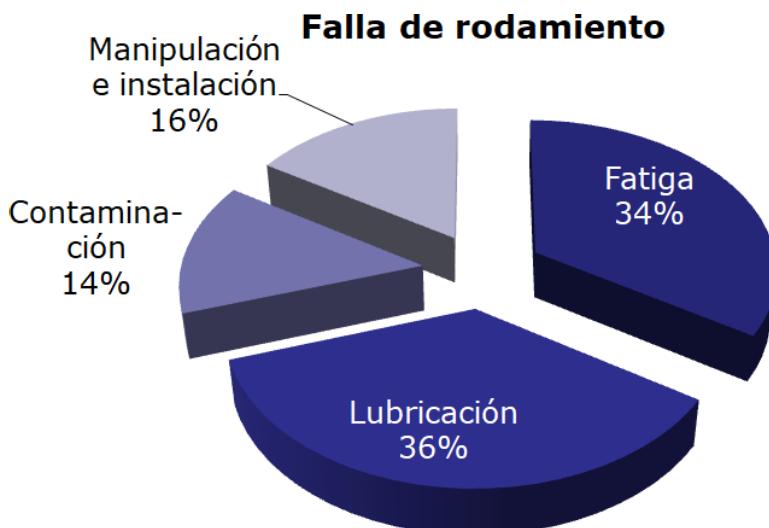


Figura 11-3

Fatiga: 34%

- Fatiga normal o pura
 - o Con un diseño, instalación, lubricación y contaminación ideales, se puede seleccionar un rodamiento para una vida útil de fatiga infinita
- Cargas añadidas
 - o Estas cargas, por encima y más allá de las cargas de diseño, reducen la vida útil de un rodamiento por fatiga.
- Las cargas añadidas disminuyen la vida útil del rodamiento en función cúbica (aproximación, varía según el tipo de rodamiento)
- ¡Un aumento de carga del 10% debido a la desalineación, reduce la vida útil calculada del rodamiento en un tercio!

Lubricación: 36%

- ¿Es realmente una falla de lubricación?
- Separe el tipo de lubricante del proceso de lubricación
 - o Demasiado
 - o Muy poco
 - o Tipo incorrecto
- Evidencia de diagnóstico y análisis inadecuados
 - o Cambiar el tipo de lubricante para resolver un problema de lubricación
 - o No entender la aplicación y el entorno

Contaminación: 14%

- ☒ Las teorías de la vida útil del rodamiento se basan en un rodamiento y lubricante libres de contaminantes
- ☒ Fuentes de contaminación
- ☒ Tipos de sellos
- ☒ Prácticas pobres de mantenimiento
 - Lavado a presión
 - Técnicas de instalación
- ☒ A menudo, cuanto mejor sea el sello, más sensible a los ajustes, tolerancias y desviaciones del eje
- ☒ ¿Cuáles son las verdaderas causas raíz de la contaminación?

Mala manipulación e instalación: 16%

- ☒ Tal vez la más evitable de todas las fuentes de fallas de rodamientos
 - Los ajustes y tolerancias son críticos
 - Las herramientas y habilidades adecuadas son esenciales
- ☒ Almacenamiento, transporte
 - Antes y después de la instalación
- ☒ Los mecanismos de falla se crean antes de que el eje haga su primer giro

El enfoque proactivo

- ☒ Rodamiento correcto para la aplicación
- ☒ Técnicas adecuadas de instalación de rodamientos
- ☒ Habilidades proactivas para el balanceo, el montaje, la alineación
- ☒ Régimen de lubricación
- ☒ Almacenamiento, transporte, manipulación
- ☒ Funcionamiento adecuado
- ☒ Entrenamiento, entrenamiento, entrenamiento
- ☒ Es hora de hacer todos estos trabajos correctamente

Está claro que si los rodamientos se transportan, almacenan, especifican, instalan y operan correctamente, y si están lubricados correctamente, entonces tendrían la mejor oportunidad de permanecer en funcionamiento durante el mayor tiempo posible.

Condiciones de falla del rodamiento

Este capítulo se centra en el desgaste o la fatiga de los rodamientos; el proceso de degradación progresiva del rodamiento a lo largo del tiempo que implica desprendimiento, agrietamiento y pérdida de metal. Sin embargo, hay condiciones de falla adicionales relacionadas con los rodamientos de elementos rodantes que debemos tener en cuenta.

Primero debemos preocuparnos por la lubricación. Demasiado lubricante o muy poco lubricante acortará la vida útil de los rodamientos. Hay maneras de detectar estos problemas, y se discutirá en breve.

En segundo lugar, debemos preocuparnos por los errores de instalación y ajuste. Estos temas se tratan con mayor detalle en otros lugares, sin embargo, el siguiente es un resumen:

Rodamientos torcidos

- o El rodamiento puede estar torcido en la pista interna y/o en la pista externa. El análisis del espectro, respaldado por el análisis de fase le permitirá detectar estas condiciones.

Soltura del rodamiento en el eje o alojamiento

- o El análisis de espectro y de forma de onda de tiempo pueden ayudarle a detectar una holgura excesiva, y puede intentar diagnosticar que el rodamiento está girando en la carcasa o en el eje.

En tercer lugar, podemos detectar una condición especial experimentada en motores de CC y motores de CA que son controlados por variadores de frecuencia; acanaladuras/estriás/surcos. Las estriás se producen cuando la corriente fluye a través del rodamiento y hace que se produzca un arco entre los elementos rodantes y las pistas de rodadura. Dejará un patrón característico en la pista interna y externa del rodamiento. Discutiremos esto en la siguiente sección.

Antes de ir más lejos, debe tenerse en cuenta que los rodamientos no siempre fallan según las descripciones “clásicas”. Se puede producir un daño leve y luego “suavizarse”. Usted puede tomar una medida cuando el daño es evidente o puede tomar una medida cuando parece no haber daño.

Rodamientos y lubricación

El lubricante entre los elementos rodantes y la pista de rodadura está bajo una enorme presión, especialmente en la zona de carga. De hecho, el lubricante actúa más como un sólido que como un líquido en esta interfaz. La presión es tan grande que hay deformación tanto en el elemento rodante como en el metal de la pista interna y externa. Es esta presión constante y repetitiva lo que en última instancia hace que el metal falle.

Vamos a centrarnos por un momento en la interfaz entre el elemento rodante y la pista.

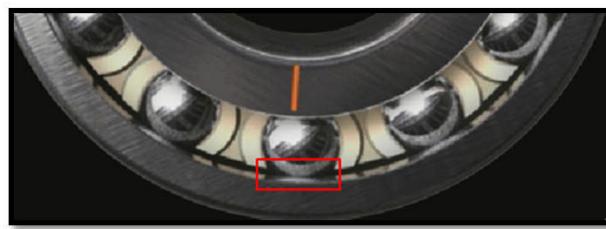


Figura 11-4

Si tuviéramos que mirar la superficie del rodamiento y correr bajo un potente microscopio, veríamos que el rodamiento no es perfectamente liso.

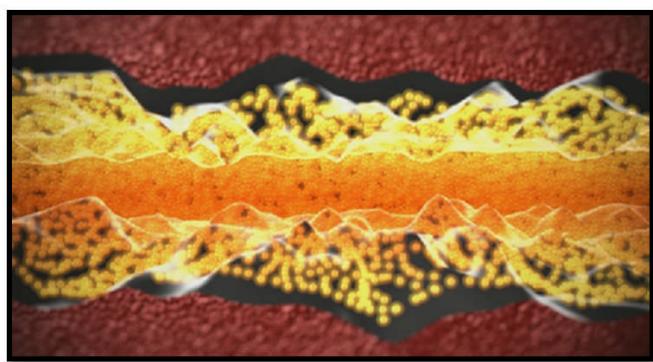


Figura 11-5

Hay puntos altos y bajos en cada superficie. El trabajo del lubricante es mantener esas superficies separadas. Pero estamos hablando de tolerancias muy estrechas. El espacio entre las dos superficies es muy pequeño: $0.5 \mu\text{m}$ o $20\mu\text{ in}$. ¡El diámetro de un cabello humano es 40 veces más grande que ese espacio!

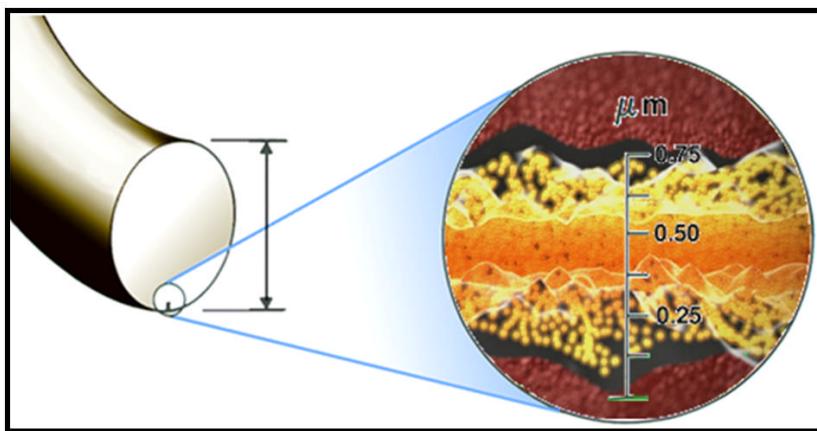


Figura 11-6

Si el rodamiento está mal lubricado, esas superficies se acercarán más y los puntos altos de cada superficie entrarán en contacto. Este contacto es aleatorio, pero las fuerzas involucradas generaran ruido y aumentarán el nivel de desgaste.

La lubricación es muy importante. El volumen de lubricante debe ser correcto y debe tener las propiedades destinadas a la aplicación - la viscosidad y otras propiedades están diseñados para mantener las superficies separadas y así reducir la fricción y el desgaste, y por supuesto no debe estar contaminado.

La falta de lubricación conduce al contacto de metal a metal: el desgaste aumenta drásticamente. Demasiada lubricación puede resultar en exceso de grasa que entra en el motor y causa un cortocircuito. El exceso de lubricante aumenta la carga en el rodamiento, debilitando las pistas, elementos rodantes y la jaula. También puede hacer que la grasa se sobrecaliente, lo que reduce la viscosidad.

Errores de instalación

Si el rodamiento está torcido en el eje, esperamos ver una mayor amplitud a 1X, 2X y/o 3X. El indicador clave es fase – tome medidas en los cuatro lados del eje. Si el rodamiento está torcido en el eje, veremos un cambio de fase de 180 grados de izquierda a derecha y de arriba a abajo – está girando. Si el rodamiento está torcido en el alojamiento, habrá un cambio de fase de 180 de un lado al otro, sin embargo, tendrá que encontrar el eje del ángulo del rodamiento. Si fue torcido verticalmente (es decir, la parte superior empujada y la parte inferior sacada) entonces la diferencia de fase de 180 grados será de arriba a abajo.

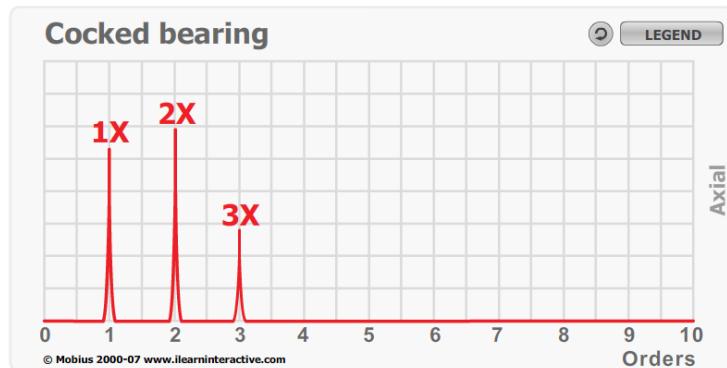


Figura 11-7

Holgura

La holgura excesiva puede conducir a soltura si hay una fuerza motriz y a deslizarse si hay baja carga o un lubricante incorrecto. Si el rodamiento se está deslizando, no habrá una frecuencia periódica; en su lugar se genera ruido de alta frecuencia.

Si los rodamientos están deslizando pueden calentarse e incluso incendiarse como verá en el siguiente ejemplo.



Figura 11-8

La figura anterior muestra el rodamiento quemado de un motor de bomba de extracción de condensado. El motor había funcionado durante 24 años sin problemas. Recientemente el motor fue rebobinado, el rotor estaba balanceado, se instalaron nuevos rodamientos (rodillo cilíndrico DE) y la unidad estaba alineada con láser. Tres meses más tarde, el rodamiento del

motor DE se sobrecalentó y el motor se detuvo. Se completó otra revisión, el rotor se balanceó y se alineó de nuevo y se instalaron nuevos rodamientos.

Seis meses más tarde, una fuerte explosión sacudió toda la estación. Cuando alguien fue a investigar encontraron el DE en llamas y apagaron la máquina. Ambos enfriadores habían sido volados fuera del motor. Uno de ellos voló a 3 metros de distancia y pasó muy cerca de un tubo de transporte de hidrógeno. Todo el motor fue desecharido.



Figura 11-9

La causa

Los rodamientos de rodillos en el motor requieren el 30% de su carga de diseño para funcionar correctamente. Cuando se retira la carga, los rodillos se deslizan y causan calentamiento. Cuando la máquina estaba balanceada y alineada, las cargas se redujeron en gran medida, el rodamiento se deslizó haciendo que la grasa se vaporizara y finalmente se encendiera. Con el fin de resolver el problema se instaló un nuevo motor con rodamientos de ranura profunda en el lado DE.

Soltura giratoria

La holgura o soltura giratoria puede ser el resultado del eje suelto en el rodamiento o del rodamiento suelto en la carcasa. De cualquier manera, la soltura giratoria da como resultado una serie de armónicos $1x$ altos en el espectro, a menudo hasta $10x$. Esto puede ir acompañado de un piso de ruido elevado como resultado de una vibración aleatoria o impacto aleatorio. Si se recopilan mediciones de fase, notará que las lecturas de fase no se mantienen estables. Esto se debe a que la referencia de fase en el eje no permanece estable porque está suelta. En cualquier caso, una lectura de fase inestable es otra indicación de soltura giratoria.

Rodamiento suelto en la carcasa o resbaladizo en el eje

Un rodamiento suelto en su carcasa puede dar lugar a un pico $4x$ alto y un rodamiento resbalando en el eje puede resultar en un pico alto de $3x$.

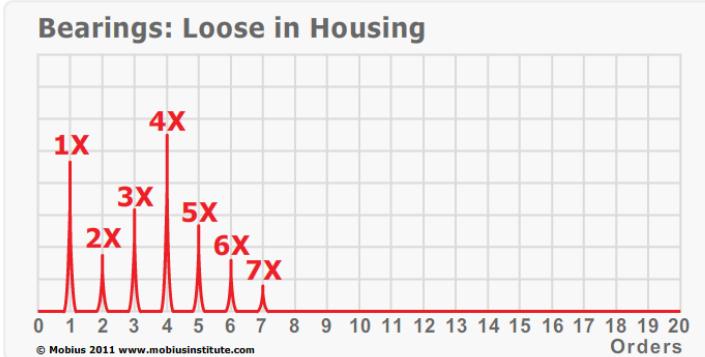


Figura 11-10 Holgura del rodamiento en el alojamiento

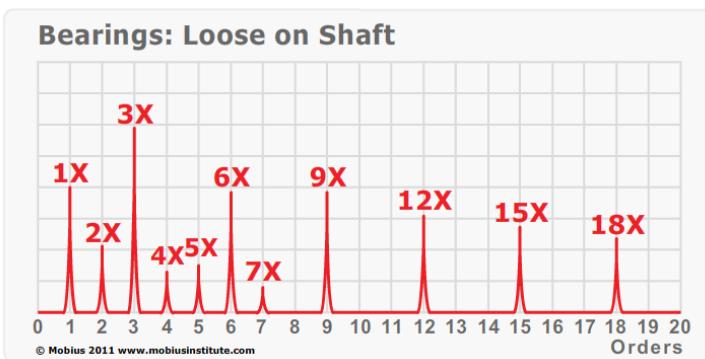


Figura 11-11 Soltura de rodamiento en el eje

Tensión o corriente excesivas

El flujo de corriente o el voltaje excesivo (especialmente cuando hay soltura o holgura excesiva) dañarán un rodamiento. La corriente puede fluir desde la pista interna, a través de los elementos rodantes a la pista externa. Picadura puede ocurrir cuando hay un gran diferencial de voltaje entre las pistas – chispas/arcos entre la pista y los elementos rodantes.

La superficie puede parecer “lechosa” o tener un efecto ondulado o “lavado”. A continuación se muestra un ejemplo clásico.



Figura 11-12

Se genera vibración de alta frecuencia – una serie de bandas laterales BPFO, BPFI o BSF aparecerán en el espectro entre 100,000 y 180,000 CPM. Los siguientes datos se tomaron del rodamiento anterior.

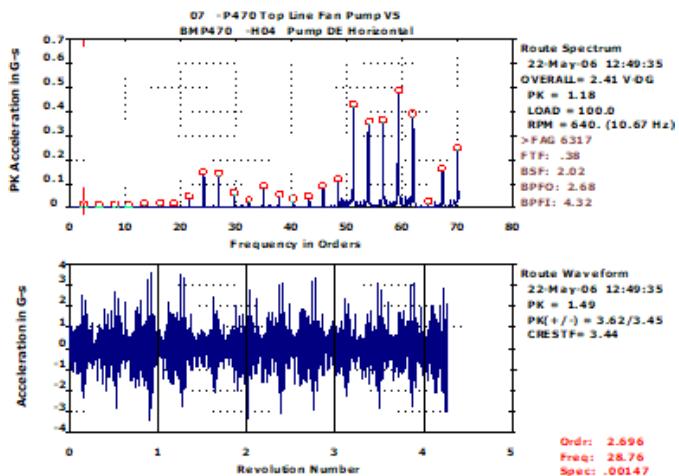


Figura 11-13

Si nos fijamos en la historia de los datos se puede ver la familia de picos crecer durante un período de tiempo. Cuando se reemplazó el rodamiento, los espectros ya no mostraban los picos.

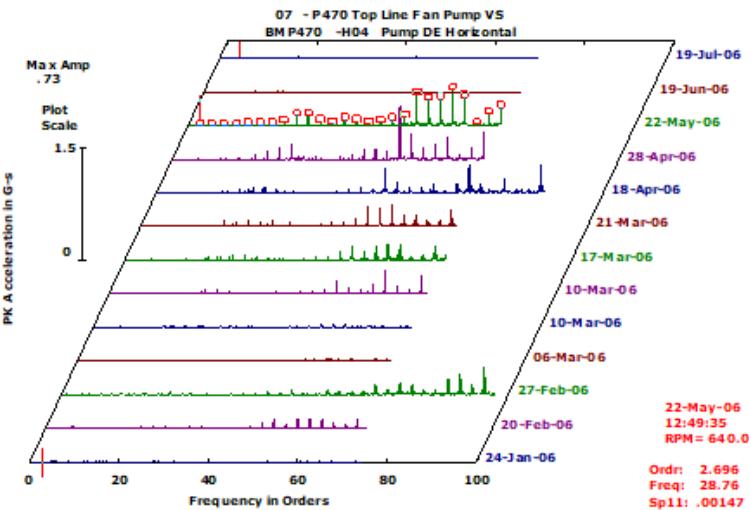


Figura 11-14

Puntos clave

- Los estudiantes deben entender la diferencia entre el cuidado del rodamiento (eliminando proactivamente las causas de la falla del rodamiento) y el desgaste del rodamiento (utilizando tecnologías CM para detectar rodamientos dañados)
- Los estudiantes deben ser conscientes de las causas comunes de fallas en los rodamientos
 - Usted debe tener algunas ideas de cómo reducir o eliminar estas causas raíz
- Los estudiantes deben apreciar el valor del enfoque proactivo

Frecuencias de defectos

Gracias a la geometría del rodamiento, podemos calcular las “frecuencias de defectos” - donde esperamos ver mayores niveles de vibración. Podemos detectar estas frecuencias en la forma de onda de tiempo y el espectro (velocidad, aceleración y envolvente).

Podemos calcular las frecuencias o encontrarlas en una base de datos o podemos estimarlas. Los rodamientos generan frecuencias “no sincrónicas” con armónicos y bandas laterales; patrones que son fáciles de identificar en un espectro.

Hay cuatro frecuencias de defecto clave generadas por los rodamientos:

- 1 La frecuencia de paso de bola – Pista interna (BPI). Esta es la velocidad a la que una bola o rodillo pasa un punto en la pista interna del rodamiento. Si hubiera daño en la pista interna, esperaríamos observar un “pulso” periódico de vibración a esta velocidad.

2. La frecuencia de paso de bola – Pista externa (BPFO). Esta es la velocidad a la que una bola o rodillo pasa un punto en la pista externa del rodamiento. Si hubiera daño en la pista exterior, esperaríamos observar un “pulso” periódico de vibración a esta velocidad.
3. Frecuencia de giro de bola (BSF). Esta es la frecuencia angular de los elementos rodantes. Si hubiera un punto de daño en uno de los elementos rodantes, esperaríamos observar un “pulso” periódico de vibración a esta velocidad. De hecho, debido a que ese punto de daño puede golpear la pista interna y la pista externa para cada rotación, podemos observar niveles más altos de vibración al doble de esta frecuencia.
4. La Frecuencia Fundamental del Tren (FTF). Esta frecuencia, también llamada frecuencia o velocidad de jaula, es la velocidad de rotación de la jaula o canasta del rodamiento. Es el tiempo que tarda un elemento rodante en completar un viaje alrededor del rodamiento. No siempre medimos la vibración a esta frecuencia, pero se observa de otras maneras (vemos bandas laterales del FTF).

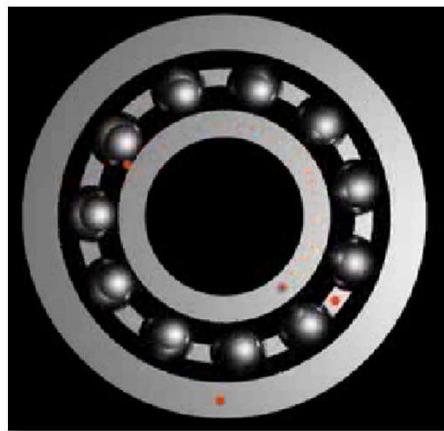


Figura 11-15

Todas las ecuaciones siguientes se basan en las siguientes dimensiones.

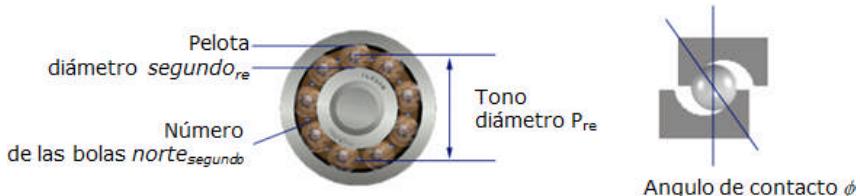


Figura 11-16

Frecuencia Fundamental del Tren (FTF)

La frecuencia fundamental del tren, o frecuencia de jaula, se puede calcular como se muestra a continuación. La frecuencia se calcula de manera diferente dependiendo de si la pista interna está girando (la situación más común) o si la pista externa está girando (por ejemplo, en algunos transportadores y en los rodamientos de las ruedas).

Rotación de pista interna:

$$FTF = \frac{1}{2} \left[1 - \left(\frac{B_D}{P_D} \right) \cos(\emptyset) \right]$$

$$FTF \approx \frac{1}{2} - \left(\frac{1.2}{N_B} \right)$$

El FTF está comúnmente entre 0.33X y 0.48X – sin embargo con ciertos rodamientos de empuje, el ángulo de contacto es de 90 grados, y por lo tanto el FTF será 0.5X.

Rotación de pista externa:

$$FTF = \frac{1}{2} \left[1 + \left(\frac{B_D}{P_D} \right) \cos(\emptyset) \right]$$

$$FTF \approx \frac{1}{2} + \left(\frac{1.2}{N_B} \right)$$

El FTF está comúnmente entre 0.52X y 0.67X (o 0.5X para los rodamientos de empuje mencionados anteriormente).

La frecuencia de giro de la bola (BSF)

La frecuencia de giro de la bola (BSF) se puede calcular como se muestra a continuación. La frecuencia de giro de la bola (la frecuencia angular de los elementos rodantes) se puede calcular de la misma manera independientemente de si la pista interna está girando o la pista externa está girando.

$$BSF = \frac{P_D}{2B_D} \left[1 - \left(\frac{B_D}{P_D} \right)^2 \cos(\emptyset)^2 \right]$$

Esta frecuencia será no sincrónica (no entera).

Como se mencionó anteriormente, el cálculo estima la frecuencia de rotación real de los elementos rodantes; es decir, el número de veces que los elementos rodantes giran por

segundo (o minuto). Es común observar amplitudes de vibración más altas al doble de estas frecuencias porque una muesca en el elemento rodante puede entrar en contacto con la pista interna y la pista interna por rotación – por lo tanto hay dos eventos por rotación del elemento rodante.

(De hecho, estos cálculos determinan la relación de la frecuencia de giro de la bola con la velocidad de giro del eje – para calcular el BSF en Hz o CPM debe multiplicarse por la velocidad de giro del eje.)

Este cálculo se puede simplificar de la siguiente manera para proporcionar una estimación de la frecuencia cuando solo se conoce el número de elementos rodantes.

$$BSF \approx \frac{1}{2} \left[\frac{N_B}{2} - \frac{1.2}{N_B} \right]$$

Esto es importante saber en caso de que observe un pico (o pico con armónicos) que sospeche que puede ser una frecuencia de defecto de rodamiento. Si se puede estimar el número de elementos rodantes se puede repetir el cálculo ± 2 elementos rodantes y ver si uno de los cálculos se acerca a la frecuencia que observa. Discutiremos este enfoque de “ingeniería inversa” con mayor detalle en breve.

Frecuencia de paso de bolas - Pista Interna (BPFI)

La siguiente fórmula se puede utilizar para calcular la frecuencia de paso de bola en la pista interna (BPFI). Esta frecuencia es independiente de si la pista interna está girando o la pista externa está girando.

$$BPFI = \frac{N_B}{2} \left[1 + \left(\frac{B_D}{P_D} \right) \cos(\emptyset) \right]$$

Esta frecuencia será no sincrónica (no entera).

Tenga en cuenta que esta fórmula se puede simplificar a un cálculo mucho más simple. Si conoce el número de elementos rodantes, puede estimar el BPFI.

$$BPFI \approx \frac{N_B}{2} + 1.2$$

Frecuencia de paso de bolas - Pista Externa (BPFO)

Y por último, también podemos calcular la frecuencia de paso de bola por la pista externa. Una vez más, el cálculo es independiente de si la pista interna o la pista externa está girando.

$$BPFO = \frac{N_B}{2} \left[1 - \left(\frac{B_D}{P_D} \right) \cos(\emptyset) \right]$$

Esta frecuencia será no sincrónica (no entera).

Esta frecuencia también se puede estimar de la siguiente manera:

$$BPFO \approx \frac{N_B}{2} - 1.2$$

Este será el defecto más comúnmente observado en los rodamientos de elementos rodantes (en máquinas horizontales). El punto en la parte inferior de la pista externa está constantemente tomando toda la carga de la masa de la máquina y las fuerzas dinámicas.

Consejos sobre frecuencia de defectos de rodamiento

Tenga en cuenta que las frecuencias de defecto no son exactas. Debido al deslizamiento, desgaste e imperfecciones del rodamiento (es decir, las dimensiones pueden no ser perfectamente precisas), las frecuencias pueden estar desviadas en una pequeña cantidad.

Cuando no tenemos el número de parte del rodamiento, o sospechamos que la información que tenemos es incorrecta, entonces todavía podemos estimar las frecuencias de defecto. Hay algunas “reglas generales” que puede resultarle útil saber.

Regla general #1

En primer lugar, si suma la BPFI a BPFO, puede calcular el número de elementos rodantes. Por ejemplo, si BPFO es 3.2X y BPFI es 4.8X, entonces sabemos que el rodamiento tiene 8 elementos rodantes. Esto es particularmente útil de saber porque si observamos dos series de picos que sospechamos son frecuencias de defecto, un BPFI y el otro BPFO, entonces podemos agregarlos juntos para ver si se suman a un número entero. Si lo hacen, entonces su confianza sobre el origen de la vibración aumentará.

Regla general #2

En segundo lugar, si sabe cuántos elementos rodantes hay en el rodamiento, puede estimar las frecuencias de defecto como se describe en las fórmulas anteriores, o más simplemente de la siguiente manera:

$$BPFO \sim 0.4 \times \#Balls$$

$$BPFI \sim 0.6 \times \#Balls$$

Esta generalización solo debe aplicarse a rodamientos con 8 a 14 bolas/rodillos.

Regla general #3

Si conocemos el número de parte del rodamiento (y una base de datos de rodamientos) todavía podemos encontrar que no hay picos en el espectro que se alinean con las frecuencias de la tabla. Esto puede significar que el rodamiento está bien o que la información del rodamiento es incorrecta. Si son picos en frecuencias que están “cerca” que parecen estar teniendo frecuencias de defecto (hay armónicos, son no sincrónicos, y hay bandas laterales FTF o 1X) entonces sería útil si pudiéramos confirmar que en realidad son frecuencias de defecto. Bueno, hay una manera de hacer justo eso:

$$BPFO \left(\frac{\#B}{R_{N+1,2,3..n}} \right) = BPFO \pm FTF \times n$$

Basándonos en las ecuaciones de frecuencia de defectos proporcionadas anteriormente, podemos aprender que la diferencia entre el BPFO de un rodamiento con 13 elementos rodantes y el “mismo rodamiento” con 14 elementos rodantes es igual a la velocidad de jaula (FTF) del rodamiento.

Por ejemplo, si buscamos en esta tabla de información de rodamientos un rodamiento 22312, podemos calcular la diferencia entre las frecuencias de defecto cuando se utilizan diferentes números de elementos rodantes. Si creímos que el rodamiento tenía 13 elementos sin embargo los picos en el espectro no se alinearon, podemos sumar (o restar) FTF (0.409) a las frecuencias citadas para estimar el BPFO, BPFI y BSF para rodamientos con 12, 14, 15 y 16 elementos rodantes. Podemos realizar los cálculos y compararlos con los resultados proporcionados en la tabla. Como se puede ver a continuación, se correlacionan bastante bien.

Ejemplo utilizando 22312 con 13 elementos rodantes. Mirando la tabla a continuación podemos ver que el FTF es 0.409. Ahora podemos ver las otras líneas de la tabla para diferentes números de elementos rodantes. Podemos calcular la estimación y compararla con la tabla.

- $n = 14 \rightarrow BPFO = 5.312 + 1 \times 0.409 = 5.721$
- $n = 15 \rightarrow BPFO = 5.312 + 2 \times 0.409 = 6.13$
- $n = 16 \rightarrow BPFO = 5.312 + 3 \times 0.409 = 6.539$

BEARING TYPE	#B/R	FTF	BSF	BPFO	BPFI
22312	15	.413	2.697	6.192	8.808
22312	16	.411	2.665	6.584	9.416
22312	16	.411	2.665	6.584	9.416
22312	16	.411	2.665	6.584	9.416
22312	16	.411	2.665	6.584	9.416
22312	16	.411	2.665	6.584	9.416
22312	14	.409	2.578	5.721	8.279
22312	14	.409	2.578	5.721	8.279
22312	13	.409	2.578	5.312	7.688
22312	14	.402	2.385	5.626	8.375
22312	16	.411	2.665	6.584	9.416

Figura 11-17

Regla general #4

También es útil saber que los rodamientos de la misma serie de dimensiones tienen frecuencias de defecto muy similares. El segundo y terceros dígitos del número de rodamiento representan la anchura y el diámetro del rodamiento. Si no está seguro del número de rodamiento exacto, pero cree que conoce la serie de dimensiones, puede buscar la base de datos de rodamientos para obtener una estimación de las frecuencias de defecto.

Esto no es una ciencia exacta, pero puede ayudar mucho si usted no está seguro de que los cambios en el espectro que está observando están relacionados con un rodamiento con el aumento del desgaste.

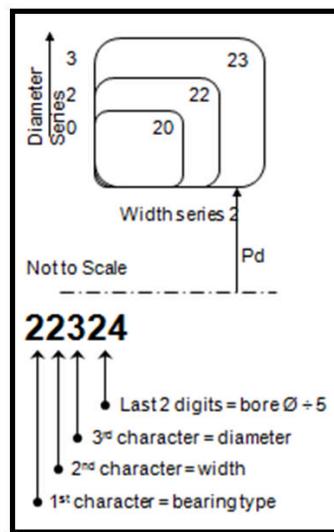


Figura 11-18

Para ayudar en este proceso podemos reconocer que ciertos tipos/serie de rodamientos se utilizan comúnmente en las mismas aplicaciones. El primer dígito del rodamiento se refiere al tipo de rodamiento, como se muestra a continuación.



Figura 11-19

Sólo como guía, la tabla siguiente muestra el tipo de rodamiento que se utiliza comúnmente en las aplicaciones enumeradas.

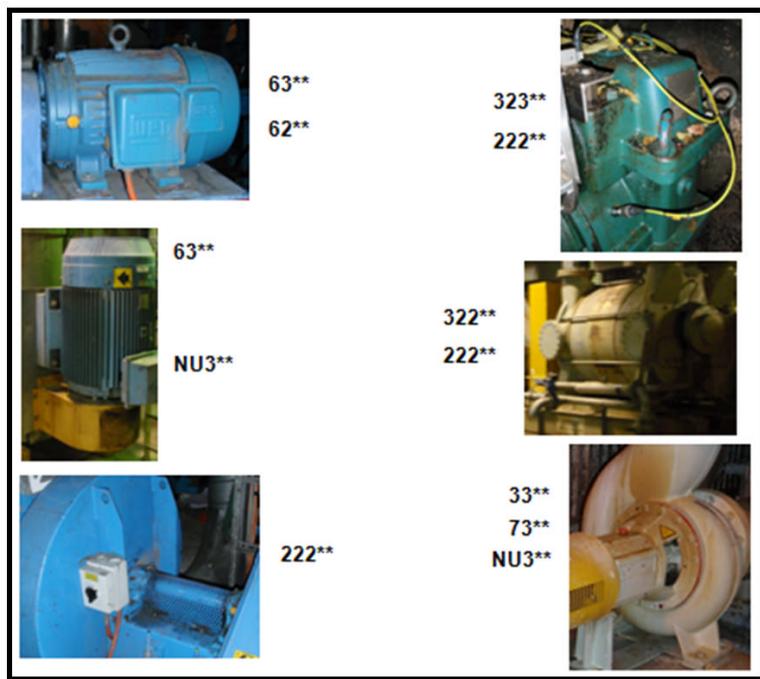


Figura 11-20

Una vez más, hay que subrayar que esta no es una guía exacta; en su lugar se proporciona para ayudarle a hacer una “conjetura educada” sobre las frecuencias de defecto aproximadas. Si conoce el tipo de rodamiento y/o la aplicación y/o el número de elementos rodantes, y tiene una base de datos de rodamientos, esta información debería ayudarle a detectar con mayor éxito las condiciones de falla del rodamiento.

Las frecuencias de defectos no son sincrónicas

Hay otra observación clave que podemos hacer; todas las frecuencias de defecto son no sincrónicas, es decir, son múltiplos no enteros de la frecuencia de giro del eje. Pronto aprenderemos en detalle que las fallas de los rodamientos (desgaste, desprendimientos, grietas) generarán armónicos en el espectro, y a menudo habrá bandas laterales 1X (fallo de pista interna), bandas laterales a FTF(<0.5X) (daño de bola/rodillo) o ninguna banda lateral (fallo de pista externa).

Por lo tanto, podemos detectar fallas de rodamientos sin conocer el número de rodamiento con un grado justo de confianza. Junto con las reglas generales que acabamos de cubrir, podemos estar bastante seguros de detectar fallas sin una gran cantidad de información de apoyo.

Puntos clave

- Los estudiantes deben entender el concepto de frecuencias calculadas de defectos de rodamientos
- Los estudiantes deben entender las frecuencias de defectos primarios (BPFO, BPFI, BSFy FTF) y la modulación de amplitud
- Los estudiantes deben ser conscientes de que esta información está disponible en las bases de datos y que las frecuencias de defectos se pueden estimar en función del número de bolas o rodillos.
- Los estudiantes deben entender los pros y los contras del uso de frecuencias calculadas
- Desde el punto de vista de la gestión del programa, los estudiantes deben ser conscientes de los problemas asociados con no mantener actualizada la información o tener la información incorrecta

Vibración – la imagen completa

Es importante comprender la naturaleza de la vibración generada por los rodamientos. Acabamos de mencionar la vibración de alta frecuencia que se genera, pero como aprenderemos con más detalle, podemos dividir esta vibración en cuatro componentes:

- 1 Fricción: Siempre habrá cierta fricción entre las superficies, independientemente de lo bueno que sea el lubricante. A medida que el lubricante se degrada (demasiado, muy poco, degradación del paquete de aditivos lubricantes, o contaminación), la fricción aumentará. La vibración por fricción no es periódica. La fricción genera ruido de banda ancha: vibración en una amplia gama de frecuencias.

2. Onda de esfuerzo: Si tenemos contacto metal-metal generaremos pulsos de muy alta frecuencia, muy corta duración. Estos pulsos, u ondas de choque, pueden ser de naturaleza aleatoria o periódicas – depende de la razón del contacto de metal a metal.
3. Vibración periódica: Cuando se produce un par periódicamente, a una amplitud suficiente para ser detectado, la vibración estará presente en el registro de tiempo y aparecerá un pico en el espectro. Ejemplos comunes son la vibración relacionada con el desbalance o la velocidad de paso de la paleta, sin embargo, cuando hay daño en la pista interna de un rodamiento, por ejemplo, también se generará una fuente periódica de vibración.
4. Resonancia: Cuando las superficies impactan, generan vibración, y la estructura y los componentes de la máquina (y el acelerómetro conectado) resonarán como resultado. La frecuencia natural puede ser bastante alta cuando se trata de la vibración de los rodamientos. Podemos detectar la vibración de esas resonancias porque la vibración se amplifica y porque las frecuencias son distintas de la vibración de amplitud mucho más alta que enmascara la vibración de menor frecuencia generada por el rodamiento.

Esta vibración se puede detectar utilizando una serie de técnicas, resumidas a continuación:

Muy alta frecuencia

- Ultrasonido
- Shock pulse SPM®, Spike Energy™, SEETM,
PeakVue®

Alta frecuencia

- Envolvente y demodulación de amplitud
- Espectro de aceleración

Frecuencia media-baja

- Espectro de velocidad
- Análisis de forma de onda de tiempo
- Vibración de valor global

Figura 11-21

La vibración generada debido a una lubricación deficiente o a un daño menor en los rodamientos es muy alta en frecuencia, pero baja en amplitud. La frecuencia generada será superior a 20 kHz en la etapa más temprana – algunos sistemas miran frecuencias mucho más altas para detectar los primeros signos de desgaste del rodamiento. Necesitamos técnicas para eliminar la vibración de baja frecuencia y alta amplitud con el fin de detectar esta fuente de vibración. Técnicas como la emisión acústica, Shock Pulse, Spike Energy y PeakVue están diseñadas para hacer justo eso.

El envolvente y la demodulación también están diseñados para monitorear la vibración de alta frecuencia y detectar el desgaste de los rodamientos de la primera etapa, sin embargo, algunos sistemas no están diseñados para monitorear frecuencias tan altas, y muchos sistemas capaces de detectar estas altas frecuencias no están configurados hasta hacerlo.

A medida que la falla se desarrolla la vibración generada es menor en frecuencia. Las frecuencias altas todavía se generan, sin embargo ahora se genera una vibración de frecuencia más baja (más de 2 kHz). El análisis de forma de onda de tiempo y los espectros (en unidades de aceleración) se pueden utilizar para detectar la falla y se puede utilizar el envolvente/demodulación.

Con mayor desgaste viene vibración de mayor amplitud y menor frecuencia. Ahora los espectros de velocidad convencionales mostrarán signos de desgaste del rodamiento.

Y finalmente, a medida que la falla se desarrolla aún más, y el daño se vuelve más severo, se genera ruido de baja frecuencia, y algunos de los patrones característicos que esperamos ver comienzan a cambiar a los patrones de vibración normalmente asociados con la holgura. En esta etapa no podemos medir la vibración de alta frecuencia; hay demasiado daño.

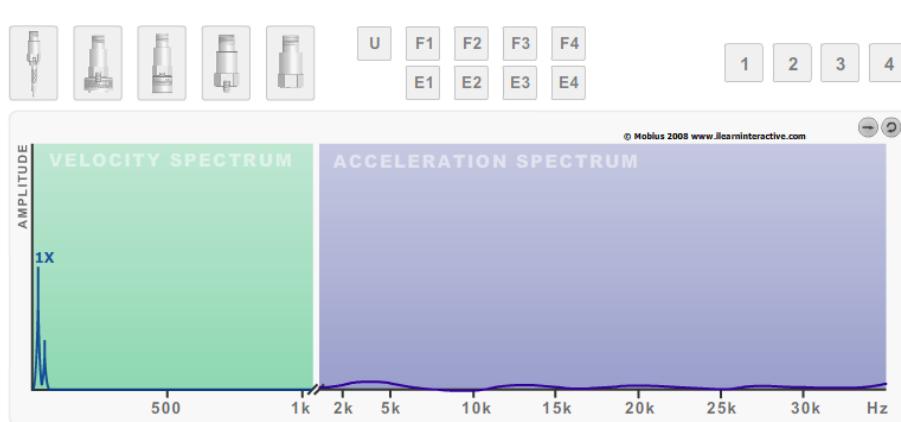


Figura 11.22 Etapas de desgaste de rodamientos

Recuerde que es importante tener en cuenta el tipo de sensor que está utilizando, la técnica de montaje del sensor, el filtro y otros ajustes, etc. Si usted está tratando de medir una frecuencia muy alta, pero usted está utilizando un acelerómetro montado con un imán de dos polos en una superficie pintada, ¡es probable que esté atenuando las frecuencias que está tratando de medir!

Este proceso, y las técnicas de análisis, se discutirán con mayor detalle en este capítulo.

Fallas de rodamientos en la primera etapa

Los siguientes puntos resumen las características observadas cuando un rodamiento se encuentra en la primera etapa:

- E1** Daño solamente sub-superficial
 - o Fricción e impactos menores
- E1** Vibración de muy alta frecuencia
 - o Fricción: superior a 20 kHz en la primera etapa
 - o No se puede escuchar (sin ayuda)
 - o "Ruido" debido a una lubricación inadecuada
 - o Niveles muy bajos
 - o Impactos de muy corta duración
- E1** 'Ondas de esfuerzos' o 'Pulsos de choque'
 - o 1kHz » 15 kHz
- E1** Las técnicas tradicionales de análisis de vibraciones son inadecuadas en esta etapa.

El siguiente gráfico proporciona un resumen del cambio que verá en el espectro. Tenga en cuenta que el espectro de velocidad no mostrará ningún signo de la condición de falla.

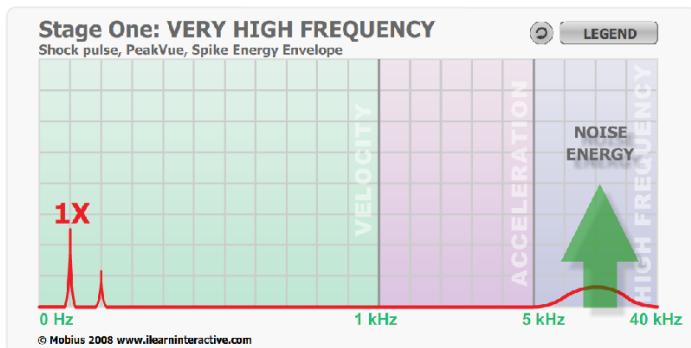


Figura 11-23

La eficacia de cada técnica de detección de rodamientos se resume a continuación:



Figura 11-24

En la siguiente tabla se resumen las posibles acciones que podría tomar en esta etapa:

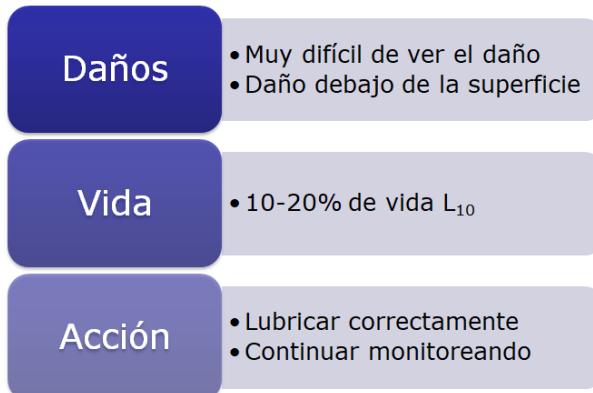


Figura 11-25

Fallas de rodamientos en la segunda etapa

Los siguientes puntos resumen las características observadas cuando un rodamiento se encuentra en la segunda fase:

- Daño solamente sub-superficial
 - o Fricción e impactos menores
- La vibración de muy alta frecuencia sigue aumentando en amplitud.
- Vibración lo suficientemente significativa como para excitar “resonancias”.
 - o Estructural, rodamiento y sensor
- El espectro envolvente (demodulación) debe mostrar signos
 - o Frecuencias de defectos presentes en el espectro

- FIG El espectro de velocidad todavía no indica falla. El espectro de aceleración debe indicar una falla.



Figura 11-26

El siguiente gráfico proporciona un resumen del cambio que verá en el espectro. Tenga en cuenta que el espectro de velocidad no mostrará ningún signo de la condición de falla.

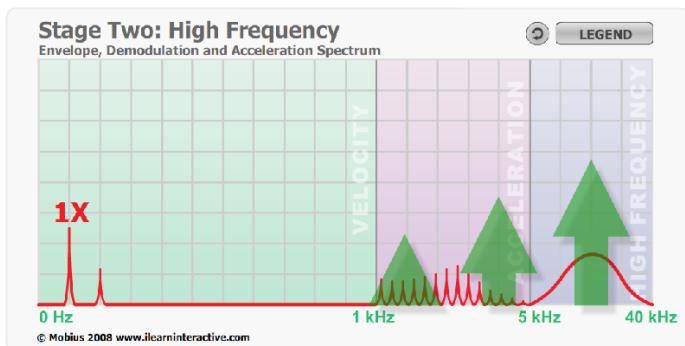


Figura 11-27

La eficacia de cada técnica de detección de rodamientos se resume a continuación:



Figura 11-28

En la siguiente tabla se resumen las posibles acciones que podría tomar en esta etapa:

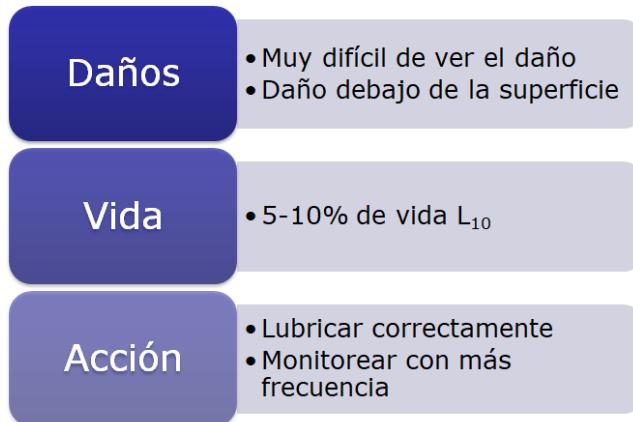


Figura 11-29

Antes de discutir las fallas de los rodamientos de la etapa tres y cuatro, discutiremos las técnicas de análisis de vibración de alta frecuencia.

Técnicas de análisis de vibración de alta frecuencia

A medida que la falla se desarrolla en un rodamiento, veremos la onda de esfuerzo, y si las fuerzas son lo suficientemente grandes, también veremos la resonancia de uno o más de los componentes del rodamiento. También veremos la excitación del propio acelerómetro.

Ahora exploraremos este proceso con más detalle.

Ondas de esfuerzos (pulsos de choque)

Las ondas de esfuerzos se producen en maquinaria rotativa cuando el contacto de metal a metal se realiza en rodamientos y engranajes a partir de fallas como impacto, fatiga, fricción, agrietamiento, rozamiento y desgaste abrasivo. Cuando no hay fallas, la lubricación amortigua las superficies metálicas del contacto. Cuando las superficies se dañan o se agota la lubricación, se produce contacto metal-metal y por lo tanto ondas de esfuerzos.



Figura 11-30

El contacto entre dos superficies produce un choque u onda de presión que se aleja del punto de contacto a muy alta velocidad. Esta onda de presión se llama onda de esfuerzo. Después de que la onda de esfuerzo pasa, la vibración secundaria puede ocurrir por el retroceso y la resonancia causada por el impacto. La duración de la onda de esfuerzo es muy corta en comparación con la vibración secundaria.

Para visualizar una onda de esfuerzo, piense en dejar caer una perla en un estanque. La onda se mueve hacia afuera en todas las direcciones desde donde la perla entró en el agua.

Las ondas se irradian lejos del área de falla a la velocidad del sonido en el metal a 5,000-10,000 pies/segundo. A medida que las ondas de esfuerzo se mueven a través de la máquina, las frecuencias naturales se excitan, lo que resulta en la ocurrencia de vibración secundaria (resonancia). La energía de la onda de fuerzo disminuye rápidamente. Para poder medirse eficazmente, se requiere una trayectoria de transmisión directa a través del acero. Las ondas no viajan a través de espacios de aire y se atenúan a través de interfaces como entre el elemento rodante y la pista, la pista a la carcasa y la carcasa al sensor.

Podemos utilizar esta información; sin embargo, debemos superar una serie de desafíos. Ahora discutiremos los desafíos y las soluciones.

Desafío uno: Baja amplitud

Si un analizador de vibraciones tiene un rango dinámico de unos 90 dB (y un acelerómetro típico tiene un rango dinámico ligeramente mejor), significa que para que dos picos espectrales sean visibles en el mismo espectro, la diferencia de amplitud entre los picos debe ser inferior a 90 dB. Si es mayor que 90 dB, el más pequeño de los dos picos caerá por debajo del piso de ruido y será invisible. Es de esperar que la señal de vibración contendrá energía de baja frecuencia y alto nivel relacionada con desbalance, desalineación y otras fallas. Si la señal también contiene energía de alta frecuencia, baja amplitud como la falla de los rodamientos, es muy probable que las altas frecuencias no se vean. Las bajas frecuencias dominan la señal haciendo que las altas frecuencias caigan por debajo del piso de ruido de la medición.

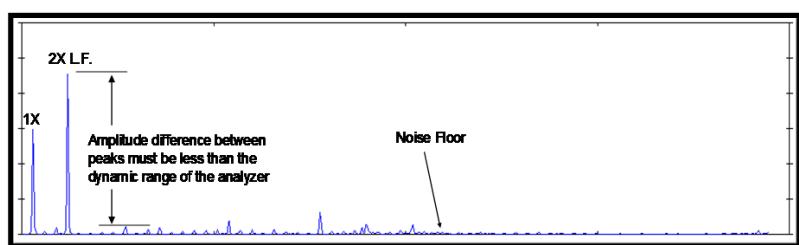


Figura 11-31

Desafío dos: Corta duración

Una onda de esfuerzo es un pico o impacto de muy corta duración que dura de varios microsegundos a unos pocos milisegundos. La duración del evento depende del tipo de evento (impacto, fricción, agrietamiento por fatiga), la ubicación del acelerómetro a la zona de falla y la severidad de la falla.

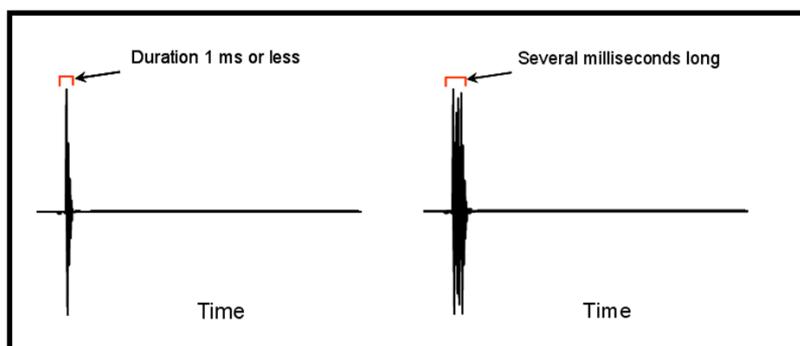


Figura 11-32

Las fallas de rodamientos y cajas de engranajes son en su mayoría periódicas y, por lo tanto, producen ondas de esfuerzos recurrentes. Las magnitudes de las ondas de esfuerzo son muy

pequeñas en la etapa inicial de la falla del rodamiento. La señal puede parecer más fuerte en un instante y más débil en otro debido a ligeros cambios en la carga o el grosor de la película de lubricación.

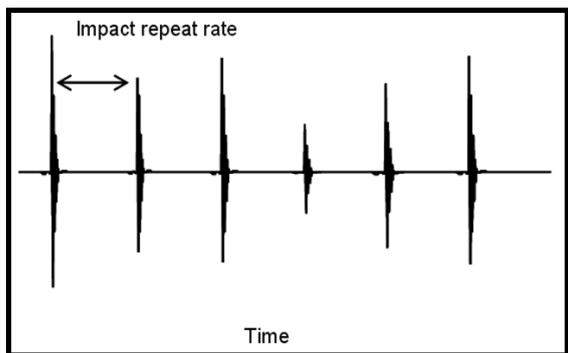


Figura 11.33

Si la señal se muestrea demasiado lentamente, algunos de los eventos de onda de esfuerzo caen entre las muestras y se pierden.

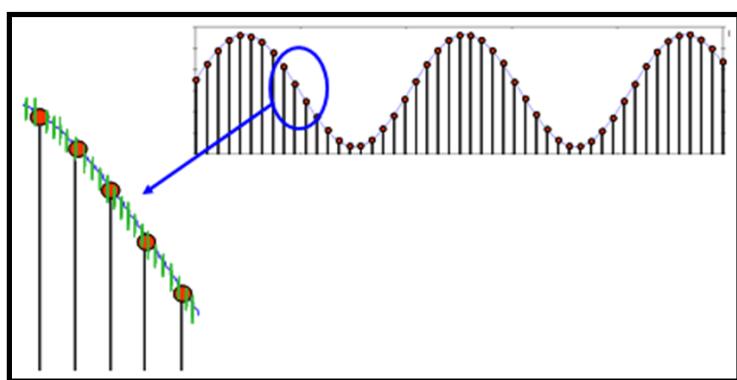


Figura 11.34

Las ondas de esfuerzos producen energía en el rango de frecuencia de 1,000 a 50,000 Hertz. Diferentes tipos de fallas producen energía de onda de esfuerzos que se concentra en diferentes partes del espectro. La energía de onda de esfuerzo de la fricción y la fatiga es independiente de la masa de la máquina y se concentra más en el rango de frecuencia (por encima de 10,000 Hz). La energía de las ondas de esfuerzo por fallas de impactos depende de la masa de la máquina. Para la mayoría de los rodamientos con fallas de impacto, la energía de la onda de esfuerzo se concentra en el rango de 800-10,000 Hertz.

Desafío tres: Medición

Un propósito general, el acelerómetro de 100 mv/g tiene una respuesta de frecuencia de casi cero Hertz (DC) a ligeramente por encima de la frecuencia natural montada. Si la base pernada se monta en una superficie lisa y plana, un acelerómetro de uso general podría tener una frecuencia natural montada de 14,000 Hz. La respuesta de amplitud del acelerómetro es plana desde unos cero Hertz hasta el punto en que se acerca a su frecuencia natural montada. Los resultados de amplificación de la señal alrededor de la frecuencia natural montada y la atenuación de la señal se producen por encima de la frecuencia natural montada. La curva de respuesta alrededor de la frecuencia natural montada del acelerómetro se denomina curva de amplificación. La respuesta de frecuencia del acelerómetro disminuye cuando se cambia la técnica de montaje del acelerómetro. Los imanes y adaptadores de montaje añaden masa y son menos rígidos que el soporte de perno. El aumento de la masa y la disminución de la rigidez reducen la respuesta de frecuencia del acelerómetro.

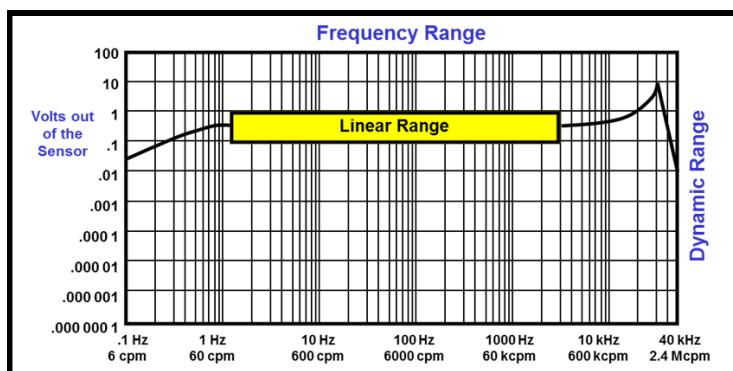


Figura 11-35

Las mediciones de ondas de esfuerzo deben realizarse lo más cerca posible del rodamiento en la zona de carga de la máquina. Manténgase alejado de la zona descargada del rodamiento. En una máquina de acoplamiento directo horizontal, la gravedad está tirando la máquina hacia abajo. La zona más cargada en el rodamiento está abajo y la zona menos cargada es recta hacia arriba. No es una buena práctica tomar una medición de onda de esfuerzo en la parte superior de la carcasa del rodamiento donde se encuentra toda la holgura. Una medida horizontal suele ser una buena opción en una máquina horizontal de acoplamiento directo. Para los rodamientos de contacto angular, la dirección axial es una buena opción para la medición de ondas de esfuerzo.

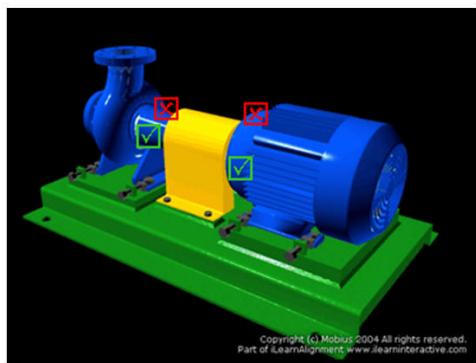


Figura 11-36

La cantidad de energía de la onda de esfuerzo que realmente llega al sensor está determinada por muchos factores como el tipo y la severidad del defecto, la distancia entre la falla y el sensor, la trayectoria de transmisión, la velocidad de la máquina, el tipo de sensor y el montaje del sensor.

Cada producto de detección de fallas de rodamientos de alta frecuencia proporciona instrucciones específicas relacionadas con el tipo de sensor y el montaje. Algunos productos requieren el uso de un sensor específico y un método de montaje. Otros productos ponen menos requisitos en el tipo de sensor y el montaje.

El compromiso es una parte aceptada de las mediciones de vibración basadas en rutas. Utilice el sentido común y tenga cuidado de cómo y dónde está montado el acelerómetro. Coloque el acelerómetro en un lugar que tenga una buena transmisión de señal al rodamiento. Limpie y alíse la superficie si es necesario.

Soluciones: Cuatro enfoques diferentes

- Hay básicamente cuatro enfoques diferentes tomados por diferentes proveedores en nuestra industria:
- o Utilice el acelerómetro para amplificar la vibración de alta frecuencia.
 - o Utilice la adquisición de datos de alta velocidad para capturar las ondas de esfuerzo.
 - o Utilice técnicas de demodulación para capturar vibraciones de alta frecuencia.
 - o Monitoree la máquina con instrumentos de emisión acústica (ultrasonido aerotransportado).

Demodulación/envolvente

La demodulación y el envolvente son dos nombres que hacen referencia a la misma técnica. Estas técnicas toman la vibración de alta frecuencia que observamos a medida que fallan los rodamientos y la hacen disponible como vibración de baja frecuencia que podemos analizar.

Con el fin de entender lo que está sucediendo, considere la bola o rodillo impactando una muesca en la pista externa. Como hemos visto, el rodillo pasará o golpeará la muesca a una cierta velocidad según lo dictado por los cálculos de frecuencias de fallas del rodamiento. Esto nos da la tasa de repetición del impacto y esto es lo que buscamos en el espectro de velocidad normal. Tal vez hay 3.4 impactos por revolución del eje; la frecuencia que buscamos es 3.4x.

Ahora considere que cada impacto realmente genera una vibración o sonido de alta frecuencia. Se puede pensar en él como el sonido que el rodamiento hace cuando el rodillo golpea la muesca. Este sonido también sucederá repetitivamente cada vez que muesca es golpeada por un elemento rodante. En resumen, lo que hacen las técnicas de demodulación es escuchar este “sonido” de alta frecuencia y luego usando una serie de filtros, la técnica nos dice la tasa de repetición del impacto – que es la frecuencia de rodamientos.

Hay una serie de pasos en el proceso.

Paso uno: Filtro paso alto o paso banda

Estamos trabajando con una señal de vibración que está dominada por baja frecuencia, vibración de alta amplitud que proviene del desbalance, desalineación y otras condiciones. La señal de vibración también contiene una señal de muy alta frecuencia, muy baja amplitud. Es muy difícil detectar esta señal sin un procesamiento especial. El siguiente es un ejemplo, sin embargo, la vibración del rodamiento está MUY amplificada.

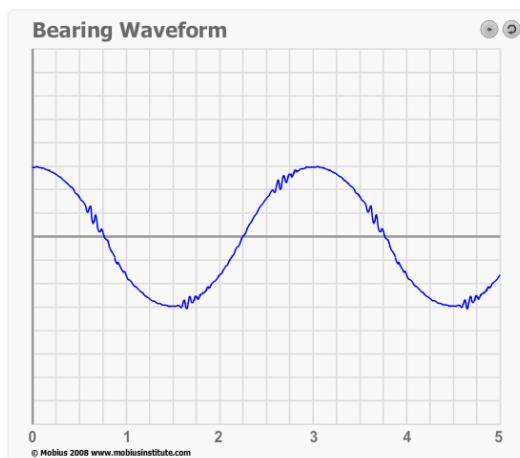


Figura 11.37

Ahora exageraremos aún más la amplitud de vibración.

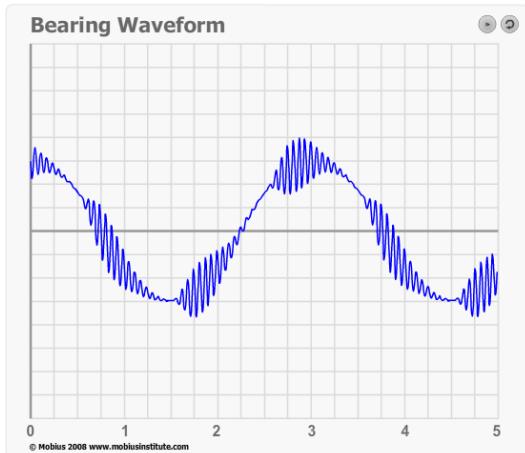


Figura 1138

Una vez que filtramos la señal de vibración tendremos sólo la vibración que existía dentro de las características del filtro. La intención es que se capture el “timbre” o “sonido” del rodamiento. Debemos tener cuidado de establecer los valores del filtro para que no capturemos también los componentes de vibración del motor o la caja de engranajes, etc.

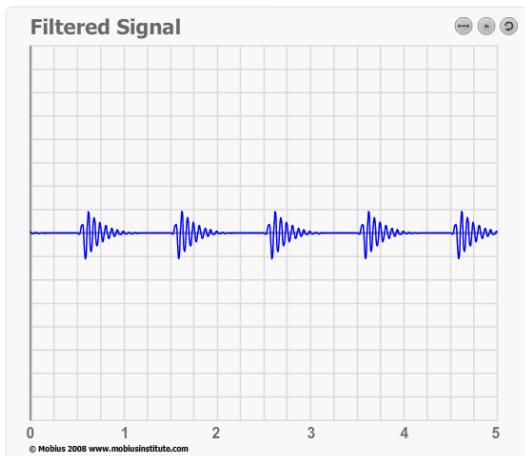


Figura 1139

Lo que tenemos ahora es una señal que muestra sólo el sonido periódico del rodamiento (o acelerómetro, o de algún otro componente metálico). No nos importa la frecuencia de la resonancia (es decir, el componente de alta frecuencia). Todo lo que queremos saber es si tenemos sonido del todo, cuál es la amplitud y con qué frecuencia se produce – que debe corresponder a la frecuencia de defecto del rodamiento. En este ejemplo estamos simulando la vibración de un defecto en la pista externa.

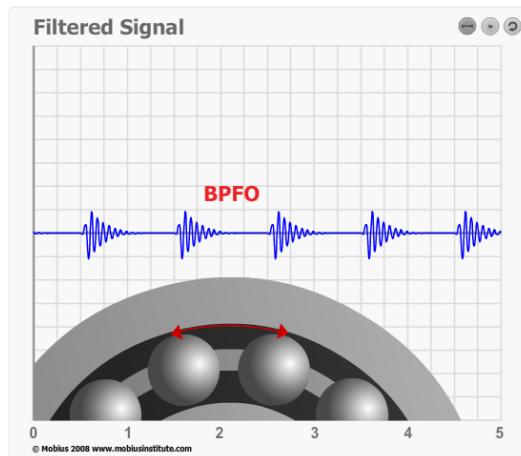


Figura 11-40

Paso dos: Rectificar(o Envolvente)

La tarea en cuestión es capturar los transitorios de timbre y crear una señal de baja frecuencia que podamos ver en una forma de onda de tiempo o espectro. Podemos hacer esto “rectificando” la señal. (Más tarde discutiremos las técnicas Spike Energy y PeakVue que hacen esto un poco diferente).

Si pasamos la señal a través de una “rectificación de onda completa” en el dominio analógico, o realizamos la misma tarea digitalmente, la vibración negativa se dobla y se hace positiva.

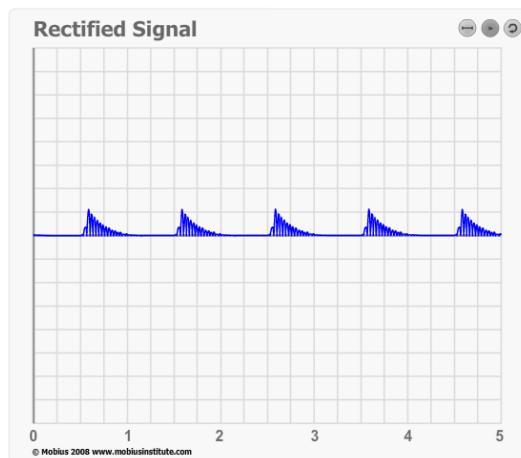


Figura 11-41

Paso tres: Filtro de paso bajo

Ahora que tenemos la señal rectificada, podemos pasarl a través de un filtro de paso bajo. Esto tiene el efecto de eliminar el timbre de alta frecuencia. Sin embargo, debido a que rectificamos la señal, nos quedaremos con una forma de onda que es la misma forma básica que los pulsos (parece una envolvente de los datos).

El filtro de paso bajo puede ser simplemente los filtros anti-aliasing utilizados para generar el espectro. Debe seleccionar un F_{max} para el espectro de envolvente/demodulación.

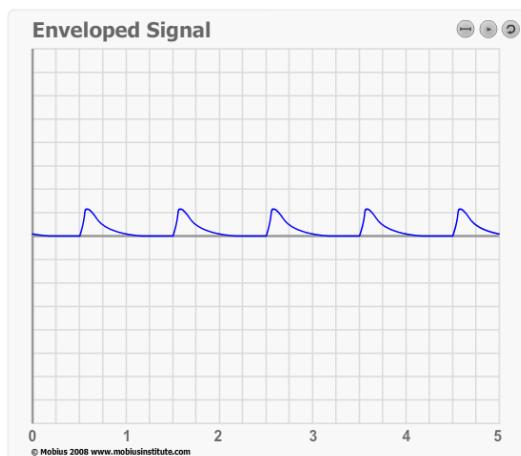


Figura 11-42

Configuración de la medición

La señal de envolvente se puede colectar rutinariamente y debe incluirse en las mediciones normales de la ruta. Tanto la forma de onda de tiempo demodulada como el espectro se pueden analizar. Recuerde que, aunque internamente, la técnica de demodulación está mirando los sonidos de alta frecuencia realizados por el impacto en el rodamiento, lo que usted obtiene es la tasa de repetición del impacto, que es la frecuencia de defecto del rodamiento y es relativamente baja. Por lo tanto, al configurar la medición, el espectro demodulado debe configurarse con un ajuste F_{max} igual a aproximadamente 3.5 veces la frecuencia de defecto de pista interna calculada para el rodamiento. Si usted no conoce la frecuencia de defecto de pista interna y el rodamiento tiene entre 8 y 12 bolas o rodillos, entonces usted puede hacer el F_{max} 15x a 20x.

Paso cuatro: Analizarlo

Ahora podemos analizar la forma de onda o el espectro. Si vemos picos separados por BPFO, BPFI o BSF, entonces podemos estar seguros de que hay desgaste del rodamiento – existe un defecto.

Podemos utilizar múltiples configuraciones de filtro de paso de banda o paso alto para centrarnos en diferentes intervalos de frecuencia con el fin de evaluar la gravedad de la falla; la vibración aparece primero en las frecuencias más altas.

También podemos estudiar el espectro demodulado (envolvente) y comparar la altura de los picos de frecuencia de defecto con la altura del piso de ruido.

Si el rodamiento está en buenas condiciones, entonces el espectro demodulado será todo ruido (suponiendo que nada más está generando impactos: desgaste del engranaje, holgura, etc.).

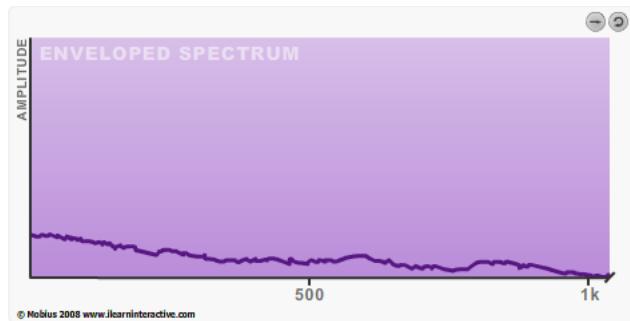


Figura 11-43

Una vez que la falla comienza a desarrollarse, los picos comenzarán a crecer. Con la mayoría de los productos en el mercado, no es posible indicar cuáles deben ser los niveles para evaluar el estado del rodamiento. En su lugar, se trata de observar qué frecuencias están presentes y de comparar la altura de los picos con la altura del piso de ruido.

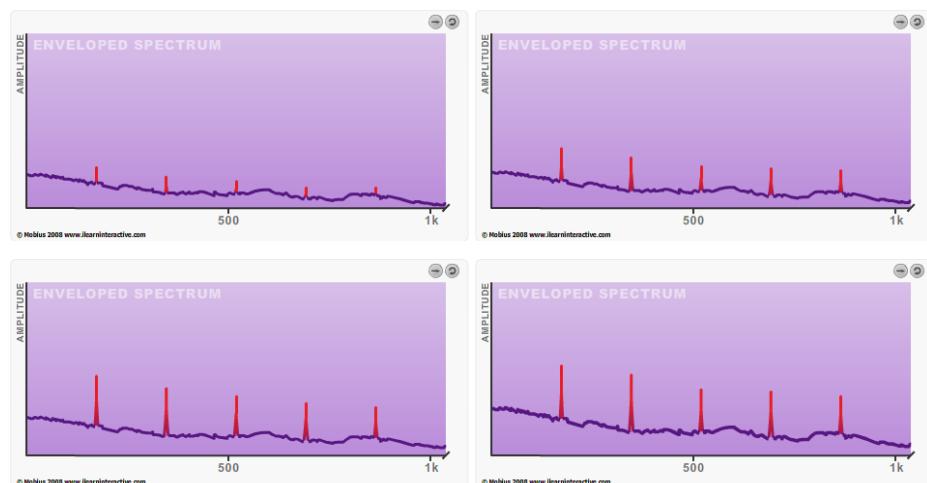


Figura 11-44

Una vez que el piso de ruido comienza a levantar y tragarse los picos, sabemos que el rodamiento está en la etapa cuatro y fallará pronto.



Figura 11-45

Configuración del filtro

Una de las claves para tener éxito con el envolvente es la selección de la configuración del filtro. Es importante que la banda de filtro no contenga frecuencias forzadas de la máquina. Si las frecuencias de engranajes (o armónicos), o las frecuencias de paso de aspa, o las frecuencias de paso de la barra del rotor, se encuentran dentro del rango de filtro, afectarán negativamente a los resultados.

También es importante que la banda del filtro contenga una frecuencia natural de la máquina o del acelerómetro. Si no hay una resonancia en la banda, podríamos tener la vibración necesaria después de filtrar los datos. Hay dos maneras de abordar este problema:

- 1 Simplemente puede seleccionar varias bandas de filtro compatibles con su analizador y luego:
 - a. Vea qué le da los mejores resultados, o
 - b. Utilice las bandas para proporcionar una advertencia del progreso del defecto del rodamiento. Debido a que la falla aparecerá en las frecuencias más altas primero, podemos ver el espectro de demodulación tomado de las bandas de frecuencia más altas antes de las bandas de frecuencia más baja. Usted puede estar seguro de detectar la falla, y usted obtiene la ventaja de aprender más sobre la severidad de la falla.
- 2 Usted puede estudiar una alta frecuencia (la F_{max} más alta soportada por su analizador) en formato dB y buscar resonancias.

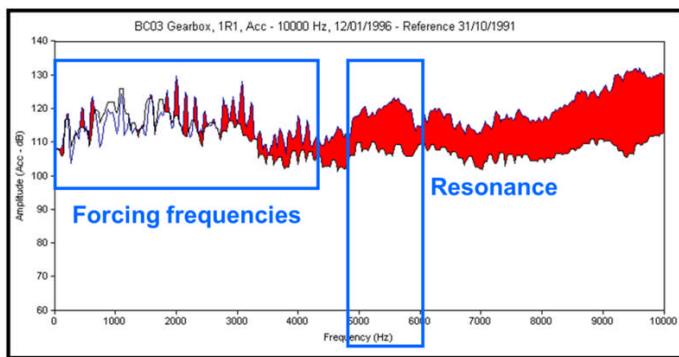


Figura 11-46

Tasa de muestreo

El segundo problema es si la técnica puede capturar las ondas de esfuerzo que estamos tratando de detectar. Si la amplitud es lo suficientemente alta, y la resonancia es lo suficientemente fuerte, entonces estos métodos funcionarán.

Pero, ¿qué pasa si la duración de la onda de esfuerzo es muy corta? Hemos discutido previamente el problema potencial; la frecuencia de muestreo del sistema podría ser demasiado lenta para detectar realmente los pulsos de corta duración.

Dos productos tienen electrónica diseñada para abordar específicamente este problema: PeakVue y Spike Energy. El método de pulso de choque está diseñado para excitar específicamente la resonancia de su sensor calibrado la cual monitorean.

El método de Pulso de Choque (ShockPulse)

El método de pulso de choque fue desarrollado por la compañía SPM Instrument en Suecia. El método de pulso de choque está diseñado para realizar al menos tres funciones:

- 1 Proporcionar una indicación del estado del lubricante.
- 2 Proporcionar una indicación del estado del rodamiento.
- 3 Permite que el analista vea espectros que revelan información más detallada sobre el estado del rodamiento.

Lubricación

Para resumir la sección de lubricación mencionada anteriormente en este capítulo, el lubricante en el rodamiento está diseñado para mantener dos superficies separadas. Debemos centrarnos en la interfaz entre el elemento rodante (bola) y la pista externa. A medida que las bolas ruedan a lo largo de la pista externa, la presión sobre la bola y la pista externa es enorme. El lubricante debe mantener las superficies separadas y reducir la fricción. En el punto donde se concentra la

carga, el lubricante actúa como un sólido y en realidad hay deformación en la bola y la pista externa. Es esta carga constante la que, en última instancia, hace que el metal falle y se desprendga.

Si miramos estas superficies bajo un microscopio veríamos que en realidad son bastante ásperas. El siguiente gráfico compara el entrehierro entre la bola y la pista externa con un cabello humano. Claramente estamos hablando de un espacio muy pequeño. El aceite es lo suficientemente grueso como para mantener estas superficies rugosas separadas. Dicho esto, todavía habrá contacto ocasional, y el estrés en la superficie de la bola y la pista externa causará vibración.

Por lo tanto, en este punto, esperamos que se genere ruido aleatorio. No hay nada que haga que la vibración sea periódica, no hay daño hasta ahora.

El método de pulso de choque notificará este “ruido” como el nivel de “carpeta” como un valor dB. La vibración es aleatoria, sin embargo, los impactos generan ondas de esfuerzo, y excitan la resonancia en su sensor calibrado.

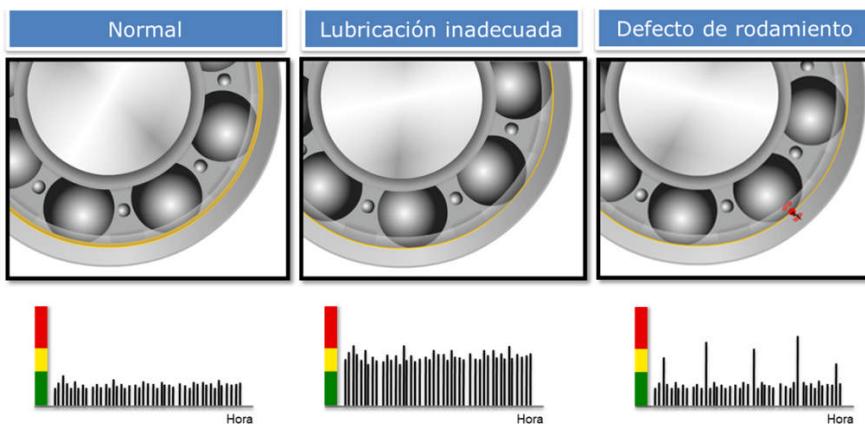


Figura 11-47 - [Gráfico de SPMInstrument Company]

Si no hay suficiente lubricante, estas superficies se acercarán. Ahora más y más de estos “picos” en la rugosidad de la superficie entrarán en contacto. El nivel de ruido aumentará. Podemos escuchar el aumento del ruido con productos de emisión acústica, y el método de pulso de choque mostrará un aumento en el nivel de carpeta, pero lo que es más importante, un mayor aumento en la actividad por encima de la carpeta. Por lo tanto, una tendencia de la carpeta frente a las excepciones proporciona una indicación del estado del lubricante. Esto se denomina dBc y dBm.

En este punto sería posible lubricar el rodamiento y ver si las lecturas vuelven a su nivel normal. Si lo hacen, pero sólo temporalmente, entonces usted sabrá que el daño ha ocurrido. Si el sensor se ha montado correctamente, los valores proporcionados por el método de pulso de choque proporcionan una buena indicación del estado del lubricante.

Si no se toma ninguna medida (es decir, el rodamiento no está lubricado), entonces el ruido aleatorio aumentará. Habrá más excepciones por encima de la carpeta, pero de nuevo, serán al azar; no hay nada periódico sobre la vibración - hasta que el rodamiento comienza a fallar.

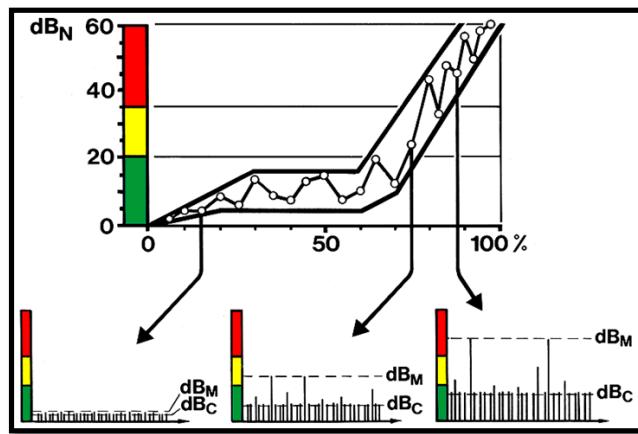


Figura 11-48 - [Gráfico de SPM Instrument Company]

Ya sea debido a una lubricación deficiente o a un funcionamiento prolongado bajo carga, o a una carga excesiva (desalineación, etc.), puede desarrollarse un defecto subsuperficial. Con el tiempo el defecto se desarrollará aún más y el metal se romperá de la superficie. Ahora obtendremos ondas de esfuerzo debido al contacto de metal a metal, y ahora son periódicas. El tiempo entre cada contacto es el mismo que las frecuencias de defecto descritas anteriormente. Si el daño está en la pista extrema, el tiempo entre eventos (ya sea compresión en el defecto del subsuelo o contacto de metal con metal) será el inverso de la frecuencia BPFO (es decir, el período).

El método de pulso de choque está diseñado para detectar el aumento de las excepciones por encima del nivel de carpeta, y puede proporcionar un espectro de la señal, que es similar a la técnica de envolvente.

El sensor SPM

SPM fabrica su propio sensor. El transductor está diseñado para resonar a 32 kHz. La resonancia amplifica el pulso de choque y otras vibraciones en ese rango de frecuencia. Con el fin de obtener los mejores resultados, el transductor se monta en la zona de carga. También debe montarse como se indica; no se monta magnéticamente.

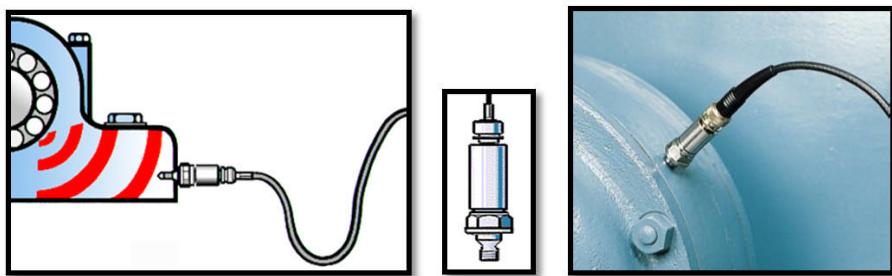


Figura 11-49

El método PeakVue®

El método PeakVue está disponible en la división CSI de la empresa Emerson. Fue diseñado específicamente para superar la pérdida potencial de ondas de esfuerzo de corta duración, y para proporcionar una forma de onda de vibración de tendencia y espectro.

La cuestión de la duración de las ondas de tensión se abarcó anteriormente en el manual.

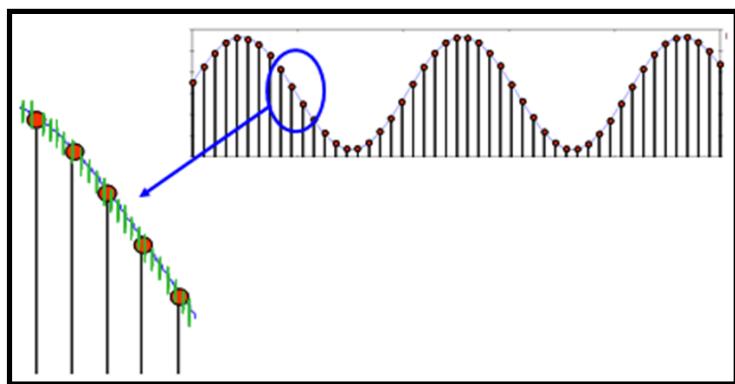


Figura 11-50

Por ejemplo, si selecciona un F_{\max} de 1000 Hz, la frecuencia de muestreo es de $1000 \times 2.56 \times 2.560$ muestras por segundo (es decir, hay 0.39 ms entre muestras). Para el método PeakVue, la señal se muestrea a 102.400 muestras por segundo (0.01ms entre muestras). ¡La frecuencia de muestreo es 40 veces más rápida!

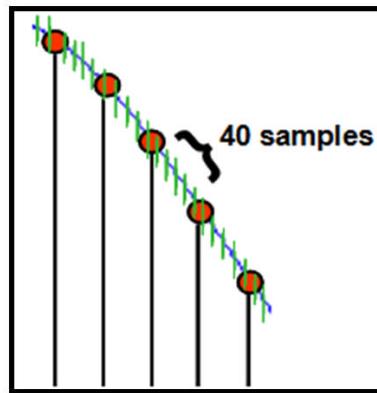


Figura 11-51

El procesamiento PeakVue crea una forma de onda de tiempo PeakVue compuesta por valores máximos absolutos de onda de esfuerzos. La forma de onda PeakVue se utiliza para tres tareas:

1. La magnitud de la forma de onda PeakVue se utiliza para la evaluación de la severidad,
2. Calcular el espectro PeakVue donde se identifican fallas periódicas y
3. Calcular el coeficiente de función de correlación automática que se utiliza como ayuda de diagnóstico.

A continuación se muestra un espectro PeakVue y una forma de onda.

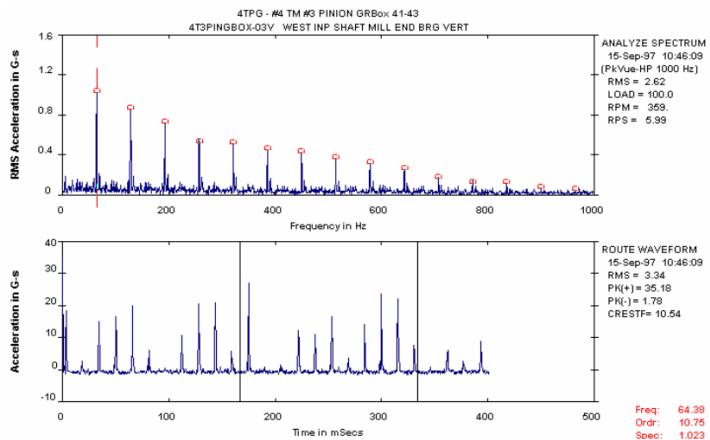


Figura 11-52

El parámetro de pico de forma de onda representa el nivel máximo de señal PeakVue y debe utilizarse para la evaluación de la severidad y alarma. Los picos y patrones mostrados en la forma de onda y el espectro de PeakVue representan fuentes de ondas de esfuerzos que se correlacionan con las frecuencias de falla calculadas.

El método Spike Energy

El método Spike Energy fue desarrollado por la compañía IRD Mechanalysis. El principio de funcionamiento es muy similar a todos los métodos discutidos hasta ahora (aunque cabe señalar que el método Spike Energy fue uno de los primeros, si no el primero en ser desarrollado). Al igual que el método Shock Pulse, se basó en capturar la vibración de la resonancia del acelerómetro. La diferencia está en el tratamiento de los datos. En lugar de aplicar un “filtro rectificador/paso bajo simple”, se desarrolló una técnica especial (en circuitos analógicos) para capturar la amplitud máxima y descomponer la señal de una manera repetible. La señal procesada es similar a las versiones anteriores en esta ilustración; pero en realidad es diferente.

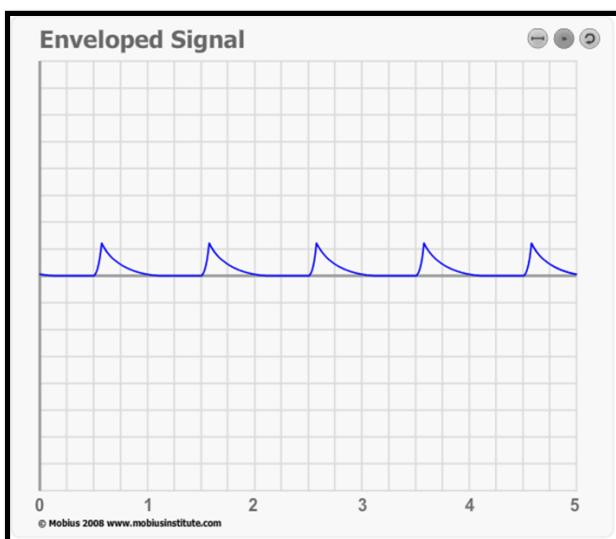


Figura 11-53

La técnica Spike Energy fue revolucionaria en su tiempo. Podría hacer tendencia del valor “gSE” que dio una indicación del desgaste del rodamiento, y se podía ver la forma de onda de tiempo y el espectro.

Todavía se utiliza con éxito hoy en día, sin embargo, hay una diferencia importante hoy en día. IRD solía fabricar sus propios sensores calibrados (al igual que SPM hace hoy en día). Por lo tanto, cuando usted citó un nivel gSE significaba algo. Hoy en día se utilizan sensores de uso general. La sensibilidad de los sensores, y la cantidad de amplificación en la frecuencia resonante, ahora varía mucho. Si utiliza un sensor durante un período prolongado de tiempo, sus tendencias serán buenas. Pero si cambia los sensores, su tendencia tendrá un cambio.

Resumen

La demodulación, envolvente, PeakVue, Shock Pulse, Spike Energy (gSE), HFD y otros métodos de este tipo se basan ampliamente en la misma idea: impactos repetitivos que pueden indicar defectos de rodamientos, daños en los engranajes, holgura, cavitación y otras fallas excitarán la máquina/resonancia de rodamientos (o resonancias de sensores). Con el fin de medir con precisión estos efectos, debe asegurarse de que la prueba está configurada correctamente, de que el sensor y el tipo de montaje y las ubicaciones de prueba son adecuados para medir las frecuencias altas.

Todos los analistas de vibración deben utilizar una de estas técnicas.

Rodamientos de baja velocidad

Los rodamientos de baja velocidad (por debajo de aproximadamente 200 RPM) representan un desafío de monitoreo, pero la buena noticia es que estas técnicas de alta frecuencia pueden proporcionar una solución viable. Aunque la velocidad de rotación del rodamiento puede ser lenta, se sigue generando un pulso de esfuerzo de alta frecuencia cuando una bola o rodillo entra en contacto con un defecto. Esto puede no generar suficiente energía para hacer que la carcasa del rodamiento timbre y, por lo tanto, se debe tener cuidado con las técnicas de envolvente normales.

Los equipos de ultrasonido y SPM son sensibles a los impulsos de choque de bajo nivel y la fricción y pueden proporcionar información de diagnóstico sobre los rodamientos que giran tan lento como 15 RPM.

Al monitorear máquinas de baja velocidad recuerde que las amplitudes de vibración son muy bajas y pueden ser difíciles de monitorear con acelerómetros estándar. La vibración de alta frecuencia no viaja lejos, por lo que el montaje y la colocación del sensor es crítico.

También recuerde que probablemente no estamos particularmente interesados en monitorear la máquina para cosas como el desbalance, ya que a velocidades muy bajas incluso un gran desbalance generará muy poca fuerza. Así que, aunque la máquina gira lentamente, podemos obtener la mejor información usando técnicas de alta frecuencia.

Puntos clave

- FO Los estudiantes deben ser conscientes de las técnicas de alta frecuencia disponibles para la detección temprana del desgaste de los rodamientos o la detección del desgaste del rodamiento en rodamientos de baja velocidad.
- FO Los estudiantes deben entender los problemas involucrados en la medición de altas frecuencias
 - o Montaje del sensor, filtros, frecuencia de muestreo, proximidad al rodamiento, rango dinámico, etc.
- FO Los estudiantes deben entender la diferencia entre las técnicas de alta frecuencia
 - o Medición de ondas de esfuerzo directamente, utilizando la frecuencia natural del sensor, demodulando cualquier alta frecuencia que se modula.
- FO Los estudiantes deben entender la demodulación o envolvente
 - o Cómo funciona
 - o Cómo configurar la prueba (filtros, F_{max} , LOR, etc.)
 - o Cómo interpretar los datos
- FO Los estudiantes deben entender cómo las técnicas de alta frecuencia encajan con la estrategia general de detección del desgaste del rodamiento.

Fallas de rodamientos en la tercera etapa

Los siguientes puntos resumen las características observadas cuando un rodamiento se encuentra en la tercera etapa:

- FO Daño más significativo:
 - o De daños menores a daños más significativos
 - o El rodamiento puede fallar de muchas maneras por muchas razones
- FO La vibración de muy alta frecuencia sigue aumentando en amplitud.
- FO El espectro de envolvente (demodulación) será efectivo
 - o Los filtros deben configurarse correctamente
- FO Los patrones clásicos aparecen en el espectro:
 - o Armónicos debido a impactos
 - o Modulación (bandas laterales) debido a cambios cílicos en la carga

El espectro es ahora muy importante. El espectro de aceleración y el espectro de velocidad de registro pueden haber mostrado picos en las frecuencias de defecto del rodamiento, pero no hay duda de que el espectro de velocidad tendrá patrones de vibración que indican la falla.



Figura 11-54

Fallo de pista externa (pista interna girando)

Si hay una muesca en la pista externa (probablemente justo en la zona de carga), habrá armónicos de BPFO presentes en los datos. Para empezar, es posible que los armónicos sean débiles, pero a medida que la falla se desarrolla los armónicos se harán más fuertes, y probablemente aumentará la amplitud a medida que la frecuencia aumente.

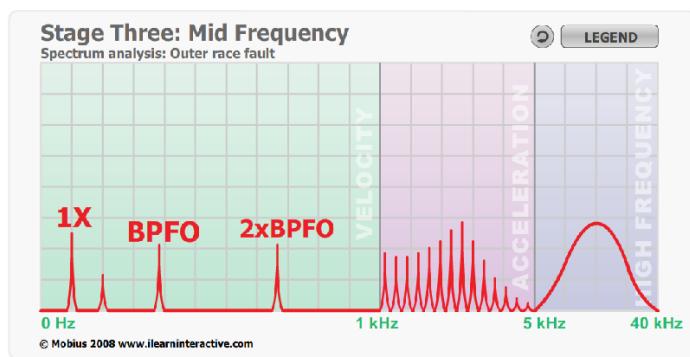


Figura 11-55

Fallo de pista externa (pista externa girando)

Si la pista externa es la que gira, entonces el patrón cambiará. Todavía habrá armónicos; siempre hay armónicos cuando se producen impactos. Las fuerzas en el impacto ya no serán consistentes. Cuando el área dañada viaja a través de la zona de carga, los impactos serán más fuertes en comparación con los impactos (y el nivel de vibración) cuando el área dañada está en la parte superior del rodamiento donde puede estar ligeramente cargada.

Este aumento y caída en la amplitud de vibración genera bandas laterales en el espectro. Debido a que la pista exterior estaría girando a la velocidad de giro, las bandas laterales estarían espaciadas a 1X.

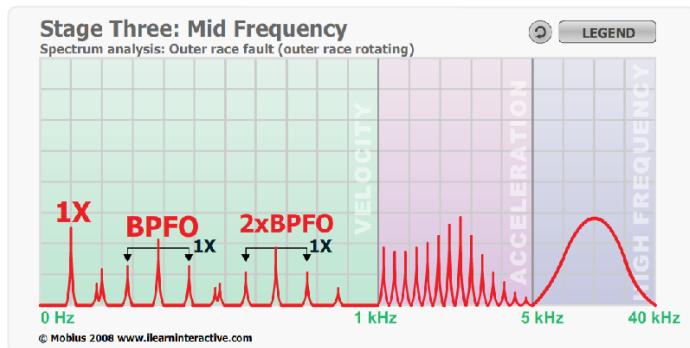


Figura 11-56

Fallo de pista interna

Si hay daño en la pista interna en el rodamiento, observaremos tres características importantes:

1. Debido a que habrá impactos, veremos armónicos de la frecuencia BPFI.
2. Debido a que el daño está en la pista interna y la vibración debe viajar a través de las bolas a la pista exterior y en el lugar de medición. Por lo tanto, la amplitud puede ser menor.
3. Debido a que una muesca viaja alrededor del rodamiento una vez por revolución, los impactos no serán iguales en amplitud. Así que vamos a ser testigos de bandas laterales 1X. Si la pista exterior está girando entonces no habrá bandas laterales porque la fuerza detrás de cada impacto será igual.

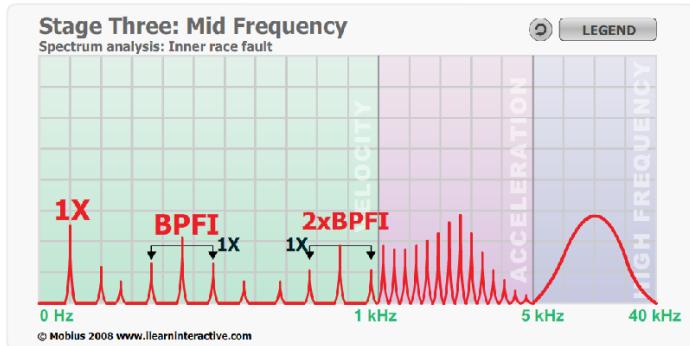


Figura 11-57

Daño en la bola o en el rodillo

Si hay daños en la bola o el rodillo, entonces esperamos ver un pico en BSF con armónicos. Es probable que 2xBSF y armónicos serán más fuertes ya que el área dañada en el elemento rodante puede hacer contacto con las pistas interna y externa en cada rotación.

También habrá bandas laterales FT (frecuencia de jaula/canasta). A medida que las bolas se mueven alrededor del rodamiento entrarán en la zona de carga del rodamiento a la velocidad definida por la frecuencia fundamental de jaula, que será menos de la mitad de la velocidad de giro si la pista interna es la que gira, un poco más de 0.5X si la pista externa está girando.

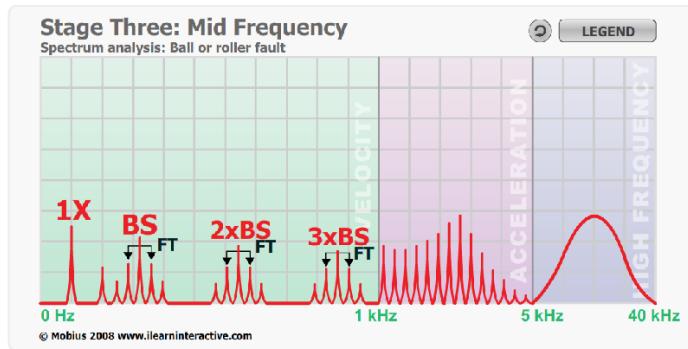


Figura 11-58

Conocer las frecuencias forzadas puede ser muy útil; especialmente si hay más de un rodamiento cerca de su ubicación de medición. Sin embargo, sabiendo que las frecuencias de defecto son no sincrónicas, y que generan armónicos, y que las bandas laterales 1X indican una falla de pista interna, y las bandas laterales FT indican una falla de bola o rodillo, entonces podemos determinar con mucha confianza que la falla del rodamiento existe.

Visión general de las técnicas

La eficacia de cada técnica de detección de rodamientos se resume a continuación:

HFD	<ul style="list-style-type: none"> • Sí: métodos efectivos • La tendencia continuará hacia arriba
Envolvente	<ul style="list-style-type: none"> • Sí: frecuencias de defectos presentes • La carpeta de ruido debería subir
Espectro	<ul style="list-style-type: none"> • Sí: espectro de aceleración • Sí: espectro de velocidad
Onda de Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> • Sí: Impactos visibles • Modulación visible

Figura 11-59

En la siguiente tabla se resumen las posibles acciones que podría tomar en esta etapa:

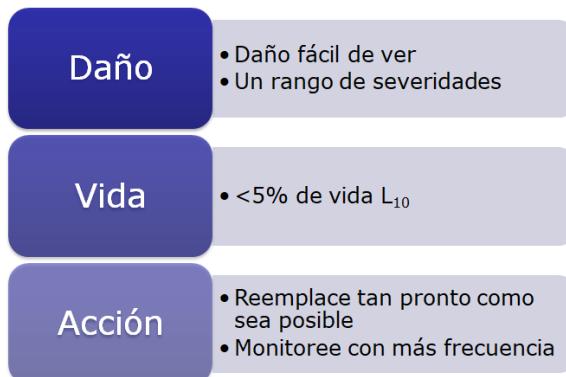


Figura 11-60

Análisis del espectro

Recuerde que las frecuencias de defectos del rodamiento no son sincrónicas. Para identificar rápidamente qué picos son sincrónicos y no sincrónicos, es útil normalizar los datos en órdenes. También es importante tener suficiente resolución en el espectro para separar las frecuencias de defectos del rodamiento de los armónicos de velocidad del eje u otras frecuencias forzadas, especialmente en máquinas de múltiples ejes. Si usted toma rutinariamente un espectro con un F_{max} alto (digamos 60x) entonces es una buena idea acercar y ver los datos de 0-10x o 0-20x para que pueda ver claramente los picos de los rodamientos.

Gráficos con escala logarítmica

Uno de los trucos para identificar rápidamente los problemas de rodamientos es formatear los datos de una manera que los acentúe. Las escalas de gráficos de registro y dB en el eje "Y" o vertical sirven exactamente para este propósito. En resumen, cuando un gráfico se presenta en un formato Log o dB, uno es capaz de ver picos muy pequeños en presencia de picos muy grandes. En una máquina, los picos de rodamientos pueden ser mucho más pequeños en amplitud que 1X o una frecuencia de paso de paletas. Al mirar el gráfico en una escala lineal, es posible que solo se vean estos picos dominantes y que los picos de rodamiento se pierdan en el ruido.

Con una escala logarítmica o dB se pueden ver dos picos en el mismo gráfico, ¡incluso si un pico es 1,000 veces mayor en amplitud que el otro! Si desea tratar de visualizar esto, considere tratar de tomar una fotografía de una persona de pie junto a un árbol muy alto. El problema es que siempre tiene que tener la parte superior del árbol en la foto. Si usted se para lo suficientemente atrás para capturar la parte superior del árbol, la persona se verá como una pequeña mancha en su base. Este es su pico de rodamiento en comparación con 1x. Como se mencionó, si simplemente cambia la escala a Log o dB usted será capaz de ver claramente a la persona y todo el árbol en la imagen, incluso si el árbol es 1000x más alto que la persona.

Incluso si un pico de rodamiento tiene una amplitud absoluta baja, si su amplitud se duplica o triplica, entonces indica que hay un problema grave, por lo que es muy importante poder ver estos picos incluso si son bastante pequeños.

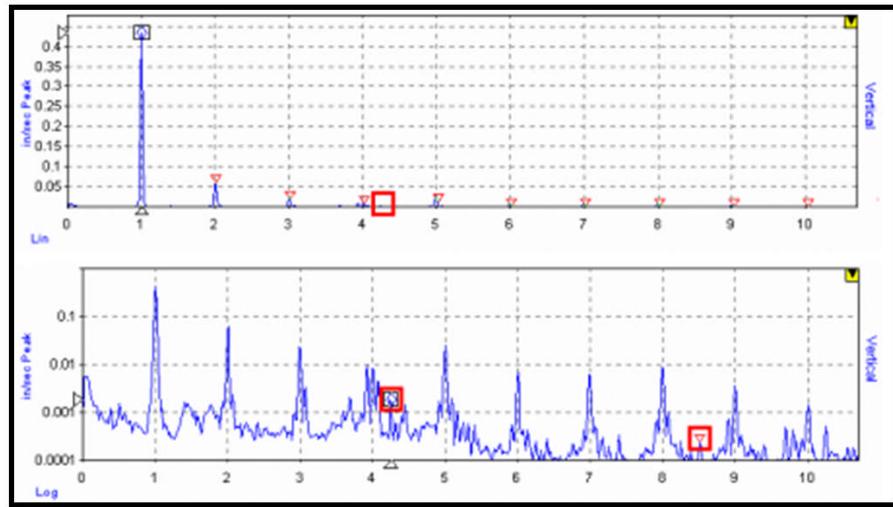


Figura 11-61

Las dos gráficas anteriores son los mismos datos, la gráfica inferior está en formato logarítmico; la parte superior es lineal. Un pico de rodamiento y armónicos se indican mediante las cajas rojas – tenga en cuenta que el tono no es visible en absoluto en el gráfico superior. El gráfico inferior también muestra signos de holgura (armónicos de 1x) y un piso de ruido elevado que no es visible en el gráfico superior. Por último, también tenga en cuenta que los datos en ambos gráficos están normalizados en órdenes y hay mucha resolución (y espacio) entre los armónicos de velocidad de eje por lo que es fácil encontrar tonos no sincrónicos.

Análisis de forma de onda de tiempo

La forma de onda de tiempo tendrá signos claros de los defectos. Podemos analizar la forma de onda de velocidad, la forma de onda de aceleración y las formas de onda envolvente/Shock Pulse/PeakVue. También podemos usar la correlación automática y las gráficas de círculos. La forma de onda proporciona una advertencia temprana y una buena indicación de la severidad. Una forma de onda en unidades de aceleración contendrá cada uno de los impactos. La modulación también será claramente visible en los datos.

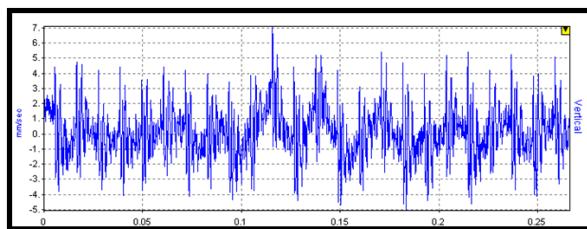


Figura 11-62

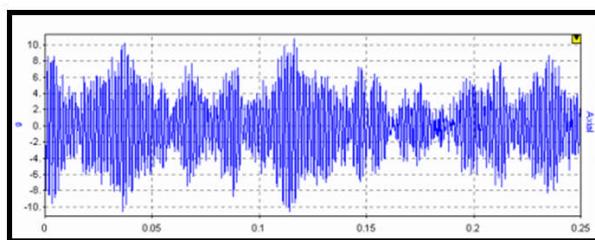
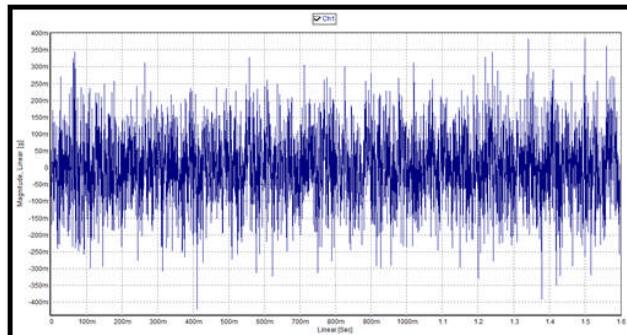
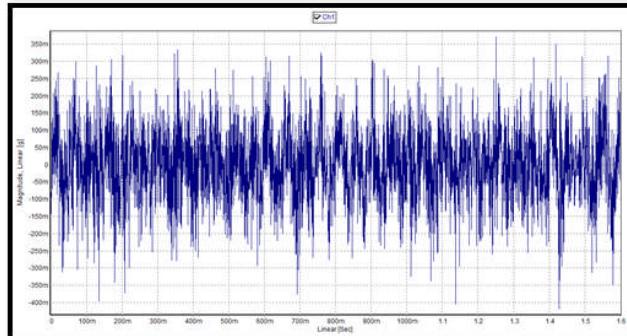


Figura 11-63

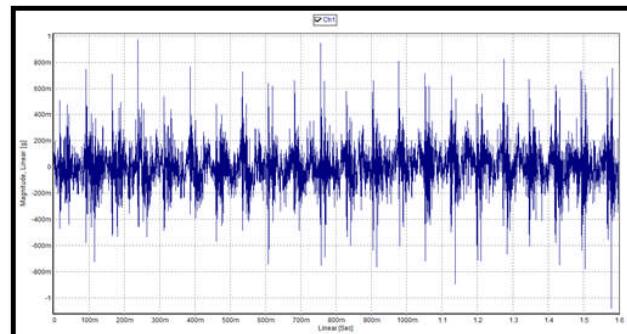
El análisis de forma de onda de tiempo es particularmente eficaz con máquinas de baja velocidad.

Caso de estudio

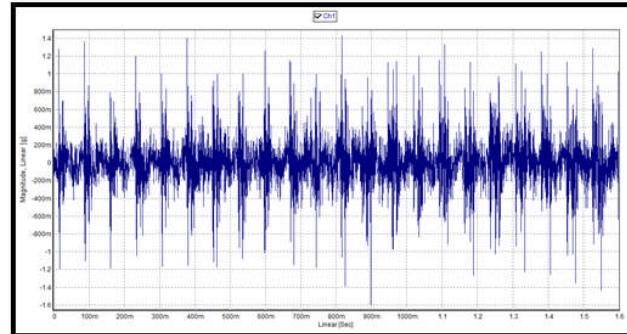
Los siguientes datos provienen de un motor de dos polos de 30 kW con un VFD con un rodamiento de bloque de almohada en un ventilador accionado por correa/banda.

de marzo de
2012

Mayo 2013



jan 2014



Marzo del 2014

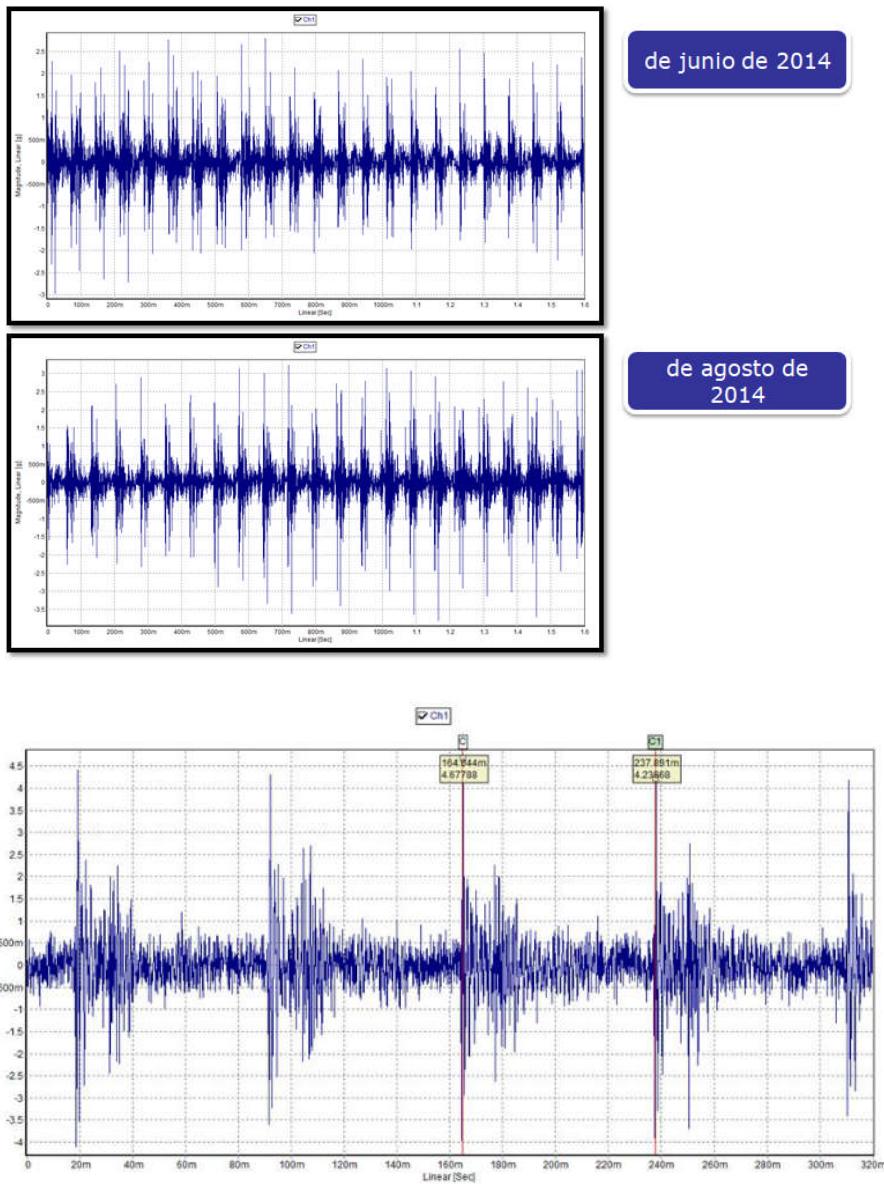


Figura 11-64 Acercamiento en el gráfico

Fallas de rodamientos en etapa cuatro

Los siguientes puntos resumen las características observadas cuando un rodamiento se encuentra en la cuarta fase:

 Daño significativo

- o Daños mucho más extensos
- o El daño en un componente causa daños en otros componentes
- o La falla es inminente

 Vibración de muy alta frecuencia puede tender hacia abajo.

- o El suavizado de metal reduce los impactos bruscos

 El análisis de espectro, forma de onda de tiempo y espectro de envolvente sigue siendo eficaz - al inicio...

Figura 11-65

A medida que avanzamos en la etapa cuatro fallas los patrones de vibración comenzarán a cambiar dramáticamente; debido en su mayor parte al desgaste excesivo. La vibración se vuelve cada vez menos periódica: hay demasiadas áreas de daño. La vibración comienza a ser ruidosa que eleva el piso de ruido – los llamamos “montañas”, pero en realidad son sólo resonancias.

A medida que la falla se desarrolla aún más, los picos de frecuencia de defectos desaparecerán por completo, y el espectro cambiará para llegar a ser más como el patrón esperado de holgura giratoria. Esto se debe a que ha habido tanta pérdida de metal que las holguras comienzan a crecer.

Una vez que observe estos cambios, debe tomar medidas; el rodamiento tiene menos del 1% de su vida útil restante.

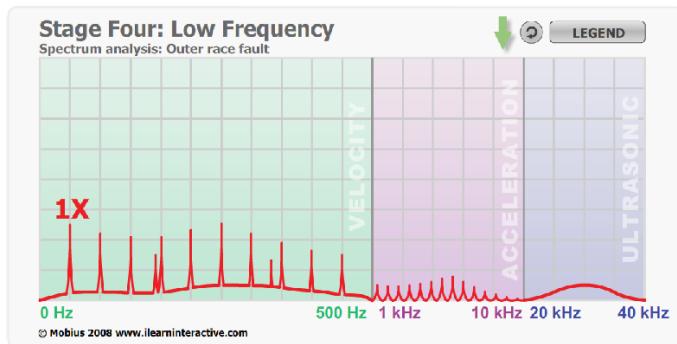


Figura 11-66

En esta etapa, las técnicas de alta frecuencia se vuelven mucho menos efectivas. El pulso de choque y las tendencias de gSE pueden bajar. El espectro proporcionará suficiente evidencia de la condición de falla. Una persona de pie junto a la máquina podría decirle que el rodamiento estaba dañado.

La eficacia de cada técnica de detección de rodamientos se resume a continuación:

HFD	<ul style="list-style-type: none"> • No: Menos vibración de alta frecuencia • La tendencia caerá
Envolvente	<ul style="list-style-type: none"> • Sí: Frecuencias de defectos presentes • El ruido debería subir
Espectro	<ul style="list-style-type: none"> • Sí: Espectro de aceleración • Sí: Espectro de velocidad
Onda de Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> • Sí: Impactos visibles • Modulación visible

Figura 11-67

En la siguiente tabla se resumen las posibles acciones que podría tomar en esta etapa:

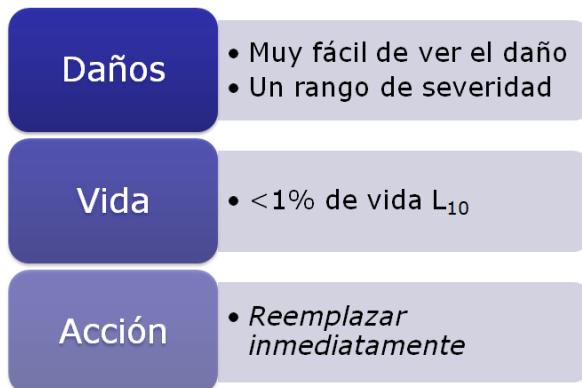


Figura 11-68

Optimización de los resultados

Ahora que casi hemos completado esta sección sobre la detección de defectos de rodamientos, recuerde que la detección de defectos es sólo una parte de la historia. Es igual de importante tratar de eliminar la causa raíz de la falla del rodamiento y prolongar la vida útil de los rodamientos. Esto comienza en la fase de diseño, asegurándose de que uno está utilizando la máquina y los rodamientos correctos para el trabajo, y continúa en la compra, envío, manipulación, instalación, pruebas de aceptación, alineación, balanceo, lubricación, etc. En resumen, hay desgaste del rodamiento y hay que cuidar del rodamiento y deberíamos estar interesados en ambos.

Tres claves del éxito:

- La configuración del recopilador de datos es muy importante:
 - Utilice aceleración en lugar de velocidad para frecuencias altas
 - Asegúrese de tener suficiente resolución
 - Elija cuidadosamente la configuración del filtro de modulación/envolvente
- La forma de probar la máquina es importante
 - Monte el acelerómetro correctamente
 - Considere más de un eje
- Consideré la máquina y el modo de falla
 - ¿Puedes acercar el acelerómetro lo suficiente?
 - ¿Con qué rapidez fallará el rodamiento?

Puntos clave

- F0 Los estudiantes deben sentirse cómodos utilizando las técnicas descritas en esta sección para detectar el desgaste del rodamiento, con el entendimiento de que diferentes indicadores aparecen en diferentes momentos en la progresión de un fallo.
 - o Espectros, formas de onda de tiempo, pruebas de alta frecuencia, etc.
- F1 Los estudiantes deben ser capaces de elegir una estrategia adecuada para detectar el desgaste de los rodamientos.
- F1 Los estudiantes deben ser capaces de reconocer los patrones comunes asociados con el desgaste de los rodamientos en los diversos tipos de datos.
- F1 Los estudiantes deben apreciar la diferencia entre los enfoques proactivo y predictivo (monitoreo de condición)

Caso de estudio: Planta de secado de alimento para animales

Sistema de transmisión de tambor con caja de engranajes; problema de rodamiento de soporte de muñón (Dean Whittle, julio de 2010).

Hay dos secadores en el lugar que son críticos para el funcionamiento de la planta. Los secadores eliminan el exceso de agua del producto y las tasas de producción de la planta se reducen si un secador está fuera de línea. Velocidades de producción típicas para cada secador: motor accionado por inversor (1375 RPM), salida de la caja de engranajes (12.7 RPM), rodamientos de soporte de piñón de cadena (12.7 RPM), rodamientos de soporte de muñón (9.5 RPM), tambor de secador principal (2.6 RPM)



Figura 11-69

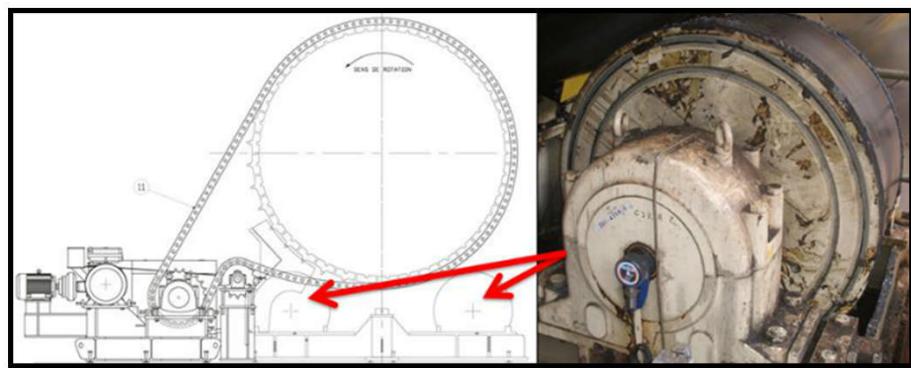


Figura 11-70 4 Muñones de soporte (8 rodamientos) Norte/Sur

El sistema de transmisión del tambor había sido configurado para el monitoreo rutinario de las condiciones desde la puesta en marcha de la planta. Esto incluyó un análisis de vibración mensual en el motor, la caja de engranajes y los rodamientos de muñón, y análisis de aceite 3 veces al mes en la caja de engranajes.

La muy baja velocidad del eje de 9.5 RPM hace que esto sea difícil, si no imposible, de monitorear utilizando técnicas de análisis de vibración estándar. Por lo tanto, se eligió la tecnología PeakVue. Las ondas de esfuerzo que se miden podrían indicar problemas con los rodamientos, engranajes u holgura.

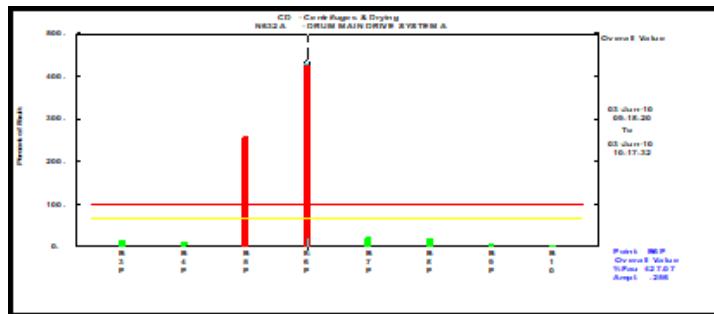


Figura 11-71 Tendencia de valor global PeakVue

Los niveles de esfuerzo general PeakVue en G. Los datos mostraron niveles de impacto elevados en los rodamientos del noroeste y los impactos se podían ver claramente en la forma de onda de tiempo PeakVue (abajo - izquierda)

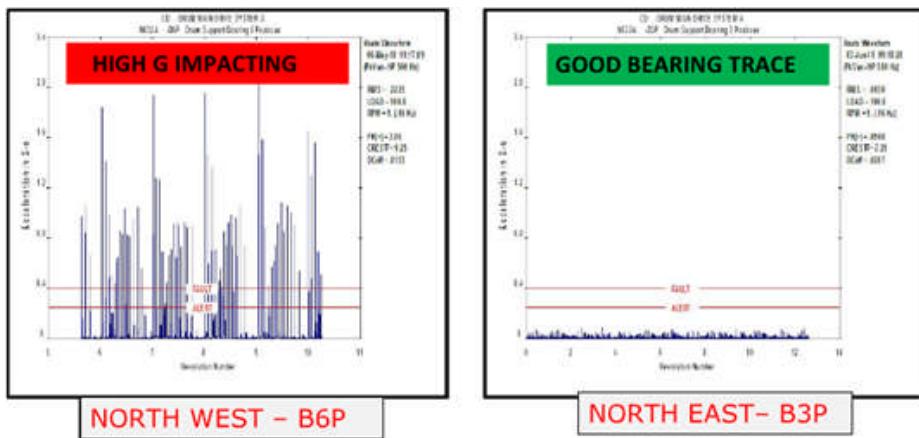


Figura 11-72 Impactos en forma de onda

Una mirada más cercana reveló la presencia de modulación de amplitud a la velocidad del eje de 9.5 RPM, lo que indica un defecto de pista interna.

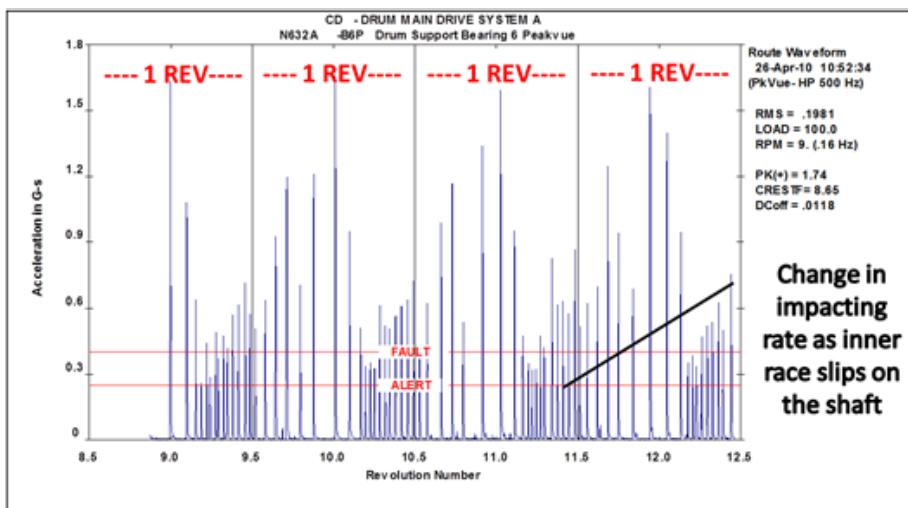


Figura 11-73 Modulación a la velocidad del eje en forma de onda PeakVue

Los mismos datos de forma de onda de tiempo PeakVue también se pueden mostrar en una gráfica circular para mostrar la modulación de amplitud.

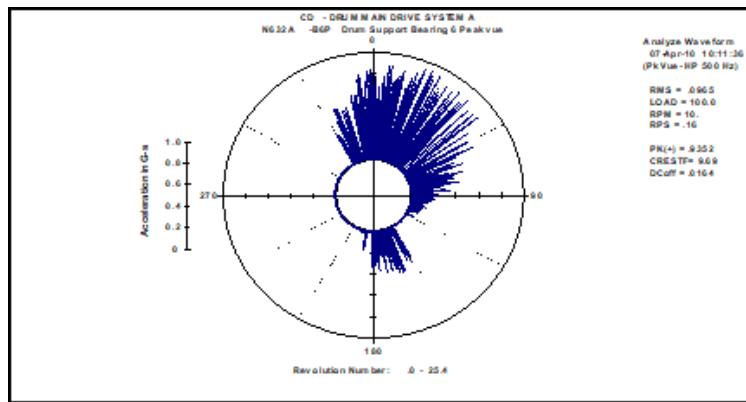


Figura 11-74 Diagrama circular con modulación en amplitud en forma de onda PeakVue

Tenga en cuenta que el impacto no es evidente en la forma de onda de tiempo normal a continuación:

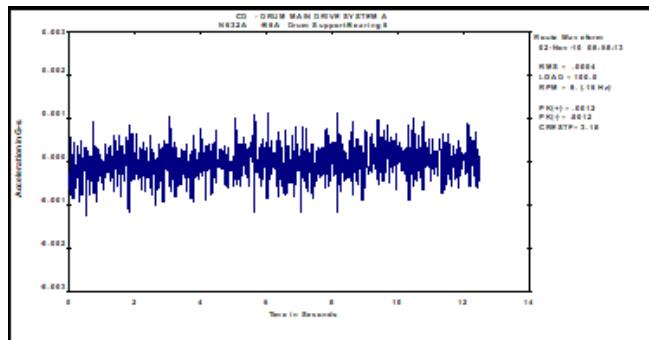


Figura 11-75 Forma de onda estándar

Otro indicador fue la tendencia pico a pico de la forma de onda de tiempo PeakVue. Los valores aumentaron de 0.3 a 2.3 G en tres meses.

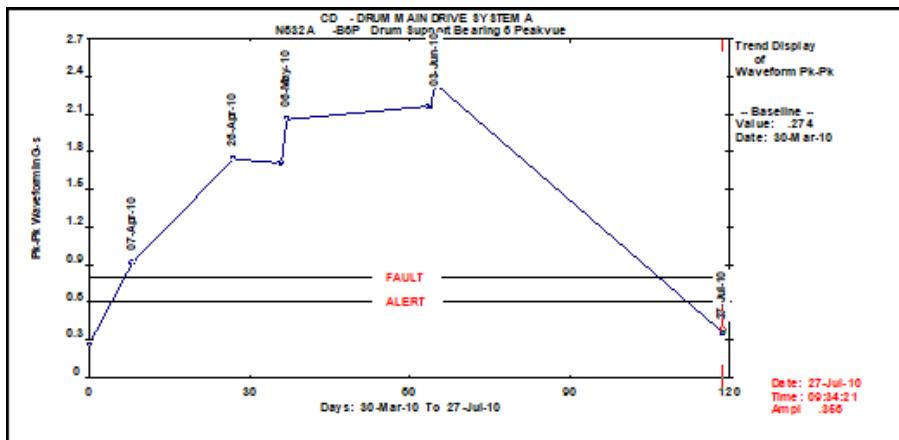


Figura 11-76 Tendencia PeakVue pico-pico

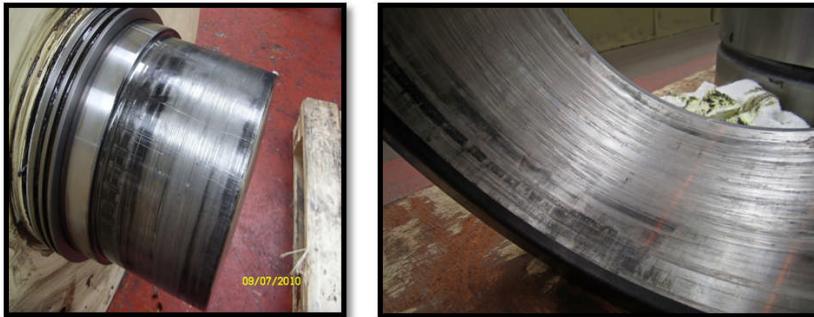


Figura 11-77 Rodamiento con falla

Las imágenes iniciales del rodamiento fallido mostraron arañazos horizontales que ocurrieron durante el desmontaje del rodamiento. El daño alrededor de la superficie del área de contacto del rodamiento se debe a que la pista interna del rodamiento gira sobre el eje. El diámetro interior de la pista interna del rodamiento muestra daño rotacional.



Figura 11-78

La pista interna del rodamiento muestra ligeras manchas, pero no se pudo identificar ningún daño superficial. El diámetro interior de la pista externa muestra algunos daños por hendidura. Las líneas verticales de la superficie coinciden con el espaciado del rodillo. La jaula debe limpiarse para permitir un análisis más detallado. La grasa es mucho más oscura en color que la nueva grasa y está contaminada con partículas de latón.

Un punto importante a tener en cuenta es que debido a las bajas velocidades, este defecto nunca se habría encontrado sin utilizar una tecnología de alta frecuencia como PeakVue.

Caso de estudio: Acoplamiento de cuchara conveyor GRS 38

El problema se detectó en enero de 2004 y se hizo una recomendación para reemplazarlo en mayo. En este momento, se abrió e inspeccionó y porque parecía bien no fue reemplazado.

El patrón de vibración empeoró hasta noviembre y el rodamiento se retiró en diciembre. Había estado en servicio durante 7 años.

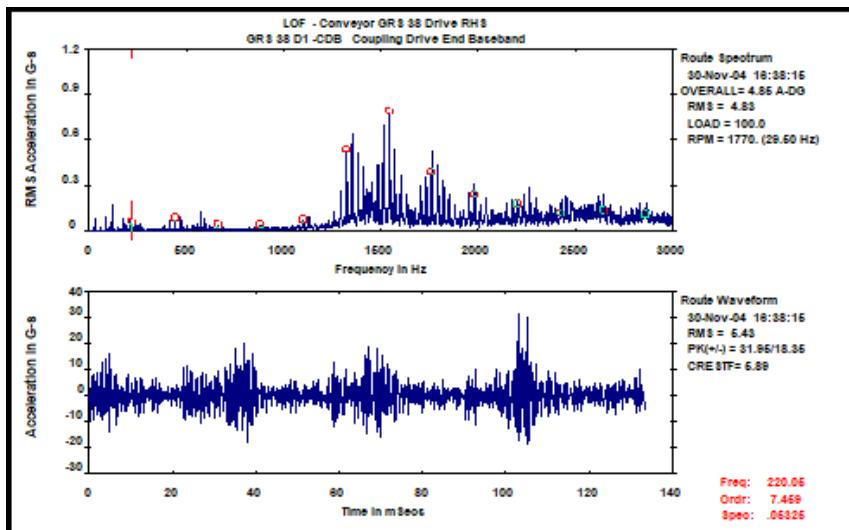


Figura 11-79 Datos de noviembre

Las indicaciones de instalación deficiente se pueden ver en la imagen de abajo mostrando una vista de la tuerca de la manga del adaptador y una grieta de la toma de la llave. La otra imagen muestra caminos de desgaste en la pista externa, sin embargo, no hubo desprendimientos.



Figura 11-80 Rodamiento dañado

Caso práctico: SCA Hygiene Australasia PM4 - M05-04 outer wire drive

La máquina de tejido es impulsada por un motor de DC de velocidad variable. El rodamiento de bolas del extremo trasero del motor tiene 9 elementos rodantes. Los datos mostraron predominantemente un defecto de pista externa, pero la pista interna se dañó de manera similar. La siguiente trama muestra una serie armónicos en 3.6x.

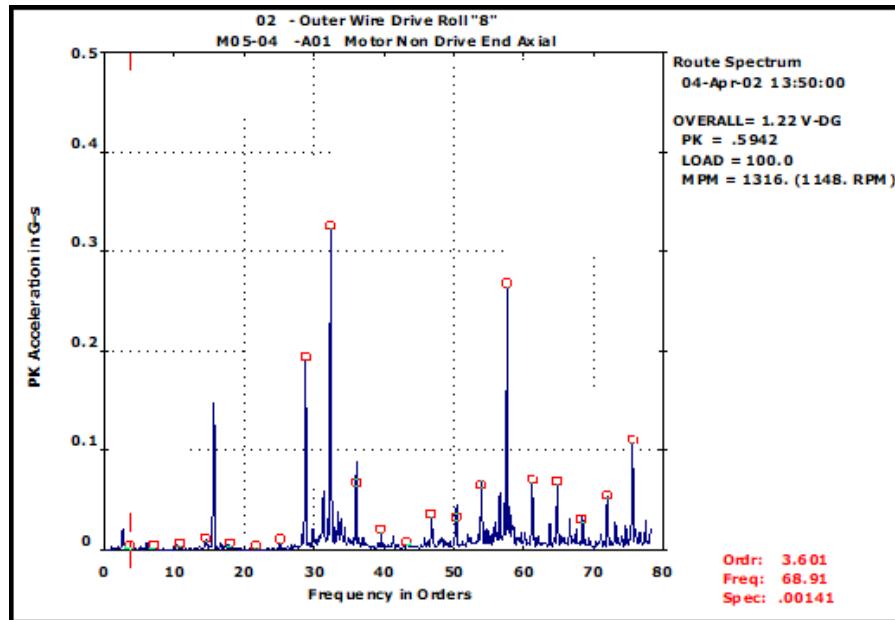


Figura 1181 Serie de armónicos a 3.6x

Una tendencia de los datos a lo largo del tiempo se puede ver a continuación:

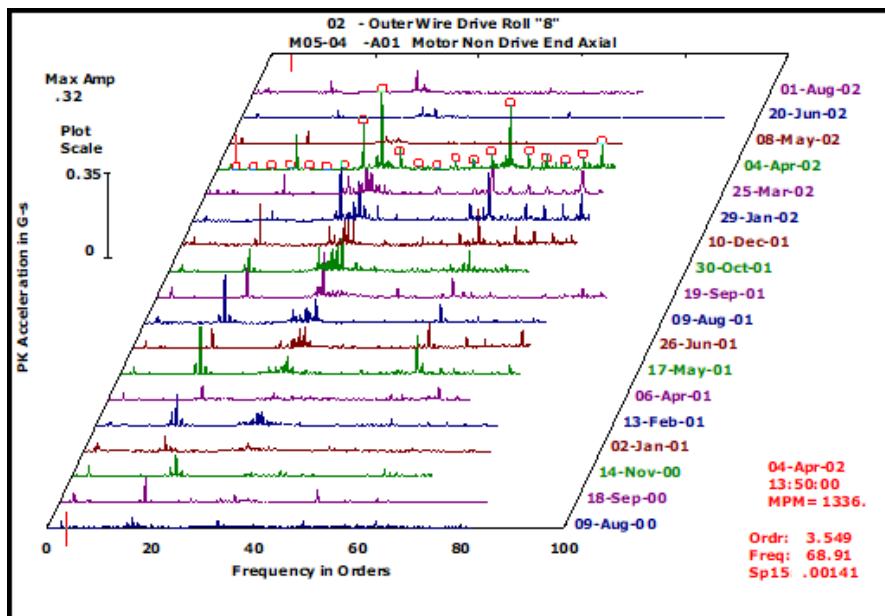


Figura 1182 tendencia del defecto en pista extrema

Y aquí está el rodamiento...



Figura 11-83

Caso práctico: Visypaper 4 secador #32 lado de transmisión

Los datos provienen de un cilindro de secadora de máquina de papel con rodamiento 24034 de 25 elementos rodantes. Hay un desprendimiento en la pista externa e interna. Los datos son de septiembre de 2002. Se puede ver una serie de armónicos de 11.32x. El siguiente gráfico es una tendencia de los datos a lo largo del tiempo, seguido de imágenes del rodamiento defectuoso.

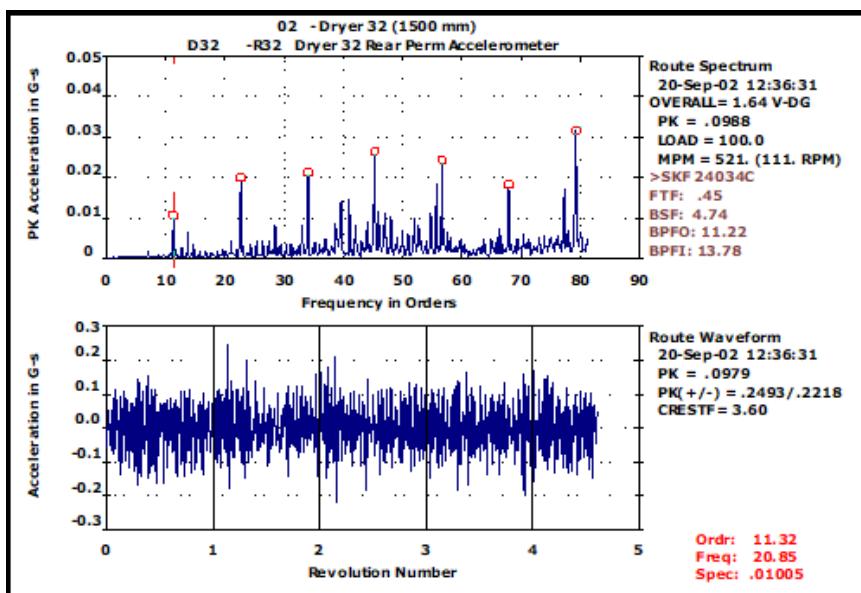


Figura 11-84 Hamónicos de 11.32x

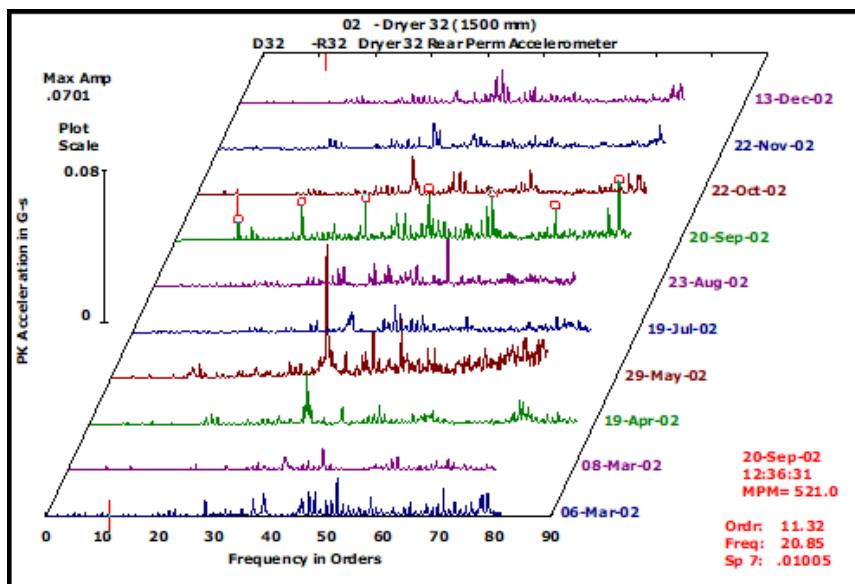


Figura 11-85



Figura 11-86

Caso práctico: Visypaper 4 bomba de ventilador de primera línea BMP470

Los siguientes datos provienen de una bomba de transmisión de CC de velocidad variable. El rodamiento del extremo de transmisión de la bomba tiene daño por EDM. Los datos a continuación muestran una serie armónicos de 2.69x.

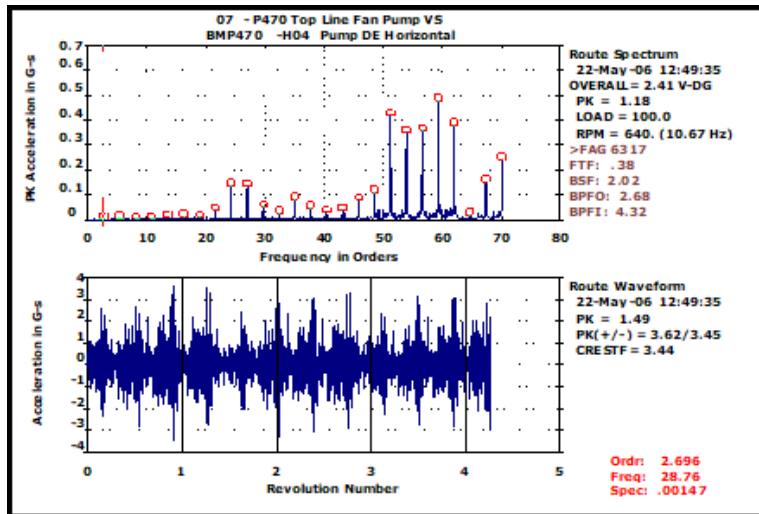


Figura 11-87 HARMÓNICOS de 2.69x

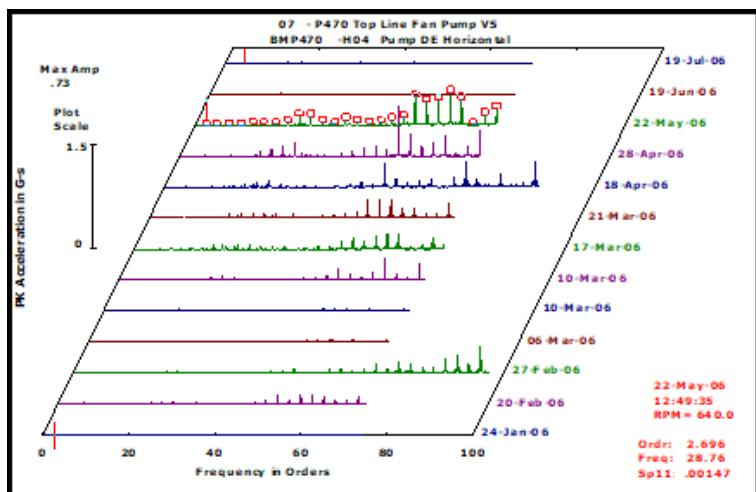


Figura 11-88 Gráfico de cascada



Figura 11-89 Daño EDM

Caso de estudio: Visypaper 5 Unipress rodamiento interno de rodillo de succión

La pista interna del rodamiento interno del rodillo de aspiración (24146) no gira. Tenga en cuenta la ausencia de bandas laterales rotacionales a pesar de que se trata de un defecto de pista interior. Los datos son de octubre de 1998.

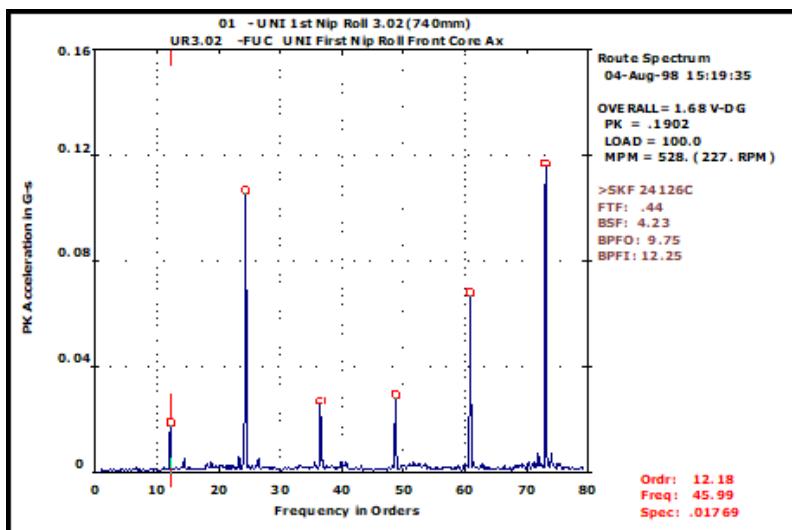


Figura 11-90 HARMÓNICOS de 12.18x

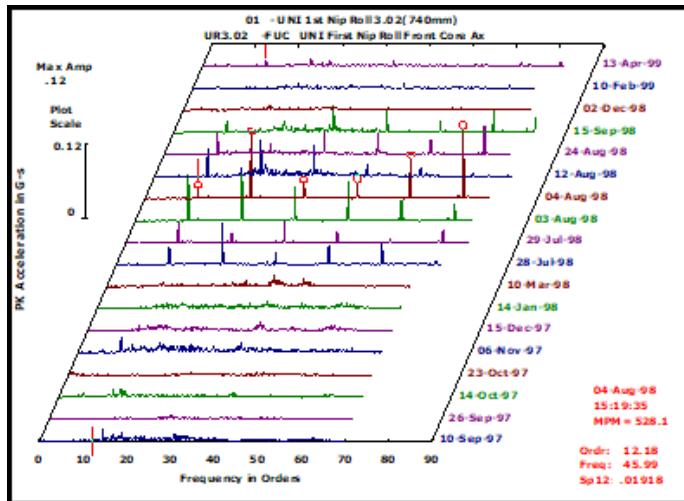


Figura 11-91 Gráfico de cascada



Figura 11-92 Pista interna dañada

Caso de estudio: B3" Nicholson molino, rodamiento de extremo de transmisión tipo 23260

La pista interna y los rodillos están dañados. Observe la modulación en la forma de onda de tiempo y las bandas laterales en el espectro. La serie de armónicos resaltada en el espectro está en 11.32x.

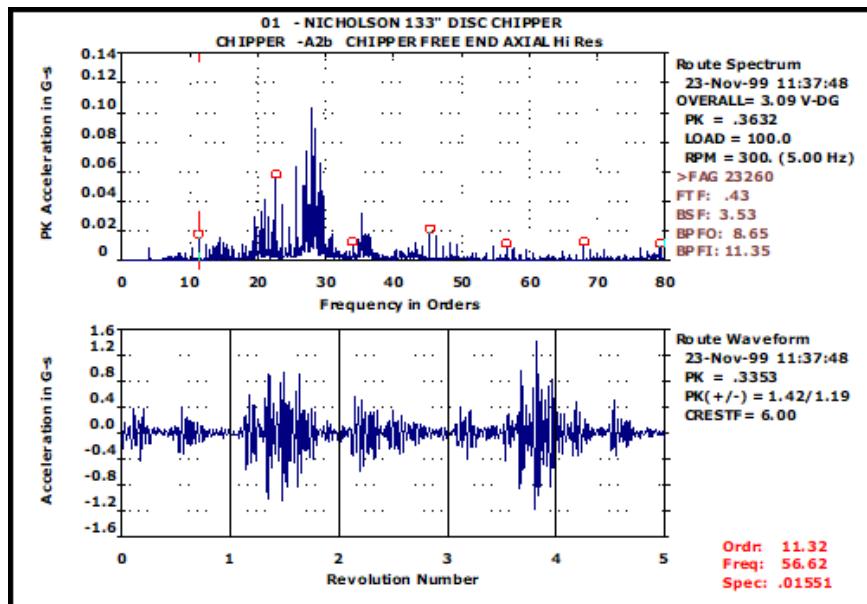


Figura 11-93 Modulación y harmónicos a 1132x



Figura 11-94

Caso de estudio: Visypaper 3 secador #47 lado tiemo

Los siguientes datos provienen de un rodamiento de rodillos cilíndricos N3036K con 24 elementos rodantes. Una serie armónica a 10.74x se resalta en el gráfico de abajo.

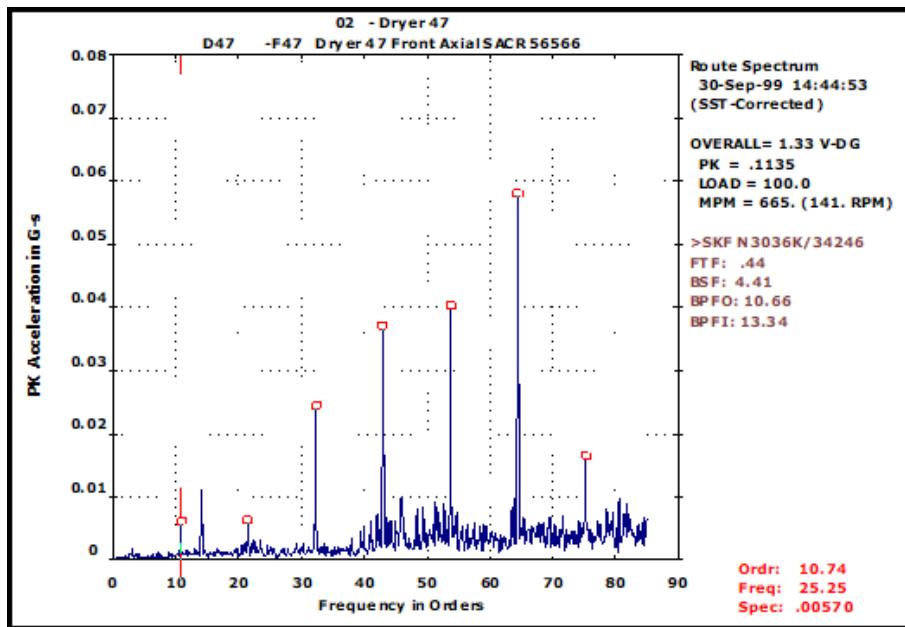


Figura 1195 Harmónicos de 10.74x

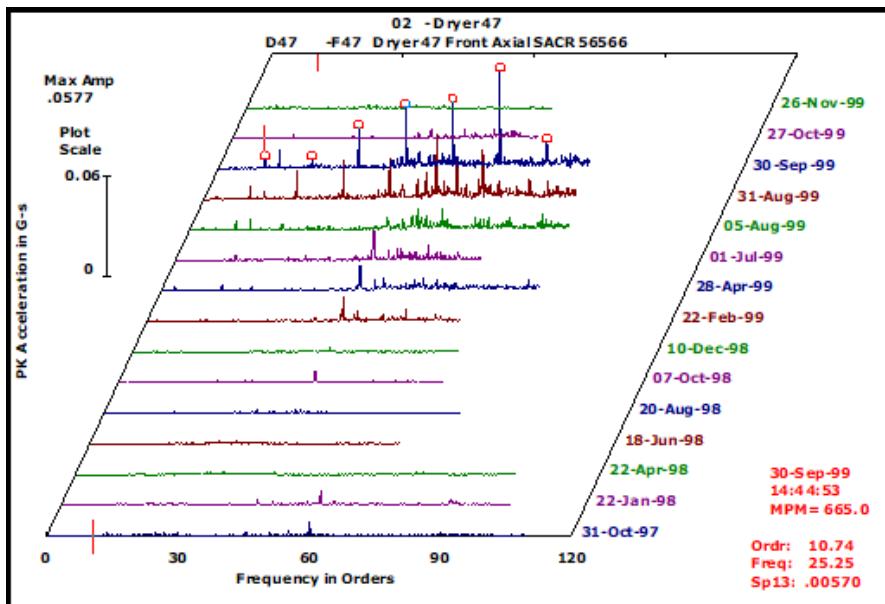


Figura 1196



Figura 11-97

Caso de estudio: Lavadora de aire #1

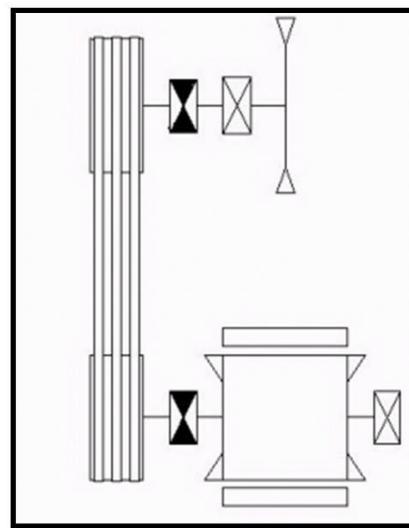


Figura 11-98 – Motor y ventilador por correa; 2:1 razón de correa

- Velocidad 1770 CPM; 1XM
- Motor de 40 HP
- Ventilador en voladizo
- 16 aspas en el ventilador; 16XF u 8XM
- 11 aspas de ventilador de refrigeración en el motor
- La polea del motor es de 6.5" (165 mm)
- Eje del ventilador = 0.5XM; 885 CPM; 1XF
- Diámetro de la polea del ventilador 13" (330 mm)
- Distancia entre centros 47" (1194 mm)
- Velocidad de correa/banda 0.1636XM

Cuando el monitoreo arrancó el 5/4/99, los datos verticales y horizontales no mostraron mucho en absoluto. Los niveles de amplitud son bastante bajos. La forma de onda de tiempo muestra cierto contenido de alta frecuencia, lo que sugiere los primeros signos de desgaste del rodamiento. Esta es una máquina accionada por correa, por lo que hay picos asociados con la velocidad de la correa y el eje del ventilador. Los datos son del motor.

La dirección axial muestra un pequeño pico no sincrónico en 3.06 órdenes. El 1x alto indica que las poleas pueden estar desalineadas.

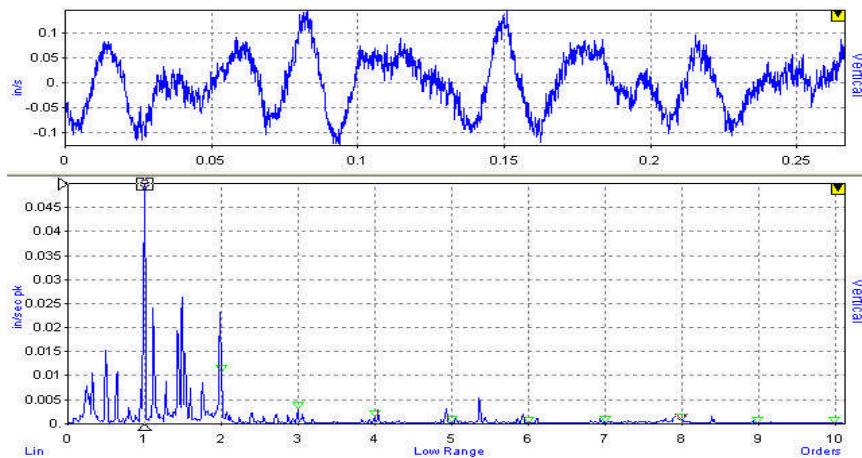


Figura 11-99 - Vertical y Horizontal muestra muy pocas señales de frecuencia de rodamiento.

El 3 de mayo muestra los primeros signos de desgaste del rodamiento, los niveles estaban aumentando y la forma de onda de tiempo mostró aún más signos de desgaste del rodamiento. Es difícil de ver en una escala lineal; sin embargo, en la vista logarítmica es visible un pico en 3.1X con armónicos. El rodamiento está ahora en la etapa dos.

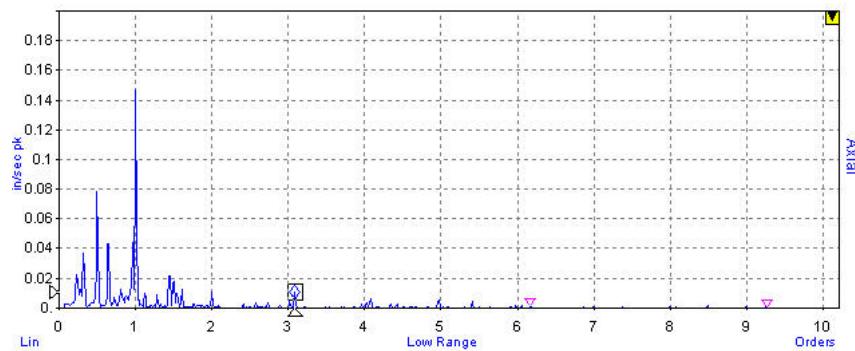


Figura 11-100 – Medición axial muestra pico a 3.06x

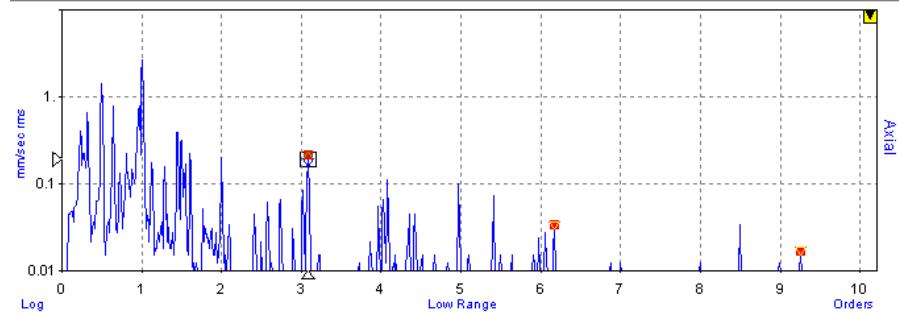


Figura 11-101– Pico a 3.06X y sus harmónicos son más visibles en escala logarítmica.

El 1/6/99, los signos de desgaste del rodamiento se están volviendo bastante fuertes. La forma de onda de tiempo es un clásico. Los impactos se producen cada 3.1X de velocidad de operación.

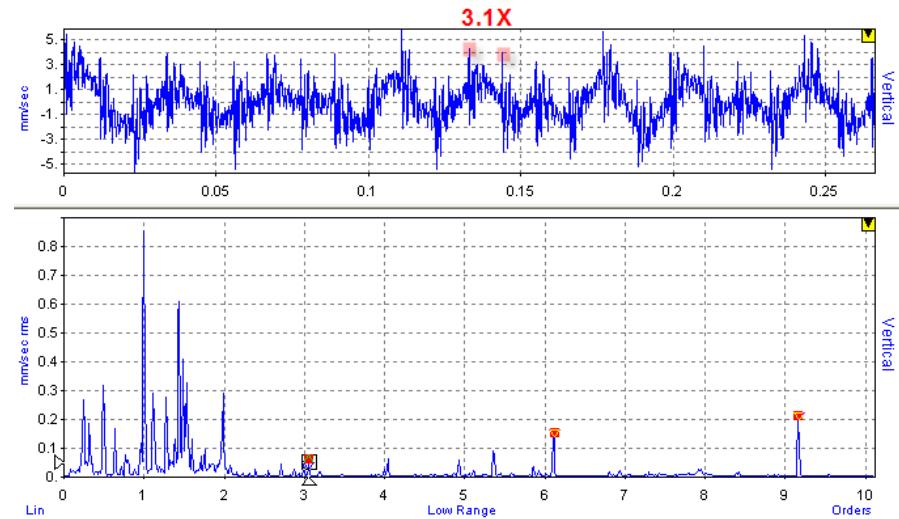


Figura 11-102– La forma de onda clásica muestra impactos cada 3.1órdenes.

El alto rango del espectro muestra que hay armónicos de la frecuencia del rodamiento a más de 50 órdenes.

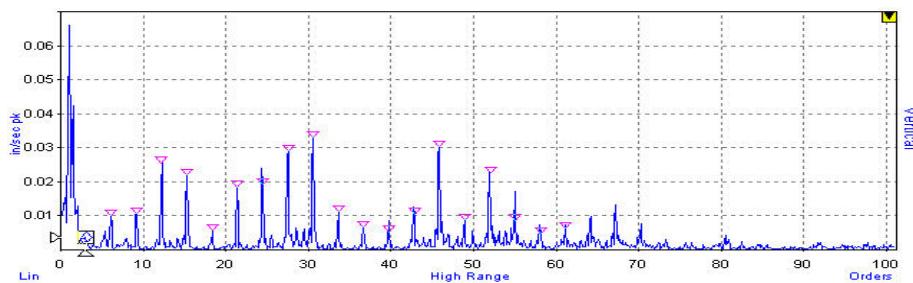


Figura 11-103– El alto rango muestra los armónicos de los rodamientos a más de 50x.

¿Dónde están las bandas laterales?

Mirando de cerca los datos, incluso en escala logarítmica, no hay bandas laterales fuertes. ¿Cómo puede ser esto? Recuerde que las bandas laterales ocurren si hay una falla de bola (bandas laterales de FI) o una falla de pista interna (bandas laterales de IX). Dado que el pico de rodamiento es bajo en frecuencia (BPI a $0.6 \times \#$ bolas, BPO a $0.4 \times \#$ bolas) se sugeriría que la falla está en la pista externa. Así que hay armónicos, sólo que no hay bandas laterales.

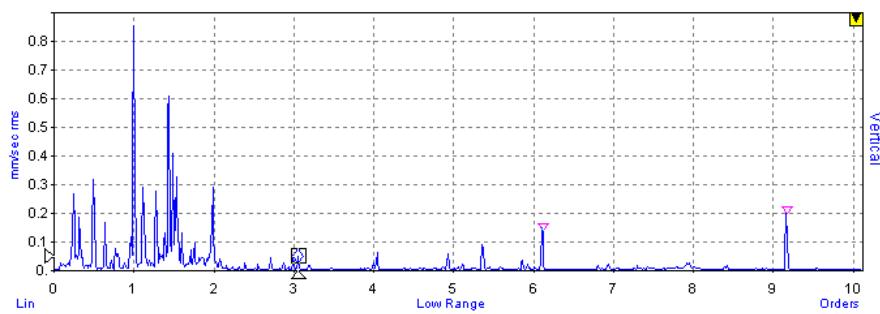


Figura 11-104 – No hay bandas laterales. Esta es una falla de pista externa que típicamente no varía en amplitud como si lo hace la pista interna.

Tenga en cuenta que hemos sido capaces de determinar, con cierta confianza, la naturaleza de la falla sin saber qué rodamiento está instalado en la máquina.

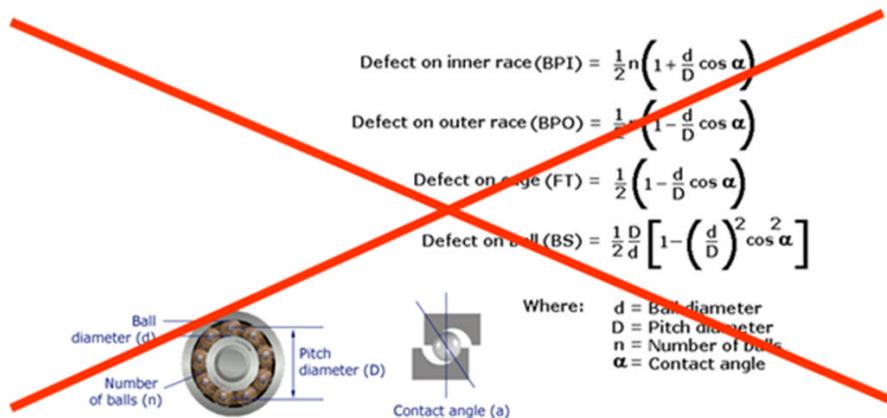


Figura 11-105 – Aunque no se conocía el rodamiento, aún se pudo determinar la naturaleza de la falla

El 5 de octubre de 1999, los niveles de armónicos aumentaron, aparecieron jorobas, y aumentó el piso de ruido. Estos son datos en alto rango, dirección vertical. La Figura 11-106 muestra el espectro de alto rango. Note que los armónicos de rodamiento superan el 60x.

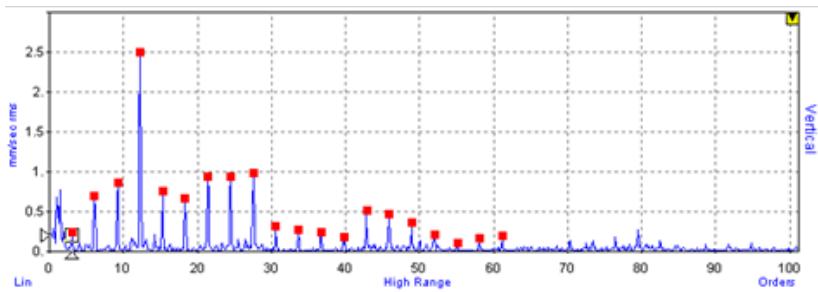


Figura 11-106 – Altos rangos mostrando armónicos de frecuencia de rodamientos a más de 60x.

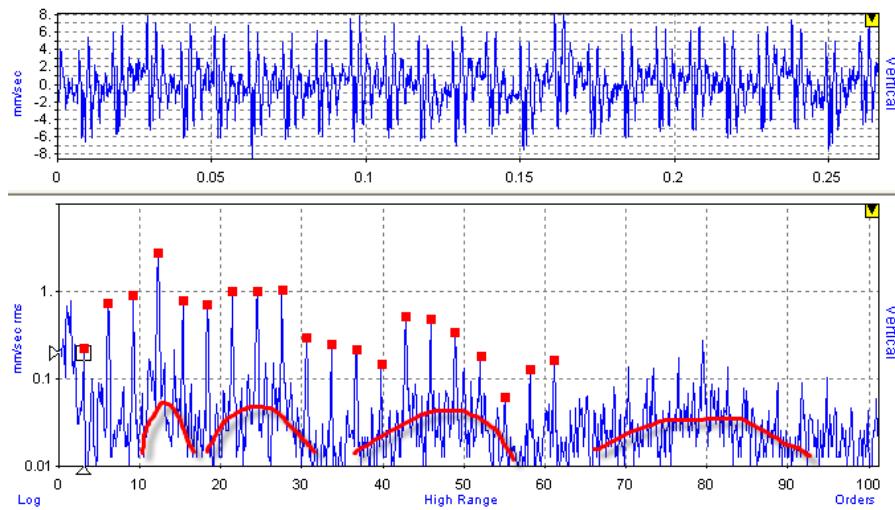


Figura 11.107 – En octubre, las montañas son evidentes

¡Los datos 12/1/00 se ven muy diferentes! La forma de onda de tiempo no tiene los mismos picos periódicos, el espectro no tiene los armónicos, pero el piso de ruido es considerablemente más alto.

El rodamiento está en la cuarta etapa. El rodamiento está casi muerto - de hecho, la máquina falló catastróficamente ¡sólo dos días después!

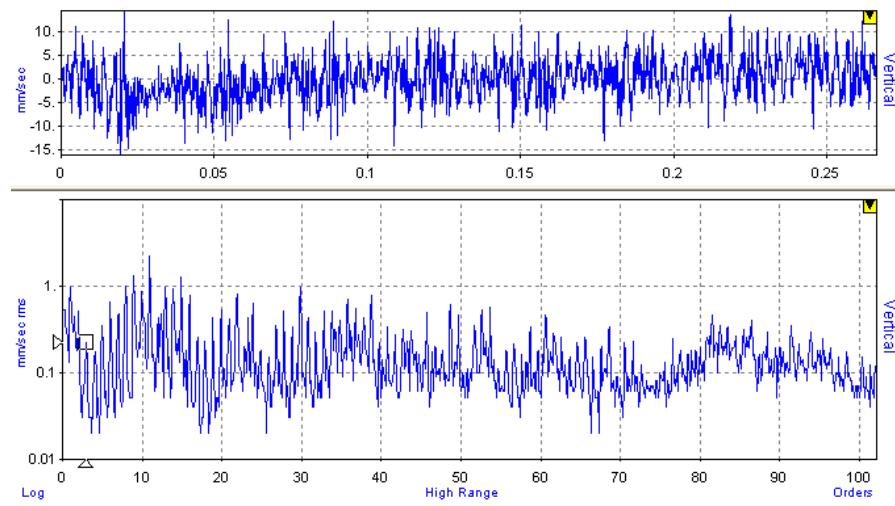


Figura 11.108 – Etapa cuatro – la forma de onda es diferente, el piso del espectro sube. La máquina falló dos días después.