

Algunos tipos de vibración

La razón principal para analizar y diagnosticar el estado de una maquina es determinar las medidas necesarias para corregir la condición de vibración – reducir el nivel de las fuerzas vibratorias no deseadas y no necesarias. De manera que, al estudiar los datos, el interés principal deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes de la vibración, la determinación de las causas, y la corrección del problema que ellas representan.

Los siguientes conceptos, tienden a describir las diferentes causas de vibración y sus consecuencias, lo cual nos ayudara enormemente para interpretar los datos que podamos obtener , determinado así el tipo de vibración que se presenta y buscar así la debida corrección de las mismas.

Vibración debida a Desbalanceo

El desbalanceo de la maquinaria es una de las causas más comunes de la vibración. En muchos casos, los datos arrojados por un estado de desbalanceo indican:

1. La frecuencia de vibración se manifiesta a 1x las rpm de la velocidad de giro del eje-rotor desbalanceado.
2. La amplitud es proporcional a la cantidad de desbalanceo.
3. La amplitud de la vibración es normalmente mayor en el sentido de medición radial, horizontal o vertical (en las maquinas con ejes horizontales).
4. El análisis de fase indica lecturas de fase estables.
5. La fase se desplazará 90° si se desplaza el captador 90°.

Nota: el desbalanceo de un rotor en voladizo o saliente, es decir montado directamente en la punta de los ejes, a menudo tiene como resultado una gran amplitud de la vibración en sentido axial, al mismo tiempo que en sentido radial.

Vibración debida a falta de alineamiento

En la mayoría de los casos los datos derivados de una condición de falta de alineación indican lo siguiente:

1. La frecuencia de vibración es de 1x r.p.m.; también 2x y 3x r.p.m. en los casos de una grave falta de alineación.
2. La amplitud de la vibración es proporcional a la falta de alineación.
3. La amplitud de la vibración puede ser alta también en sentido axial, además de radial.
4. El análisis de fase muestra lecturas de fase inestables.

La falta de alineación, aun con acoplamientos flexibles, produce fuerzas tanto radiales como axiales que, a su vez, producen vibraciones radiales y axiales.

Nota: Uno de los indicios más importantes de problemas debidos a falta de alineación y a ejes torcidos es la presencia de una elevada vibración en ambos sentidos, radial y axial. En general, cada vez que la amplitud de la vibración axial sea mayor que la mitad de la lectura radial más alta, hay un buen motivo de sospechar la existencia de un problema de alineamiento o eje torcido.

Los tres tipos básicos de falta de alineación en el acoplamiento son: angular, en paralelo y una combinación de ambos.

Una falta de alineación angular sujeta principalmente los ejes de las maquinas accionadora y accionada a vibración axial igual a la velocidad de rotación (r.p.m.) del eje.

La falta de alineación en paralelo produce principalmente vibración radial con una frecuencia igual al doble de la velocidad de rotación del eje.

Vibración debida a Excentricidad

La excentricidad es otra de las causas comunes de vibración en la maquinaria rotativa. Excentricidad en este caso no significa "ovalización", sino que la línea central del eje no es la misma que la línea central del rotor – el centro de rotación verdadero difiere de la línea central geométrica.

La excentricidad es en realidad una fuente común de desbalanceo, y se debe a un mayor peso de un lado del centro de rotación que del otro.

Una manera de diferenciar entre desbalanceo y excentricidad en este tipo de motor es medir la vibración con filtro afuera mientras el motor está funcionando bajo corriente. Luego, se desconecta el motor, observando el cambio de la amplitud de vibración. Si la amplitud se reduce gradualmente mientras el motor sigue girando por inercia, es muy probable que el problema sea debido a desbalanceo; Si, en cambio, la amplitud de vibración desaparece en el momento mismo en que el motor es desconectado, el problema es seguramente de naturaleza eléctrica, y es muy posible que se deba a excentricidad del inducido.

La excentricidad en rodets o rotores de ventiladores, sopladores, bombas y compresores puede también crear fuerzas vibratorias. En esos casos las fuerzas son el resultado de fuerzas aerodinámicas e hidráulicas desiguales que actúan contra el rotor.

De Elementos Rodantes Defectuosos

Defectos en las pistas, en las bolas o en los rodillos de rodamientos de elementos rodantes ocasionan vibraciones de alta frecuencia; y, lo que es mas, la frecuencia no es necesariamente un múltiplo integral de la velocidad de rotación del eje. La amplitud de la vibración dependerá casi generalmente de la gravedad y de la forma y tipo de la falla del rodamiento.

Nota: la vibración generada por el rodamiento normalmente no es transmitida a otros puntos de la máquina. Por lo tanto, el rodamiento defectuoso es generalmente el que se encuentra más cerca del punto donde ocurre el mayor nivel de vibración de este tipo.

Falla de Rodamientos – Otras causas

Los rodamientos no fallan prematuramente a menos que alguna otra fuerza actúe sobre ellos; y tales fuerzas son generalmente las mismas que ocasionan vibración.

Causas comunes de fallas en los rodamientos de elementos rodantes:

- Carga excesiva
- Falta de alineación
- Defectos de asientos del eje y/o de las perforaciones en el alojamiento

- Montaje defectuoso
- Ajuste incorrecto
- Lubricación inadecuada o incorrecta
- Sellado deficiente
- Falsa brinelación (Deformación bajo carga)
- Corriente eléctrica

Vibración debida a cojinetes de fricción defectuosos

Elevados niveles de vibración, ocasionados por cojinetes defectuosos, son generalmente el resultado de una holgura excesiva (causada por desgaste debido a una acción de barrido o por erosión química), aflojamientos mecánicos (metal blanco suelto en el alojamiento), o problemas de lubricación.

a. Holgura excesiva de los cojinetes

Un cojinete con holgura excesiva hace que un defecto de relativamente menor importancia, tal como un leve desbalanceo o una pequeña falta de alineación, u otra fuente de fuerzas vibratorias, se transformen como resultado de aflojamiento mecánicos o en golpes repetidos (machacado).

En tales casos el rodamiento en si no es lo que crea la vibración; pero la amplitud de la misma seria mucho menor si la holgura de los rodamientos fuera correcta.

A menudo se puede detectar un cojinete desgastado por "barrido" efectuando una comparación de las amplitudes de vibración horizontal y vertical. *Las maquinas que están montadas firmemente sobre una estructura o cimentación rígidas* revelaran, en condiciones normales, una amplitud de vibración ligeramente más alta en sentido horizontal.

b. Torbellino de aceite

Este tipo de vibración ocurre solamente en maquinas equipadas con cojinetes lubricados a presión, y que funcionan a velocidades relativamente altas – normalmente por encima de la segunda velocidad critica del motor.

La vibración debida a torbellinos de aceite a menudo es muy pronunciada, pero se reconoce fácilmente por su *frecuencia fuera de lo común*. Dicha frecuencia es apenas menor de la mitad de la velocidad de rotación (en r.p.m.) del eje – generalmente en el orden del 46 al 48% de las r.p.m. del eje.

El problema de los torbellinos de aceite normalmente se atribuye a diseño incorrecto del rodamiento, desgaste excesivo del rodamiento, un aumento de la presión del lubricante o un cambio de la viscosidad del aceite.

Se pueden hacer correcciones temporales modificando la temperatura del aceite (viscosidad), introduciendo un leve desbalanceo o una falta de alineamiento de manera de aumentar la carga sobre el eje, o rascando y/o ranurando los costados del cojinete, para desbaratar la "cuña" de lubricante. Desde luego, una solución más duradera es reemplazar el cojinete con uno que haya sido diseñado correctamente de acuerdo a las condiciones operativas de la maquina, o con uno que esté diseñado para reducir la posibilidad de formación de torbellinos de aceite.

Los cojinetes con ranuras axiales usan las ranuras para aumentar la resistencia a la formación de torbellinos de aceite en tres puntos espaciados uniformemente. Este

tipo de configuración está limitado a las aplicaciones más pequeñas, tales como turbinas de gas livianas y turbocargadores.

Los cojinetes de lóbulos brindan estabilidad contra los torbellinos de aceite al proporcionar tres puntos de concentración de la película de aceite bajo presión, que sirven para centrar al eje.

Los cojinetes de riñón basculante son comúnmente utilizados para las maquinas industriales más grandes, que funcionan a velocidades más altas.

Hay dos causas comunes de vibración que pueden inducir un torbellino de aceite en un rodamiento de chumacera:

1. **Vibración proveniente de maquinaria ubicada en las cercanías:** Puede ser transmitida al *cojinetes* a través de estructuras rígidas, tales como tuberías y cementaciones. A este fenómeno se le conoce como Torbellino Inducido por el Exterior.

2. **Vibración ocasionada por otros elementos de la maquina misma.**

Toda vez que se detecta la vibración característica del torbellino de aceite se deberá realizar una completa investigación de las vibraciones en toda la instalación, incluyendo las fuentes de vibración circunvecina, la estructuras de cimentación y las tuberías relacionadas. Se podrá así quizás descubrir una causa externa de los problemas de torbellino de aceite.

- **Torbellinos de Histéresis**

Este tipo de vibración es similar a la vibración ocasionada por el torbellino de aceite, pero ocurre a frecuencias diferentes, cuando el rotor gira entre la primera y la segunda velocidad critica.

Un rotor que funcione por encima de la velocidad critica tiende a flexionarse, o arquearse, en sentido opuesto del punto pesado de desbalance. La amortiguación interna debida a histéresis, o sea la amortiguación de fricción, normalmente limita la deflexión a niveles aceptables. Sin embargo, cuando acontece un torbellino por histéresis, las fuerzas amortiguadoras se encuentran en realidad en fase con la deflexión, y por lo tanto, acrecientan la deflexión del motor.

Cuando dicho rotor está funcionando por encima de la primera velocidad critica pero por debajo de la segunda, el torbellino por histéresis ocurre a una frecuencia exactamente igual a la primera velocidad critica del rotor.

Nota: La frecuencia de formación del torbellino de aceite es levemente menor de la mitad de la velocidad de rotación del rotor.

La vibración ocasionada por un torbellino por histéresis tendrá la misma características que las ocasionadas por un torbellino de aceite cuando la maquina funcionen a velocidades superiores a la segunda velocidad critica del eje. Es decir, que una severa vibración se producirá a una frecuencia levemente menor que 0.5x las r.p.m. del rotor.

El torbellino por histéresis es controlado normalmente por la acción de amortiguación provista por los rodamientos de chumacera en si. Sin embargo, cuando la amortiguación estacionaria es baja en comparación con la amortiguación interna del rotor, es probable que se presenten problemas. La solución usual para este problema es aumentar la amortiguación estacionaria de los rodamientos y de la estructura de soporte de los mismos, lo que puede lograrse instalando un rodamiento de riñón basculante o de algún rodamiento de diseño especial. En algunos casos el problema puede ser solucionado reduciendo la amortiguación dada por el rotor – sencillamente, cambiando un acoplamiento de engranajes con una versión sin fricción; por ejemplo, con un acoplamiento de disco flexible.

- **Lubricación Inadecuada**

Una inadecuada lubricación, incluyendo la falta de lubricación y el uso de lubricantes incorrectos, puede ocasionar problemas de vibración en un cojinete. En semejantes casos la lubricación inadecuada causa excesiva fricción entre el rodamiento estacionario y el eje rotante, y dicha fricción induce vibración en el rodamiento y en las demás piezas relacionadas. Este tipo de vibración se llama "dry whip", o sea látigo seco, y es muy parecido al pasar de un dedo mojado sobre un cristal seco.

La frecuencia de la vibración debida al látigo seco generalmente es muy alta y produce el sonido chillón característicos de los rodamientos que están funcionando en seco. No es muy probable que dicha frecuencia sea algún múltiplo integral de las r.p.m. del eje, de manera que no es de esperarse ningún patrón significativo bajo la luz estroboscópica. En este respecto, la vibración ocasionada por el látigo seco es similar a la vibración creada por un rodamiento antifricción en mal estado.

Toda vez que se sospeche que un látigo seco sea la causa de la vibración se deberá inspeccionar el lubricante, el sistema de lubricación y la holgura del cojinete.

Vibración debida a Aflojamiento Mecánico

El aflojamiento mecánico y la acción de golpeo (machacado) resultante producen vibración a una frecuencia que a menudo es $2x$, y también múltiplos más elevados, de las r.p.m. La vibración puede ser resultado de pernos de montaje sueltos, de holgura excesiva en los rodamientos, o de fisuras en la estructura o en el pedestal de soporte.

La vibración característica de un aflojamiento mecánico *es generada por alguna otra fuerza de excitación*, como un desbalanceo o una falta de alineamiento. Sin embargo, el aflojamiento mecánico empeora la situación, transformando cantidades relativamente pequeñas de desbalanceo o falta de alineamiento en amplitudes de vibración excesivamente altas. Corresponde por lo tanto decir que el aflojamiento mecánico permite que se den mayores vibraciones de las que ocurrirían de por sí, derivadas de otros problemas.

Nota: Un aflojamiento mecánico excesivo es muy probable que sea la causa primaria de los problemas cuando la amplitud de la vibración $2x$ las r.p.m. es más de la mitad de la amplitud a la velocidad de rotación, $1x$ las rpm.

Vibración debida a las correas de mando

Las correas de accionamiento del tipo en "V" gozan de mucha popularidad para la transmisión del movimiento, puesto que tienen una alta capacidad de absorción de golpes, choques y vibraciones.

Los problemas de vibración asociados con las bandas en "V" son clasificados generalmente por:

- Reacción de la correa a otras fuerzas, originadas por el equipo presente, que causan alteraciones.
- Vibraciones creadas por problemas de la banda en sí.

Las correas en "V" son consideradas a menudo como fuente de vibración porque es tan fácil ver las bandas que saltan y se sacuden entre poleas. Por lo general, el reemplazo de las bandas es a menudo una de las primeras tentativas de corrección de los problemas de vibración.

Sin embargo es muy posible que la banda esté sencillamente reaccionando a otras fuerzas presentes en la maquina. *En tales casos las correa es solamente un indicador de que hay problemas de vibración y no representan la causa misma.*

La frecuencia de vibración de las correas es el factor clave en la determinación de la naturaleza del problema. Si la correa está sencillamente reaccionando a otras fuerza de alteración, tales como desbalanceo o excentricidad en las poleas, la frecuencia de vibración de la correa será muy probablemente igual a la frecuencia alterante. Esto significa que la pieza de la maquina que realmente está causando el problema aparecerá estacionaria bajo la luz estroboscópica del analizador.

Nota: Si es defecto de la banda la frecuencia de vibración será un múltiplo integral – 1,2,3 ó 4 – de las r.p.m. de la correa. El múltiplo verificado dependerá de la naturaleza del problema y de la cantidad de poleas, sea de accionamiento como locas, presentes en el sistema.

Es fácil determinar las r.p.m. de una correa de la siguiente manera:

$$\text{R.p.m. de la correa} = \frac{3.14 \times \text{diám. de la polea} \times \text{r.p.m. de la polea}}{\text{Longitud de la correa.}}$$

Vibración debida a Problemas de Engranaje

La vibración que resulta de problemas de engranaje es de fácil identificación porque normalmente ocurre a *una frecuencia igual a la frecuencia de engrane de los engranajes* – es decir, la cantidad de dientes del engranaje multiplicada por las r.p.m. del engranaje que falla.

Problemas comunes de los engranajes, que tienen como resultado vibración a la frecuencia de engrane, comprenden el desgaste excesivo de los dientes, inexactitud de los dientes, fallas de lubricación y materias extrañas atrapadas entre los dientes.

No todos los problemas de engranajes generan frecuencias de vibración iguales a las frecuencias de engrane. *Si un engranaje tiene un solo diente roto o deformado*, por ejemplo, el resultado puede ser una frecuencia de vibración de 1x las rpm. Mirando la forma de onda de esa vibración en un analizador, la presencia de señales de impulso permitirá distinguir entre este problema y las demás averías que también generan frecuencias de vibración de 1x las r.p.m. Desde luego, *si hay más de un diente deformado*, la frecuencia de vibración es multiplicada por una cantidad correspondiente.

La amplitud y frecuencia de vibración debida a los engranajes pueden también parecer erráticas a veces. Dicho tipo de vibración errática ocurre normalmente cuando un conjunto de engranajes está funcionando en condiciones de carga muy liviana. En tales condiciones la carga puede desplazarse repetidamente de un engranaje a otro de modo irregular.

Existen diversas opiniones de distintos especialistas en cuanto a las fallas de desgaste de los engranajes, mi opinión particular se fundamenta en que se puede evaluar una vibración anormal en un par de engrane, cuando se reúnen determinados parámetros, como por ejemplo: tipo de engrane, recto o helicoidal, tendencia de valores globales, aparición de golpes y comportamiento de sus respectivas armónicas espectrales, etc.-

Vibración debida a Fallas Eléctricas

Esté tipo de vibración es normalmente el resultado de fuerzas magnéticas desiguales que actúan sobre el rotor o sobre el estator. Dichas fuerzas desiguales pueden ser debidas a:

- Rotor que no es redondo
- Chumaceras del inducido que son excéntricas
- Falta de alineación entre el rotor y el estator; entrehierro no uniforme
- Perforación elíptica del estator
- Devanados abiertos o en corto circuito
- Hierro del rotor en corto circuito

En líneas generales, la frecuencia de vibración resultante de los problemas de índole eléctrica será 1x r.p.m., y por tanto se parecerá a desbalance. Una manera sencilla de hacer la prueba para verificar la presencia eventual de vibración eléctrica es observar el cambio de la amplitud de la vibración total (filtro fuera) en el instante en el cual se desconecta la corriente de esa unidad. *Si la vibración desaparece en el mismo instante en que se desconecta la corriente*, el problema con toda posibilidad será eléctrico. *Si solo decrece gradualmente*, el problema será de naturaleza mecánica.

Las vibraciones ocasionadas por los problemas eléctricos responden generalmente a la cantidad de carga colocada en el motor. A medida que se modifica la carga, la amplitud y/o las lecturas de fase puede indicar cambios significativos. Esto explica por qué los motores eléctricos que han sido probados y balanceados en condiciones sin carga muestran cambios drásticos de los niveles de vibración cuando vuelven a ser puestos en servicio.

Jose Vera-LVM.06/2000 www.guemisa.com