



**TUTORIAL DE VIBRACIONES PARA
MANTENIMIENTO MECÁNICO**

**REALIZADO POR A-MAQ S.A.
ANÁLISIS DE MAQUINARIA**

ENERO 2005

Visítenos en www.a-maq.com

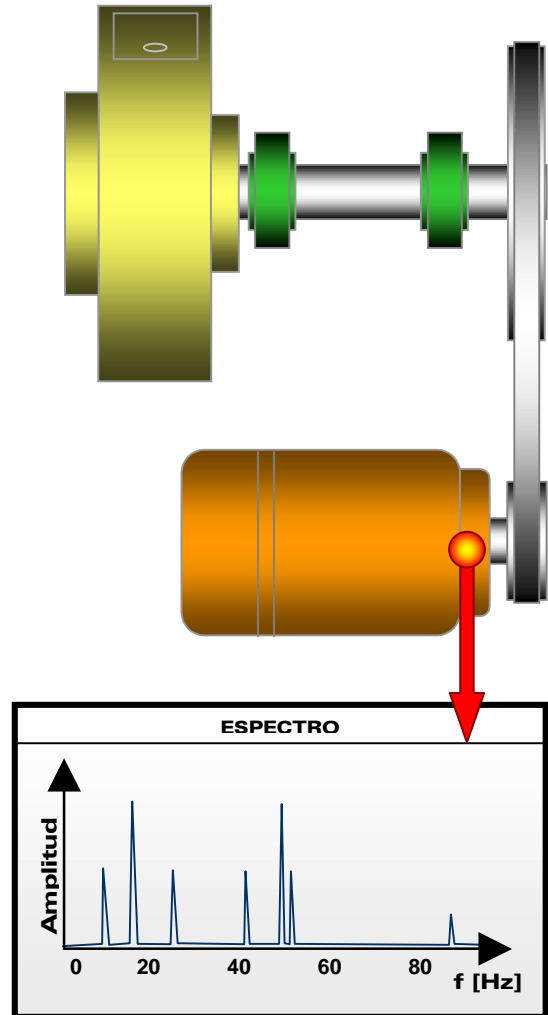


TABLA DE CONTENIDO

MEMORIAS DEL SEMINARIO DE VIBRACIONES REALIZADO POR A-MAQ S.A:	1
TABLA DE CONTENIDO	2
INTRODUCCIÓN:	3
GLOSARIO DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN ANÁLISIS DE VIBRACIONES:	4
HISTORIA DEL MANTENIMIENTO:	9
CONCEPTOS BÁSICOS:	10
CATEGORÍAS DE PATOLOGÍAS CLASIFICADAS:	17
DESPLAZAMIENTO, VELOCIDAD Y ACELERACIÓN DE VIBRACIÓN	36
ALARMAS DE NIVEL Y TENDENCIA:	38

INTRODUCCIÓN:

Este seminario es presentado por A-MAQ S.A. con el propósito de mostrar en forma didáctica y sencilla, una introducción al mundo de las vibraciones aplicadas al diagnóstico de fallas. El tutorial va dirigido a personal de mantenimiento y de producción, y en general a toda persona que le interese explorar el amplio campo de las vibraciones.

El mantenimiento todos los días está evolucionando, y con él, también se ha incrementado el uso de los instrumentos electrónicos de medición. Ahora vemos que empresas industriales de toda envergadura, están complementando su visión de realizar mantenimientos correctivos y preventivos para asegurar disponibilidad, con un mantenimiento proactivo que alberga conceptos relativamente nuevos tales como confiabilidad (mantenimiento predictivo), mantenimiento basado en condición, aseguramiento de la calidad del mantenimiento. Finalmente, la disponibilidad aumenta, las intervenciones disminuyen y el cumplimiento de los compromisos de producción queda asegurado. El Recurso Humano Proactivo es la clave y la Tecnología es la principal herramienta de esta gestión.

GLOSARIO DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN ANÁLISIS DE VIBRACIONES:

A

Aceleración: Razón de cambio de la velocidad respecto al tiempo.

Acelerómetro: Sensor y transductor cuya entrada es la amplitud de aceleración y tiene una salida de voltaje de baja impedancia.

Alineación: Posición en la cual las líneas centro de dos ejes deben ser lo mas colineales posible, durante el tiempo de operación normal de la máquina.

Amplitud: Es el máximo valor que presenta una onda sinusoidal.

Análisis Espectral: Es la interpretación que se le hace a un espectro para determinar el significado físico de lo que pasa en una máquina.

Armónico: Son frecuencias de vibración que son múltiples integrales de una frecuencia fundamental específica.

Armónico Fraccionario: Armónicos que se encuentran entre los armónicos principales y son fracciones de la frecuencia fundamental.

Axial: Posición del sensor que va en el sentido de la línea del eje.

B

Backlash: Juego que presentan dos elementos móviles conectados que han tenido mal montaje y presentan desgaste.

Balanceo: Procedimiento por medio del cual se trata de hacer coincidir el centro de masa de un rotor con su centro de rotación, de manera que se pueda eliminar el mayor número de fuerzas inerciales.

Bandeamiento Lateral: Son líneas espectrales que aparecen espaciadas a igual frecuencia, alrededor de una línea central. Esta es la mezcla de dos señales, en la cual la línea central pertenece a una y las líneas laterales pertenecen a la otra.

C

Centro de Gravedad: Es la representación de la masa de un cuerpo en un punto.

Ciclo: Es un rango de valores en los cuales un fenómeno periódico se repite.

D

Decibel: Unidad logarítmica de amplitud medida (muy usada en vibraciones y acústica).

Desplazamiento: Cambio de posición de un objeto o partícula de acuerdo a una sistema de referencia.

Diagnóstico: Proceso por medio del cual se juzga el estado de una máquina.

Dominio de la Frecuencia: Es la representación gráfica de la vibración en la cual se enfrentan Amplitud vs. Frecuencia.

Dominio del Tiempo: Es la representación gráfica de una señal de vibración en la cual se enfrentan Amplitud vs. Tiempo.

E

Entrehierro: Espacio de aire comprendido entre el **Estator** y el **Rotor** de un motor eléctrico.

Espectro: Sinónimo de dominio de la frecuencia.

Excentricidad: Variación del centro de rotación del eje con respecto al centro geométrico del rotor.

F

Factor de Servicio: Factor que corrige niveles normalizados, para máquinas que se encuentran a condiciones especiales de operación.

Fase: Es un retardo en el tiempo de dos señales, expresado en grados de rotación.

Fatiga: Tendencia de un material a romperse bajo deflexiones repetidas.

Frecuencia: Es el recíproco del período y significa número de oscilaciones completas por unidad de tiempo.

Frecuencia de Engrane (GMF Gear Mesh Frequency): Es la velocidad nominal del engranaje multiplicado por el número de dientes. La GMF es igual para piñón y engranaje.

Frecuencia de falla de Jaula (FC): Es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta deterioro en su jaula.

Frecuencia de falla de Elemento Rodante (FB): Es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta un daño en algún elemento rodante.

Frecuencia de falla de Pista Externa (FO): Es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta un daño en la pista externa.

Frecuencia de falla de Pista Interna (FI): Es la frecuencia de un rodamiento que se excita cuando se presenta un daño en la pista interna.

Frecuencia de Línea (FL): Es la frecuencia eléctrica de alimentación del motor. En América son 60 Hz y en Europa son 50 Hz.

Frecuencia Natural (Fn): Es la frecuencia que presenta cada componente por su propia naturaleza y características. Esta frecuencia oscilará si es excitada por agente externo que opere a una frecuencia muy cercana.

Frecuencia de Paso de Aspas (BPF): Es el número de aspas o paletas de una bomba o ventilador por su velocidad de rotación.

G

G: Unidades de aceleración de la gravedad. Equivale a 9800 mm/s^2 y a 32.2 pie/s^2 .

H

Horizontal: Generalmente es la posición que se le da al sensor, que va perpendicular al sentido de la gravedad.

Hz: Unidad mas común de la frecuencia. Equivale a ciclos por segundo.

M

Masa Equilibrante: Masa utilizada en balanceo, para contrarrestar la masa desbalanceadora.

Micra: Medida de longitud o distancia. Equivale a la milésima parte de un milímetro.

Mil: Medida de longitud o distancia. Equivale a una milésima de pulgada.

O

Onda en el tiempo: Es la representación instantánea de una señal dinámica con respecto al tiempo.

Orden: Es otra de las unidades de frecuencia, utilizadas para maquinaria rotativa. Una orden es equivalente a la velocidad nominal de la máquina.

P

Período: Es el tiempo necesario para que ocurra una oscilación o se complete un ciclo. Generalmente está dada en minutos y segundos.

Pico: Cada una de las líneas que componen el espectro.

Pulsación: Elevación y caída en la amplitud de vibración causada por dos fuentes de vibración que están a frecuencias muy cercanas.

R

Radial: Posición del sensor que va perpendicular a la línea del eje.

Resonancia: Se presenta cuando la frecuencia natural de un componente es excitada por un agente externo. La amplitud de vibración de la máquina se incrementará enormemente causando perjuicios a todos sus componentes.

Rotor Flexible: Son rotores que giran muy cerca o por encima de su primera velocidad crítica. Por sus condiciones de operación presentan una deformación significativa.

Rotor Rígido: Rotor que no se deforma significativamente cuando opera a su velocidad nominal.

RPM: Otra de las unidades de frecuencia. Equivale al número de ciclos por minuto que presenta la máquina.

RPS: Otra de las unidades de frecuencia. Equivale a 1 Hz (ciclos por segundo).

Ruido: Es información de la señal que no representa alguna importancia. Representa contaminación de la señal.

Ruido de Piso o Blanco: Es el límite mas bajo de sensibilidad de un instrumento de medición electrónico, expresado en micro-voltios (10^{-6} V). Se localiza a través de todo el espectro.

Ruido Rosa: Es el ruido que se localiza en un rango especial del espectro.

S

Sensor: Es un dispositivo de medición que transforma una variable física en una señal eléctrica. En nuestro caso pasa de una señal física de vibración y la convierte en una señal eléctrica.

Señal: Es toda información de magnitud física variable que se convierte a magnitud eléctrica mediante un transductor.

Shock: Es un impacto que tiene como resultado la generación de un pulso.

Subarmónicos: Son frecuencias que se encuentran a una fracción fija de una frecuencia fundamental, como la velocidad nominal de la máquina.

T

Transformada Rápida de Fourier (FFT): Es una técnica para calcular por medio de un computador la frecuencia de las series que conforman la onda en el dominio del tiempo.

V

Vector: Es una cantidad dotada de magnitud y dirección.

Velocidad: Razón de cambio del desplazamiento respecto al tiempo.

Velocidad Nominal: Velocidad de entrada de una máquina.

Vertical: Posición que se le da al sensor, que va en el sentido de la aceleración de la gravedad.

Vibración: Es un movimiento oscilatorio.

Vibración Aleatoria: Frecuencias que no cumplen con patrones especiales que se repiten.

HISTORIA DEL MANTENIMIENTO:

2005	<p>PROACTIVIDAD CON OBTENCIÓN DE LOGROS PROYECTABLES Y VERIFICABLES: ESTRATEGIAS PARA LA PROACTIVIDAD + HERRAMIENTAS PARA LA PROACTIVIDAD = ACCION PROACTIVA</p>
1990	<p>GERENCIA DE LA CALIDAD TOTAL Mantenimiento integrado a las estrategias gerenciales de calidad.</p>
	<p>MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD Modelos estadísticos para estimar la próxima falla.</p>
1975	<p>TPM</p>
	<p>MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN Vibraciones, termografía y aceites.</p>
1970	<p>ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD La calidad como control para mantenimiento.</p>
	<p>MANTENIMIENTO ASISTIDO POR COMPUTADOR Predictivo con ayuda del PC.</p>
1960	<p>MANTENIMIENTO PREDICTIVO: Registros de las fallas de las Máquinas y Tendencias (Papel).</p>
	<p>MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROGRAMADO</p>
1950	<p>MANTENIMIENTO CORRECTIVO</p>

CONCEPTOS BÁSICOS:

¿QUÉ ES UNA VIBRACIÓN?

En términos muy simples una vibración es un movimiento oscilatorio de pequeña amplitud.

Todos los cuerpos presentan una señal de vibración en la cual plasman cada una de sus características. De acuerdo a esto, las máquinas presentan su propia señal de vibración y en ella se encuentra la información de cada uno de sus componentes. Por tanto, una señal de vibración capturada de una máquina significa la suma vectorial de la vibración de cada uno de sus componentes.

VIBRACIÓN SIMPLE:

La base principal de las señales de vibración en el dominio del tiempo son las ondas sinusoidales. Estas son las más simples y son la representación de las oscilaciones puras. Una oscilación pura puede ser representada físicamente con el siguiente experimento: Imagínese una masa suspendida de un resorte como el de la **figura 1a**. Si esta masa es soltada desde una distancia X_0 , en condiciones ideales, se efectuará un movimiento armónico simple que tendrá una amplitud X_0 . Ahora a la masa vibrante le adicionamos un lápiz y una hoja de papel en su parte posterior, de manera que pueda marcar su posición. Si jalamos el papel con velocidad constante hacia el lado izquierdo se formará una gráfica parecida a la **figura 1B**. El tiempo que tarda la masa para ir y regresar al punto X_0 siempre es constante. Este tiempo recibe el nombre de **período de oscilación** (medido generalmente en seg o mseg) y significa que el resorte completó un ciclo.

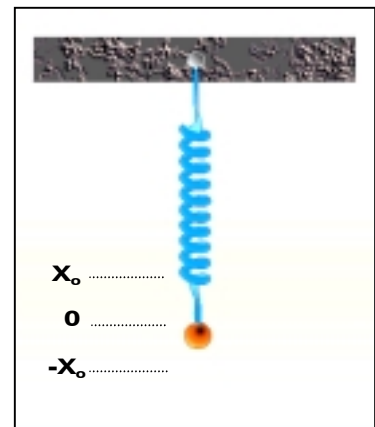


FIGURA 1a

El recíproco del período es la **frecuencia** (es decir $F=1/P$) la cual generalmente es dada en Hz (Ciclos por segundo) o también Ciclos por minuto (CPM). Estos conceptos pueden verse mas claramente en la **figura 2**.

De esta onda sinusoidal también es importante definir la amplitud y la fase.

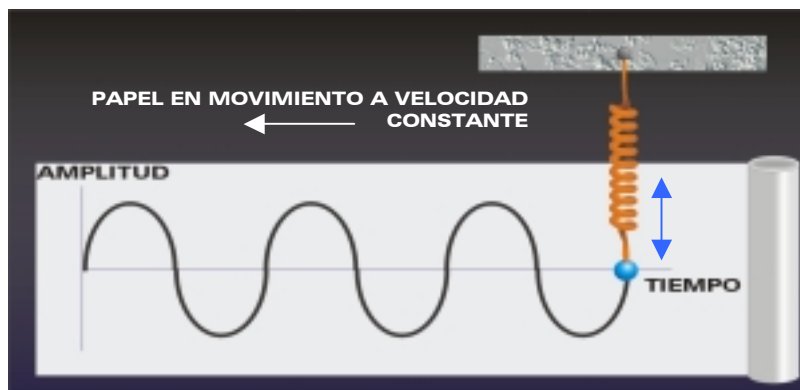
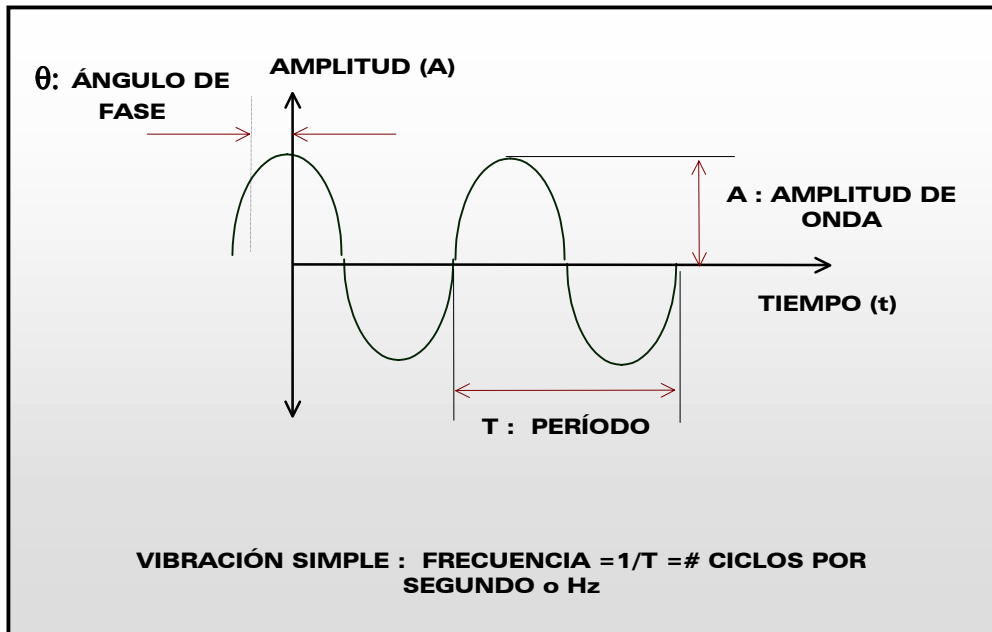


FIGURA 1b



La amplitud desde el punto de vista de las vibraciones es cuanta cantidad de movimiento puede tener una masa desde una posición neutral. La amplitud se mide generalmente en valores pico-pico para desplazamiento y valores cero-pico y RMS para velocidad y aceleración (Ver fig.3).

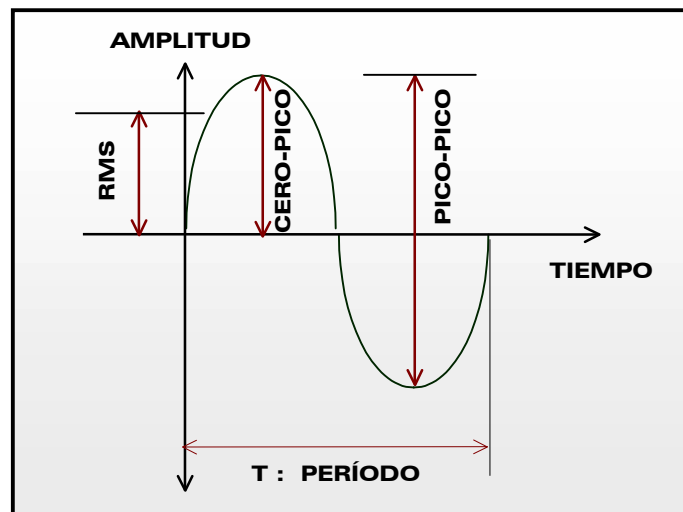


FIGURA 3

La fase realmente es una medida de tiempo entre la separación de dos señales, la cual puede ser relativa o absoluta. Generalmente es encontrada en grados. La **figura 4** muestra dos señales sinusoidales de igual amplitud y período, pero separadas 90 grados, lo cual indica que ambas curvas están desfasadas 90 grados.

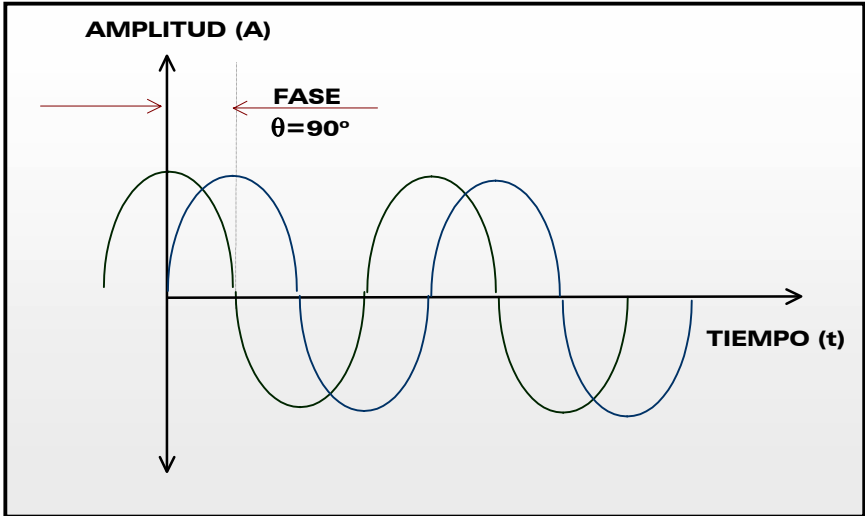


FIGURA 4

VIBRACIÓN COMPUESTA:

Una señal compuesta es una sumatoria de varias señales sinusoidales que comprenden cada uno de los componentes que se encuentran en la máquina, mas todos los golpeteos y vibraciones aleatorias. El resultado es una señal como la ilustrada en la figura 5.

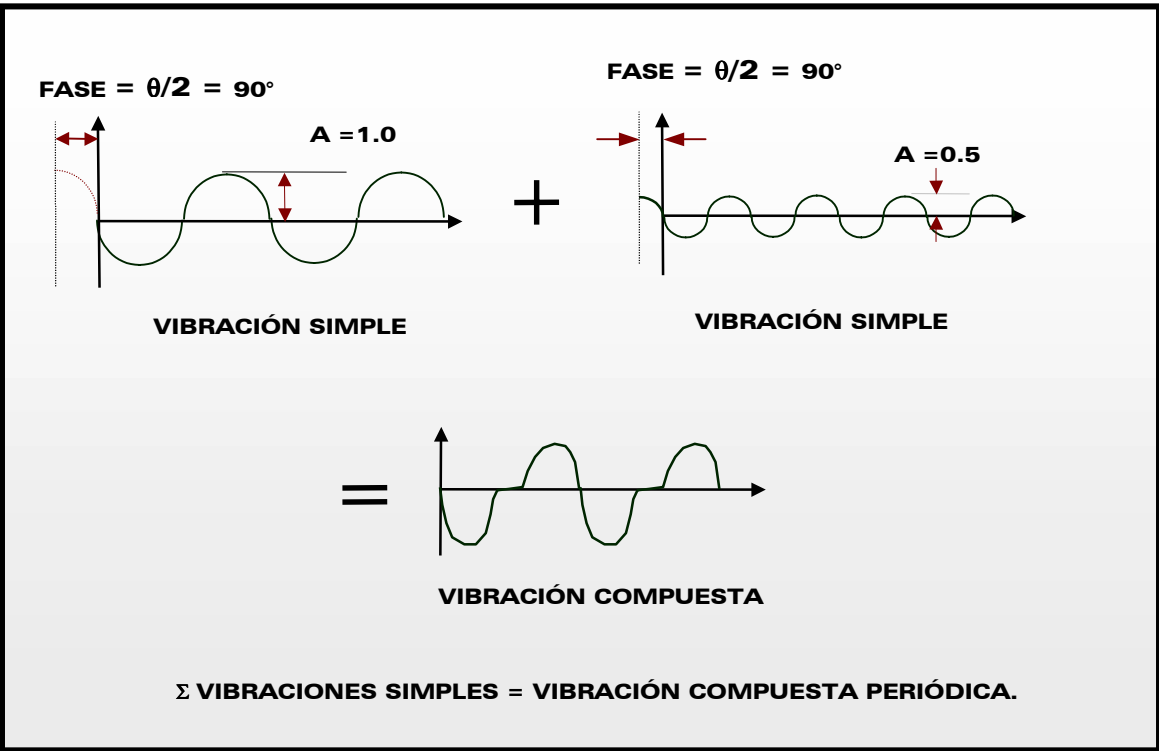


FIGURA 5

VIBRACIÓN ALEATORIA Y GOLPETEOS INTERMITENTES:

Además de las vibraciones simples, también existen otros tipos de vibraciones como son la vibración aleatoria y los golpeteos intermitentes. La vibración aleatoria no cumple con patrones especiales que se repiten constantemente o es demasiado difícil detectar donde comienza un ciclo y donde termina. Estas vibraciones están asociadas generalmente turbulencia en blowers y bombas, a problemas de lubricación y contacto metal-metal en elementos rodantes o a cavitación en bombas (**Ver Fig. 6a**). Este tipo de patrones es mejor interpretarlos en el espectro y no en la onda en el tiempo. Los golpeteos intermitentes están asociados a golpes continuos que crean una señal repetitiva. Estas se encuentran mas comúnmente en los engranajes, en el paso de las aspas de un impulsor o ventilador, etc. Este tipo de señales tiende a morir debido a la amortiguación del medio. En la **figura 6b** se muestra claramente este fenómeno: un golpe intermitente que se amortigua con el medio.

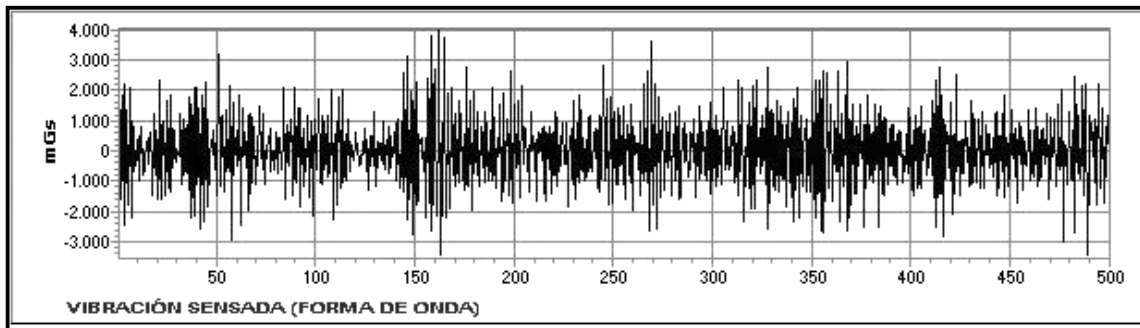


FIGURA 6a

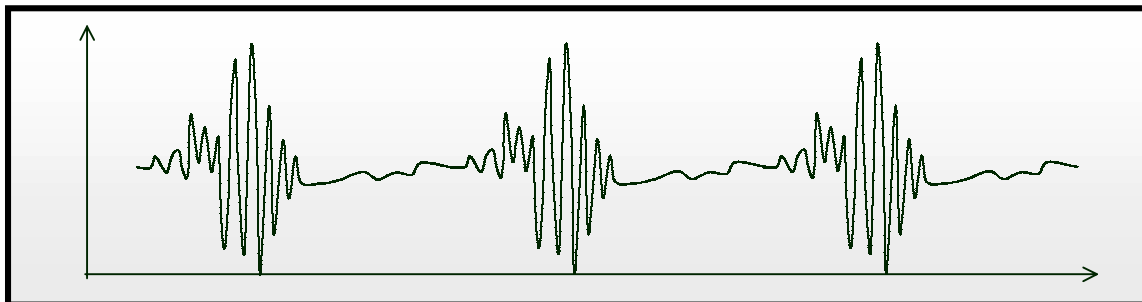


FIGURA 6b

TRANSFORMADA DE FOURIER:

Hasta ahora sólo hemos visto vibraciones en el dominio del tiempo, que son señales directas de la máquina. Como ya dijimos antes, en estas señales se encuentra plasmada toda la información acerca del comportamiento de cada componente de la máquina. Pero hay un problema a la hora de realizar un diagnóstico: estas señales

están cargadas de mucha información en forma muy compleja, la cual comprende las señales características de cada componente de la máquina, por lo cual prácticamente queda imposible distinguir a simple vista sus comportamientos característicos.

Existen otras formas para realizar un estudio de vibraciones, entre las cuales se encuentra mirar esta señal en el dominio de la frecuencia. Esta es la gráfica de Amplitud vs. Frecuencia y es conocida con el nombre de **espectro**. Esta es la mejor herramienta que se tiene actualmente para el análisis de maquinaria.

Fue precisamente el matemático francés **Jean Baptiste Fourier** (1768 – 1830) quien encontró la forma de representar una señal compleja en el dominio del tiempo por medio de series de curvas sinusoidales con valores de amplitud y frecuencia específicos.

Entonces lo que hace un analizador de espectros que trabaja con la transformada rápida de Fourier es capturar una señal desde una máquina, luego calcula todas las series de señales sinusoidales que contiene la señal compleja y por último las muestra en forma individual en el eje X de la frecuencia. En la siguiente ilustración de tres dimensiones (**fig.7**) puede notarse claramente la señal compleja (en color verde), capturada desde una máquina. A dicha señal se le calculan todas las series de señales sinusoidales en el dominio del tiempo (vistas en azul) y por último se muestra cada una en el dominio de la frecuencia (vistas en rojo). La **figura 8** muestra una señal en el dominio del tiempo y su correspondiente en el dominio de la frecuencia.

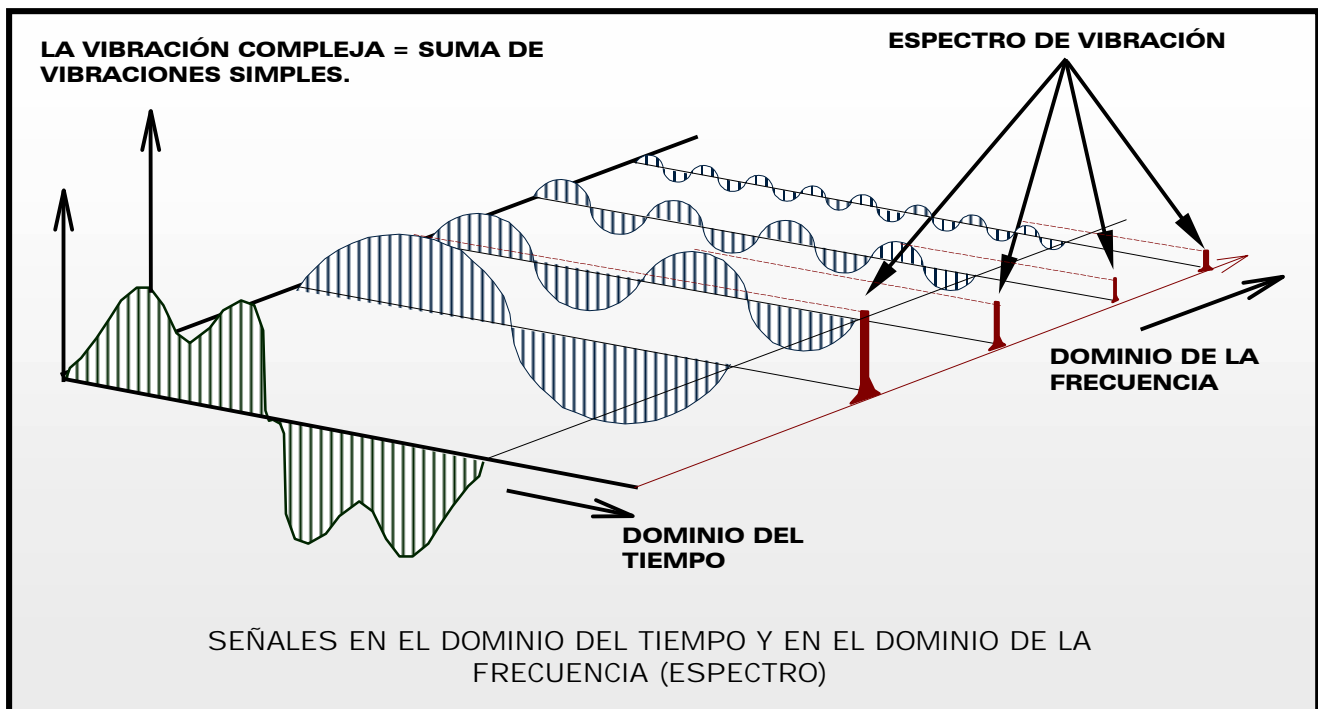


FIGURA 7

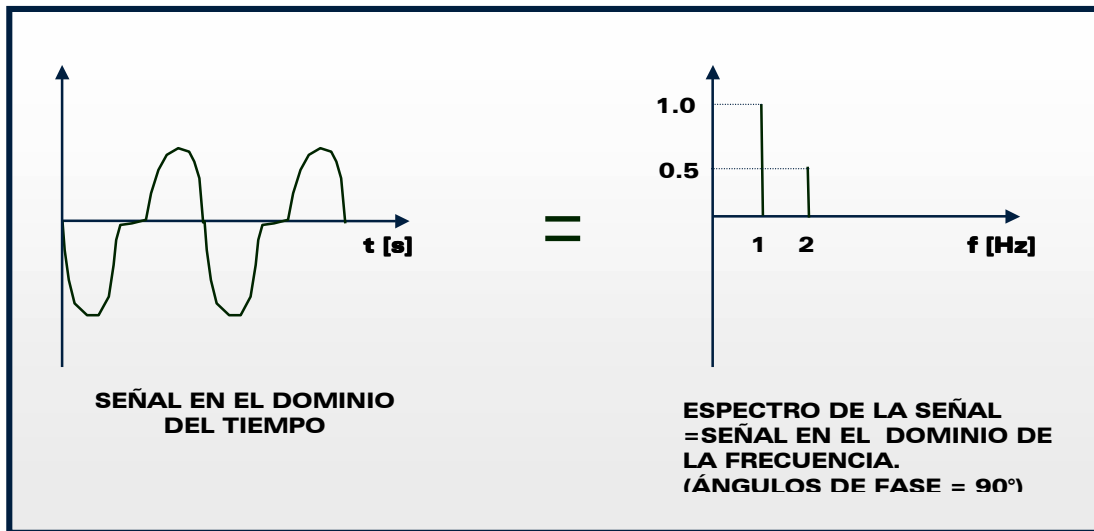


FIGURA 8

En el conjunto de **categorías clasificadas** se presentarán los espectros característicos de las fallas mas comunes. Estos espectros han sido el fruto de muchos estudios y se convierten en “recetas de cocina” que ayudan a descubrir los problemas que pueden suceder en una máquina, aunque en muchos casos es necesario realizar un análisis físico de la máquina.

FRECUENCIA NATURAL Y RESONANCIAS:

La **frecuencia natural** presenta un carácter muy diferente a las anteriormente nombradas, debido a que depende de las características estructurales de la máquina, tales como su masa, su rigidez y su amortiguación, incluyendo los soportes y tuberías adjuntas a ella. No depende de la operación de la máquina, a no ser que la rigidez sea función de la velocidad.

Si la frecuencia natural es excitada por un agente externo, la amplitud de vibración de la máquina se incrementará enormemente causando perjuicios que a corto o mediano plazo pueden llegar a ser catastróficos. Esto es lo que se conoce con el nombre de **resonancia**. Cuando una resonancia es detectada, es necesario identificar el agente externo que la está produciendo e inmediatamente debe aislarse estructuralmente o cambiar su velocidad de operación. La figura 8 muestra un motor que gira a una velocidad similar a la frecuencia natural de su estructura de soporte. Lo que incrementa abruptamente los niveles de vibración de la máquina.

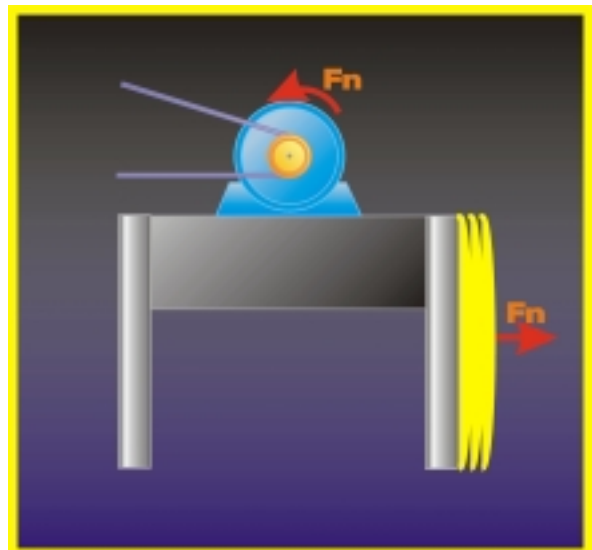
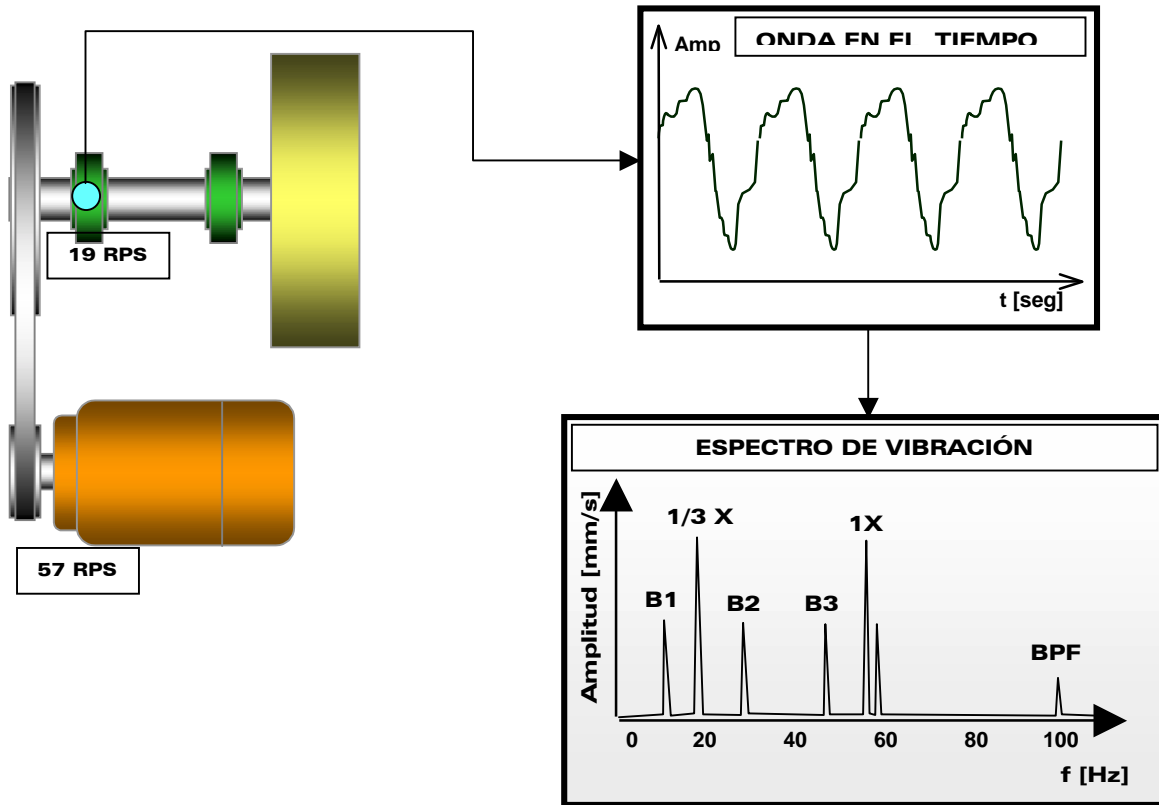


FIGURA 8

ANÁLISIS ESPECTRAL:

Cuando se mide una máquina, se genera una información muy valiosa que es necesario analizar. El éxito de este análisis depende de la correcta interpretación que se le de a los espectros capturados con respecto a las condiciones de operación en que se encuentra la máquina. A continuación se muestra un esquema de cómo sería la captura de la información desde una máquina para luego ser analizada.

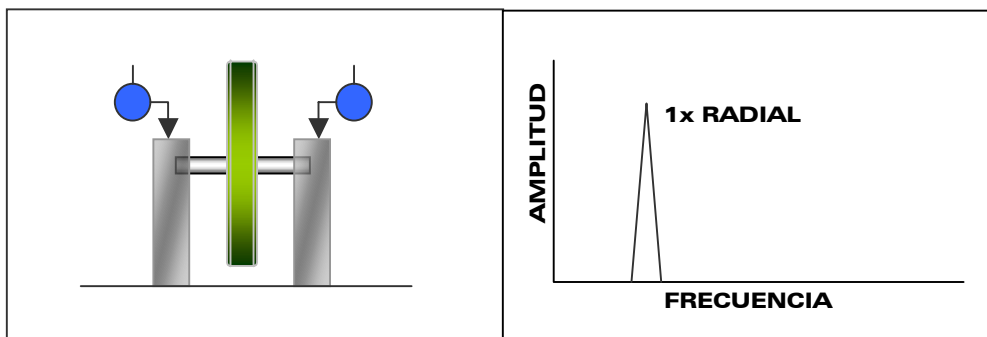
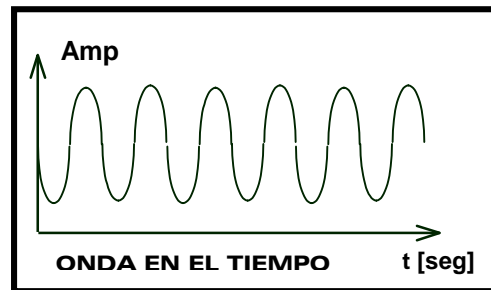
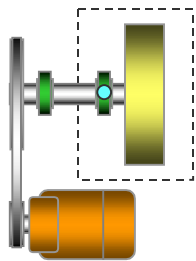


En la siguiente sección se encuentran los comportamientos espectrales característicos de la mayoría de patologías que puede presentar una máquina.

CATEGORÍAS DE PATOLOGÍAS CLASIFICADAS:

PATOLOGÍAS BÁSICAS:

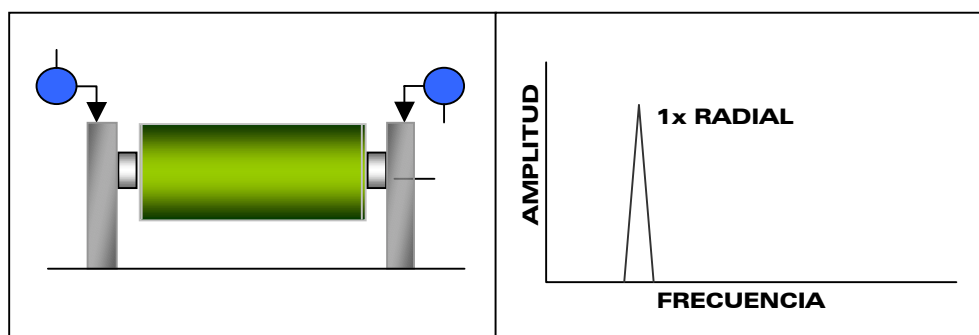
1. DESBALANCEO:



ESTÁTICO: Producido generalmente por desgaste radial superficial no uniforme en rotores en los cuales su largo es despreciable en comparación con su diámetro.

El espectro presenta vibración dominante con una frecuencia igual a 1 X RPS del rotor.

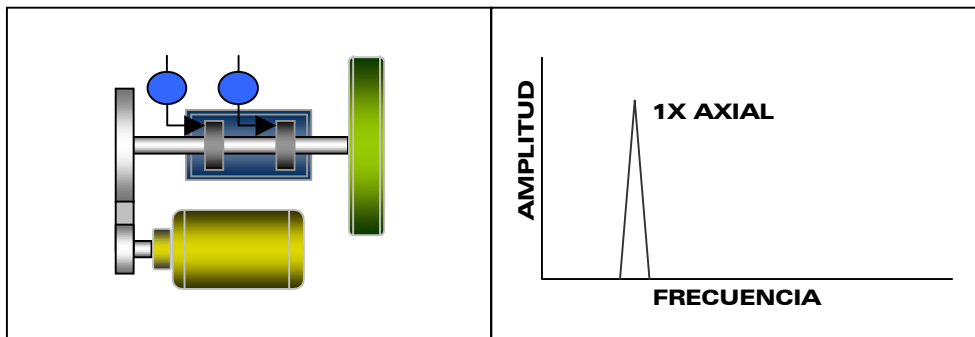
Se recomienda para corregir la falla balancear el rotor en un sólo plano (en el centro de gravedad del rotor) con la masa adecuada y en la posición angular calculada con un equipo de balanceo. Debe consultar a un experto en balanceo de máquinas.



DINÁMICO: El desbalanceo dinámico ocurre en rotores medianos y largos. Es debido principalmente a desgastes radiales y axiales simultáneos en la superficie del rotor.

El espectro presenta vibración dominante y vaivén simultáneo a frecuencia igual a 1 X RPS del rotor.

Se recomienda para corregir la falla balancear el rotor en DOS PLANOS con las masas adecuadas y en las posiciones angulares calculadas con un equipo de balanceo dinámico. Consulte a un experto en balanceo de rotores.

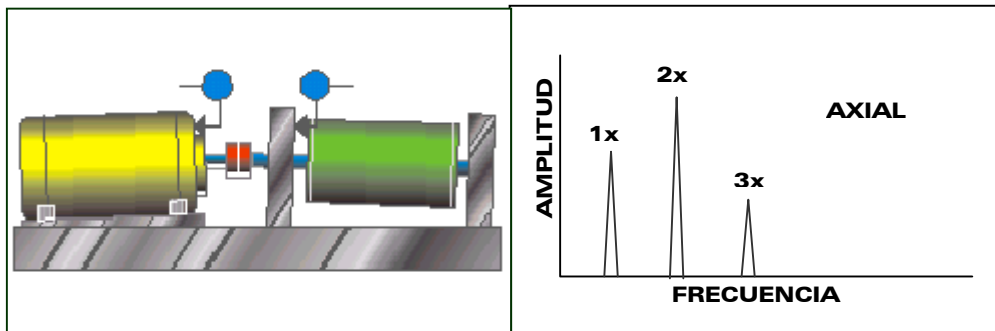


ROTOR COLGANTE: Ocurre en rotores que se encuentran en el extremo de un eje. Es producido por desgaste en la superficie del rotor y doblamiento del eje

El espectro presenta vibración dominante a 1X RPS del rotor, muy notoria en dirección AXIAL y RADIAL.

Para corregir la falla, primero debe verificarse que el rotor NO TENGA EXCENTRICIDAD NI QUE EL EJE ESTÉ DOBLADO. Luego debe realizarse el balanceo adecuado. Consulte a un experto en balanceo de máquinas.

2. DESALINEACIÓN:

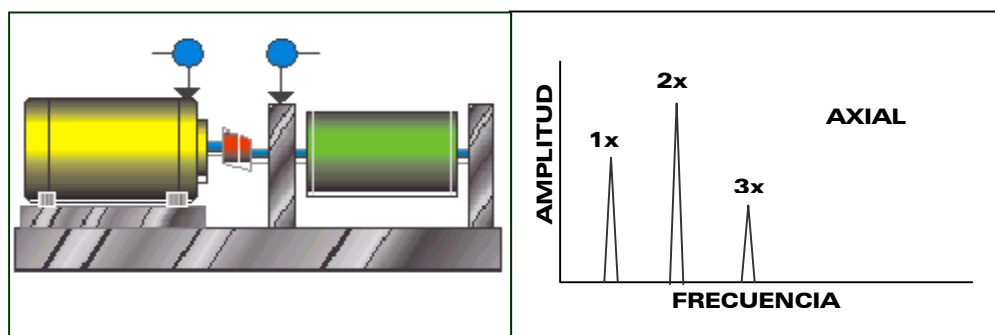


ANGULAR:

Ocurre cuando el eje del motor y el eje conducido unidos en el acople, no son paralelos.

Caracterizado por altas vibraciones axiales. 1X RPS y 2X RPS son las más comunes, con desfase de 180 grados a través del acople. También se presenta 3X RPS. Estos síntomas también indican problemas en el acople.

Para corregirlo, el conjunto motor-rotor deben alinearse. Debe emplearse un equipo de alineación adecuado.

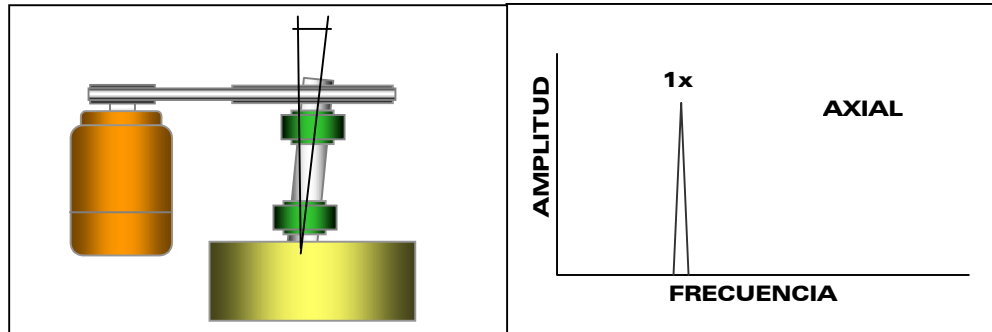


PARALELA:

Los ejes del motor y del rotor conducido están paralelos, pero no son colineales.

Se pueden detectar altas vibraciones radiales a 2X RPS, predominante, y a 1X RPS, con desfase de 180 grados a través del acople. Cuando aumenta la severidad, genera picos en armónicos superiores (4X , 8X).

Se debe alinear el conjunto para corregir el daño. Debe emplearse un equipo de alineación adecuado.

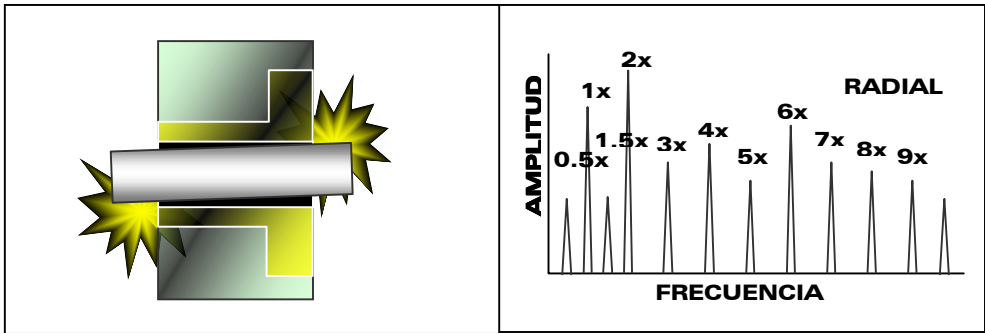
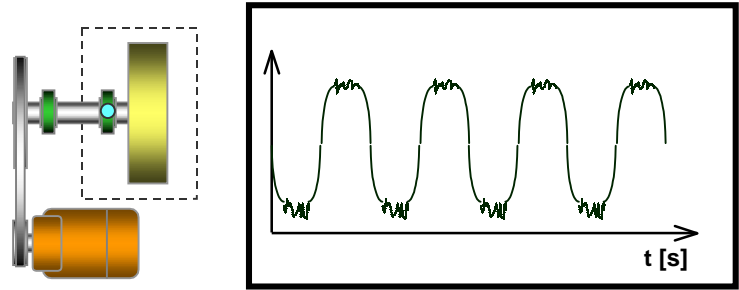


ENTRE CHUMACERAS: En una máquina con transmisión de poleas, la mala posición de las chumaceras puede evitar que el eje se acomode correctamente, lo cual genera vibraciones anormales en sentido axial y radial.

Excitación del pico representativo de la velocidad (1X RPS), especialmente en sentido axial.

Es necesario hacer una verificación de que las chumaceras queden completamente paralelas entre si.

3. HOLGURA MECÁNICA EJE-AGUJERO:

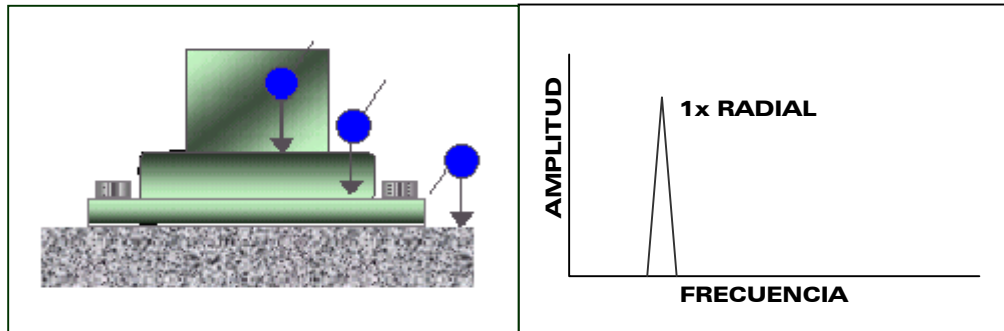


HOLGURA EJE-AGUJERO: Aflojamiento de manguitos, tolerancias de manufactura inadecuadas (con juego), y holgura entre el impulsor y su eje en bombas. Causa un truncamiento en la forma de onda en el dominio del tiempo.

La falla genera múltiples armónicos y subarmónicos de 1X RPS, destacándose los armónicos fraccionarios $1/2 X$, $1/3 X$, $1.5 X$, $2.5 X$, ... Frecuentemente la fase es inestable y el nivel máximo tiende a una dirección notable realizando lecturas radiales espaciadas 30 grados entre si.

Se recomienda verificar la colocación de los manguitos y los juegos eje-agujero cercanos al punto de medición. Igualmente, los ajustes de rotor-eje.

4. SOLTURA ESTRUCTURAL:

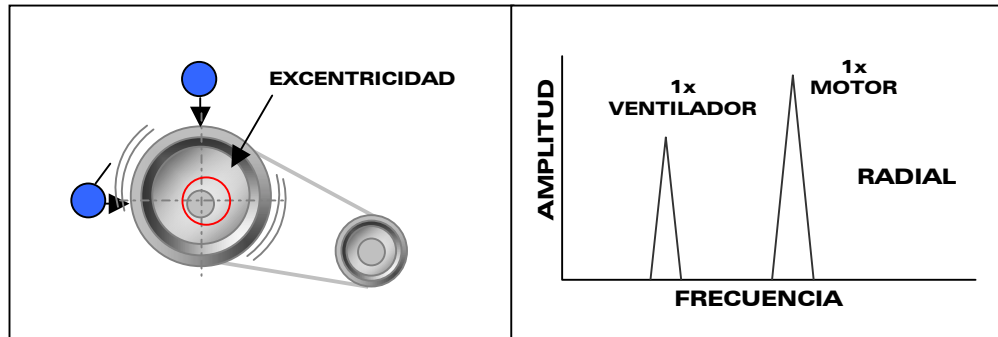


SOLTURA ESTRUCTURAL: Ablandamiento o desplazamiento del pié de la máquina, por holgura en los pernos de la base o por deterioro de los componentes de la sujeción.

El espectro presenta vibración a 1X RPS en la base de la máquina con desfase a 180 grados entre los elementos sujetos en el anclaje. Altamente direccional en la dirección de la sujeción.

Se recomienda primero revisar el estado de fatiga del pié de máquina (rajaduras, corrosión). Luego debe verificarse el estado de los sujetadores y por último el estado de la cimentación.

5. EXCENTRICIDAD

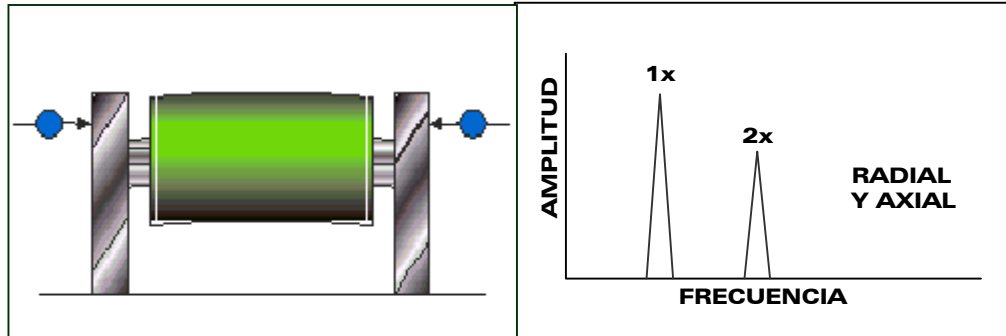


ROTOR EXCÉNTRICO: Fácilmente confundible con desbalanceo. Ocurre cuando el centro de rotación no coincide con el centro geométrico en una polea o engranaje.

La mayor vibración ocurre a 1 X RPS del elemento con excentricidad, en dirección de la línea que cruza por los centros de los dos rotores.

Para corregir la falla, el rotor debe ser reensamblado o reemplazado. (Tratar de balancear el rotor excéntrico resulta en una disminución del nivel de vibración, en una dirección, y un aumento considerable en la otra).

6. ROTOR O EJE PANDEADO:



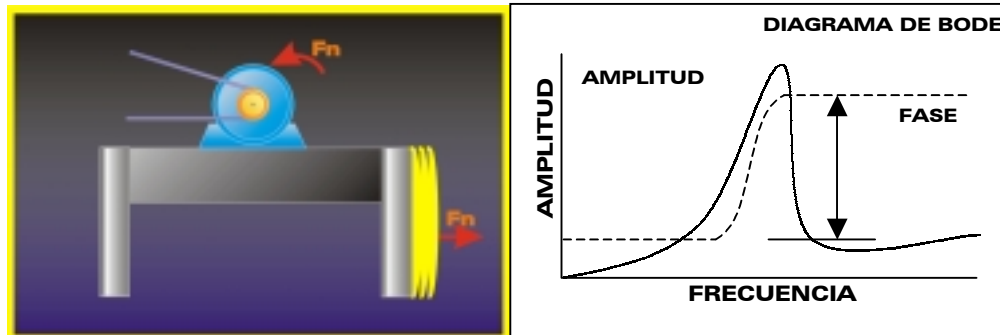
PANDEO:

Más común en ejes largos. Se produce por esfuerzos excesivos en el eje.

Genera Vibración AXIAL alta con diferencia de fase de 180 grados medida en los dos soportes del rotor. La vibración dominante es de 1X RPS si el pandeo está cercano al centro del eje, y es de 2X RPS si el pandeo está cerca del rodamiento.

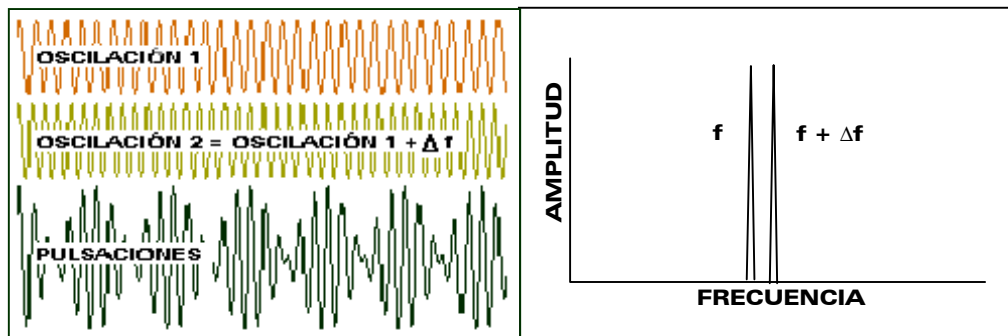
Para corregir la falla, el eje debe rectificarse o cambiarse.

7. RESONANCIAS Y PULSACIONES:



RESONANCIA: Ocurre cuando la velocidad de una fuerza conducida iguala la frecuencia natural de una estructura o una parte de ella. Puede causar dramáticas amplificaciones de la amplitud lo que puede terminar en fallas prematuras y posiblemente catastróficas. Presenta un cambio de fase de 90° por resonancia y 180° cuando lo sobrepasa.

Se requieren cambios periódicos de localización de la frecuencia natural.

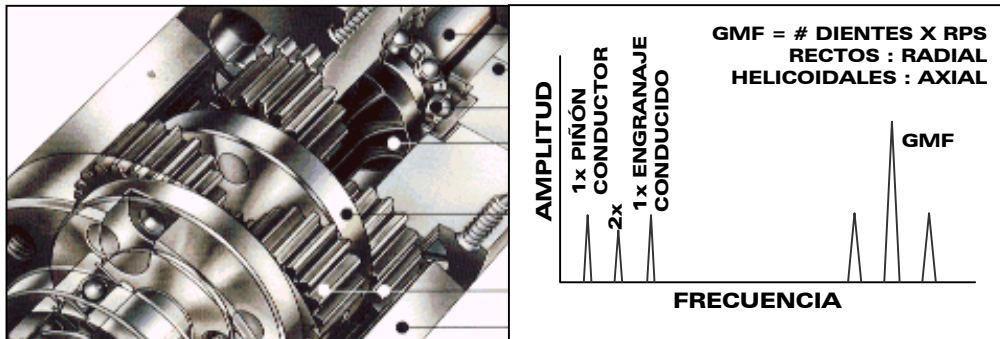


PULSACIONES: Sucede cuando una fuente de vibración interfiere con otra. Generalmente se produce por dos máquinas cercanas que trabajan casi a la misma velocidad.

El espectro muestra dos picos con frecuencias similares. La diferencia de estas da como resultado una pulsación. La ilustración izquierda representa estas frecuencias en el dominio del tiempo y la suma de ambas.

Para solucionar el problema se deben aislar estructuralmente las máquinas en conflicto.

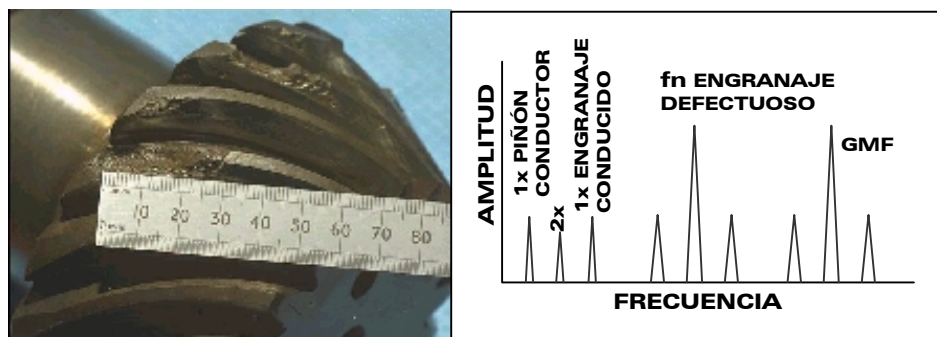
8. FALLAS EN ENGRANAJES:



ESTADO NORMAL: Espectro característico de un engranaje en estado normal (esta no es una patología).

Espectro característico del engrane : El espectro mostrará armónicos 1 X y 2 X RPS del piñón conductor y de la rueda conducida. Adicionalmente, mostrará bandas laterales alrededor de la Frecuencia de Engrane GMF (Gear Mesh Frecuency).

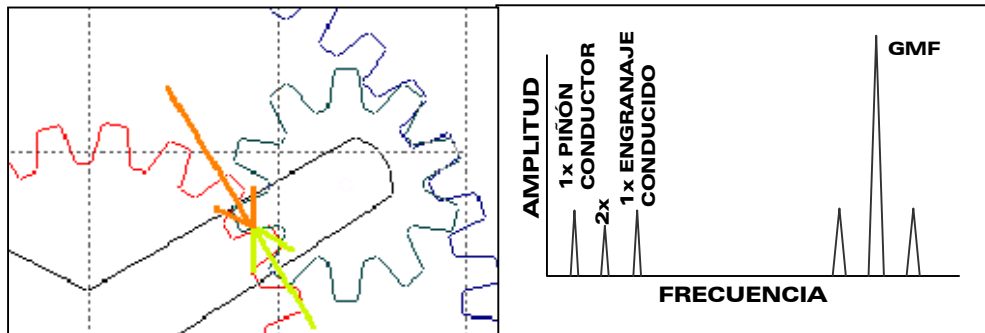
El engranaje se encuentra en buen estado si estos picos de vibración se encuentran en niveles relativamente bajos.



DESGASTE EN DIENTE: Ocurre por operación más allá del tiempo de vida del engranaje, contaminación de la grasa lubricante, elementos extraños circulando en la caja del engrane o montaje erróneo.

Su espectro se caracteriza por la aparición de bandeamiento lateral alrededor de la frecuencia natural de vibración (fn) del engrane defectuoso. El espaciamiento de las bandas laterales es 1 X RPS del engrane defectuoso. Si el desgaste es avanzado, hay sobreexcitación de la GMF.

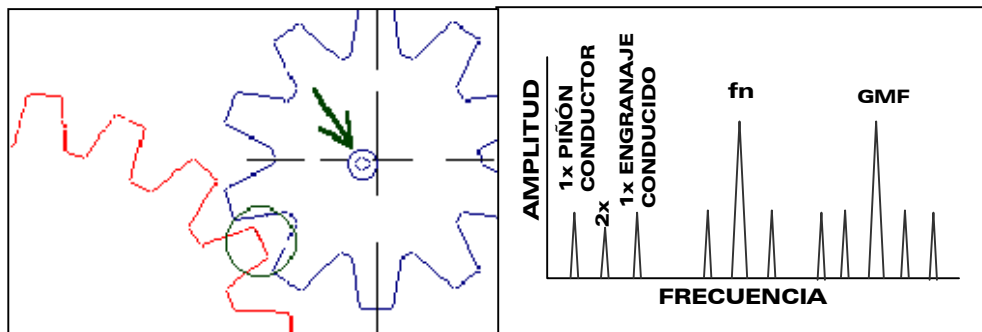
Para solucionar el problema debe cambiar o rectificar el engranaje (sólo si este no está sometido a grandes cargas y la urgencia lo amerita). Si el desgaste es prematuro inspeccione desalineación en el eje o excentricidad en el engranaje.



SOBRECARGA EN ENGRANE: Todos los dientes están recibiendo sobrecarga continúa.

La amplitud de la GMF es altamente excitada, pero esto no suele representar un problema si las bandas a su alrededor se mantienen bajas. Este análisis es efectivo si se realiza siempre a la máxima carga de operación de la máquina.

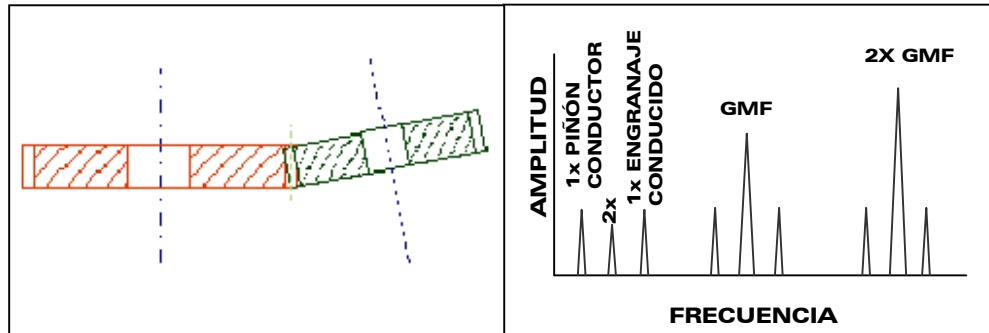
Debe buscarse algún elemento que esté aumentando el torque transmitido más allá de lo normal (rodamiento o buje defectuoso, fallas en lubricación y anomalías en general en el rotor conducido que dificulten el movimiento).



EXCENRICIDAD Y/O BACKLASH: La excentricidad ocurre cuando el centro de simetría no coincide con el centro de rotación. El backlash se produce cuando, al terminar el contacto entre dos dientes, los dos siguientes no entran inmediatamente en contacto.

El espectro muestra aumento considerable de las bandas laterales alrededor del la GMF y f_n . El engranaje con problemas es indicado por el espaciado de las bandas laterales. Si el problema es backlash, la GMF debe disminuir con el aumento de la carga.

Para corregir el problema, el engranaje debe ser reensamblado o reemplazado si se encuentran problemas de manufactura.

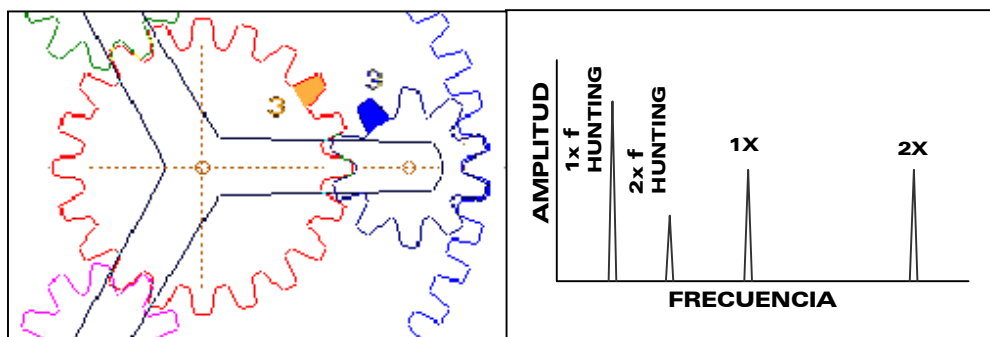


ENGRANE DESALINEADO:

Se presenta cuando las ruedas dentadas fueron ensambladas con errores de alineación o cuando sus ejes no están paralelos.

Casi siempre se excitan los armónicos de 2do o mayor orden de la GMF, con bandeamientos laterales a la 1 X RPS del piñón o la rueda. 2 X GMF y 3 X GMF dominan el espectro.

El conjunto debe ser realineado para corregir el problema.



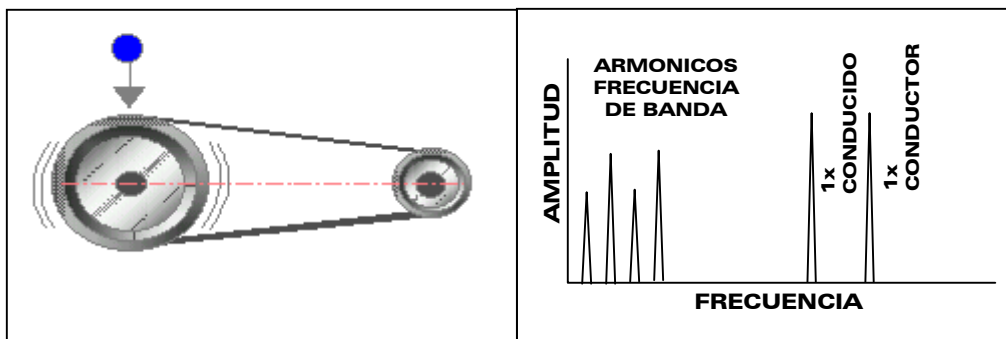
PROBLEMAS DE HUNTING:

Problemas leves en la manufactura o manipulación indebida producen que, cuando dos dientes específicos del piñón y el engranaje conducido se encuentren, generen vibraciones de choque.

Esta falla genera altas vibraciones a bajas frecuencias por debajo de los 10 Hz. La máxima vibración ocurre cada 10 o 20 revoluciones del piñón dependiendo de la fórmula de fHT (y suele escucharse como un gruñido).

Si se determina que el problema es severo, deben reemplazarse el par de engranajes y debe tenerse más precaución en la manipulación.

9. BANDAS:

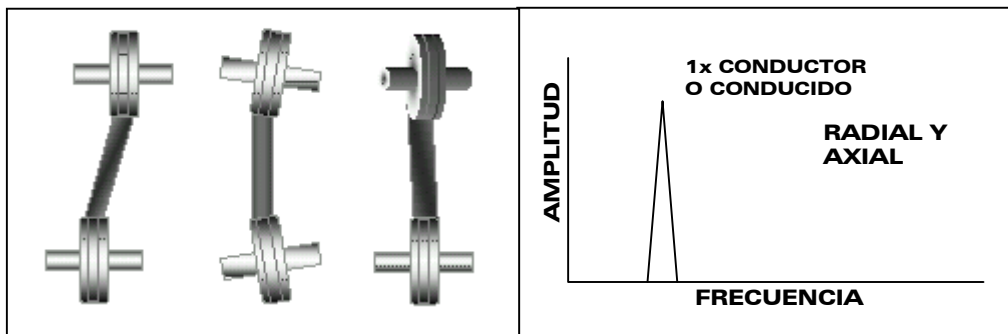


DISTENSIÓN:

Ocurre por sobrepaso de la vida útil de la banda, o por desgaste excesivo de la misma.

Las frecuencias de bandas siempre están por debajo de la frecuencia del motor o máquina conducida. Normalmente se encuentran cuatro picos y generalmente predomina el de 2x frecuencia de banda. Tienen amplitudes inestables.

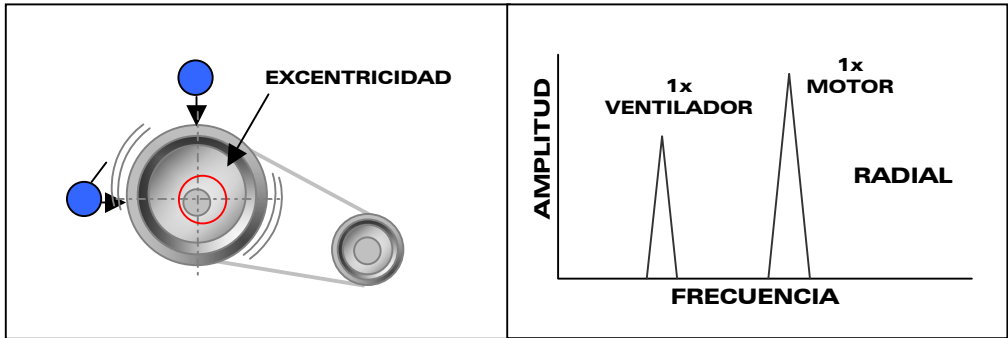
Para corregir el problema, si la banda no presenta demasiado desgaste intente tensionarla, de lo contrario reemplácela.



DESALINEACIÓN EN POLEAS: Puede ocurrir porque los ejes de las poleas no están alineados o porque las poleas no están paralelas. También pueden ocurrir ambos casos simultáneamente.

Produce alta vibración axial a 1x RPS de la conductora o la conducida, generalmente la conducida. La buena medida de las amplitudes de las vibraciones depende de donde sean tomados los datos.

Para solucionar el problema deben alinearse las poleas tanto angular como

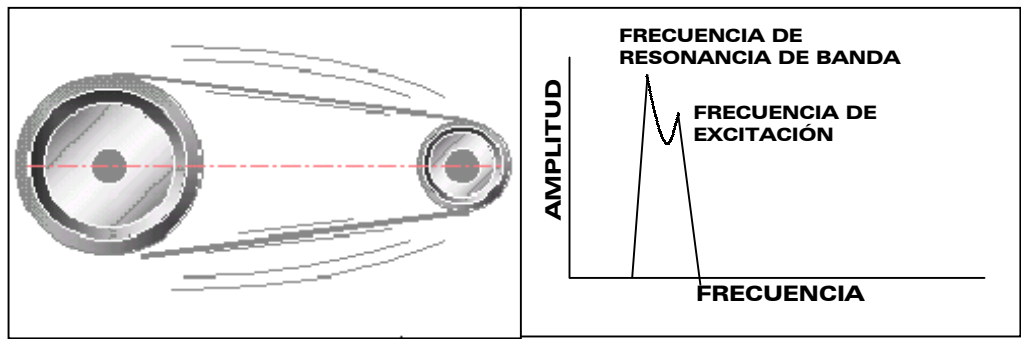


paralelamente.

EXCENTRICIDAD DE POLEAS: Ocurre cuando el centro de rotación no coincide con el centro geométrico en una polea.

Produce alta vibración a 1x RPS de la polea excéntrica. Su amplitud está por encima de las amplitudes de las frecuencias de las bandas.

Aunque es posible balancear poleas gracias a la adición de pesas, la excentricidad seguirá induciendo vibración y esfuerzos de fatiga reversible. Se recomienda cambiarse la polea excéntrica.

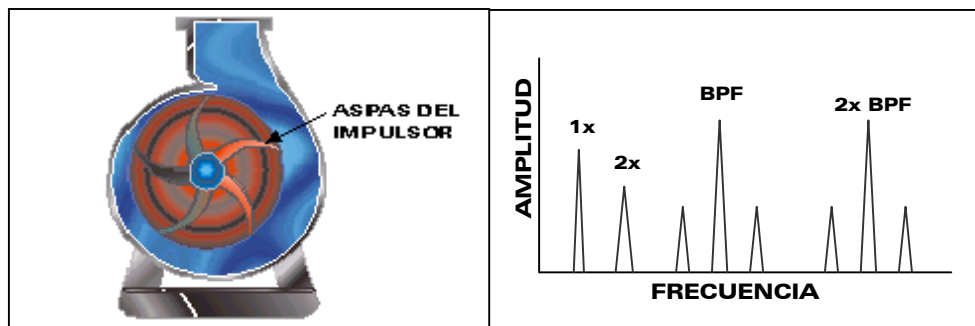


RESONANCIA BANDA: Sucede si la frecuencia natural de la banda coincide o se aproxima a las RPS del motor o de la máquina conducida.

El espectro muestra altas amplitudes de la frecuencia de resonancia y la frecuencia de excitación de banda, siendo la frecuencia de resonancia la predominante.

La frecuencia natural puede ser alterada cambiando la tensión de la banda o su longitud.

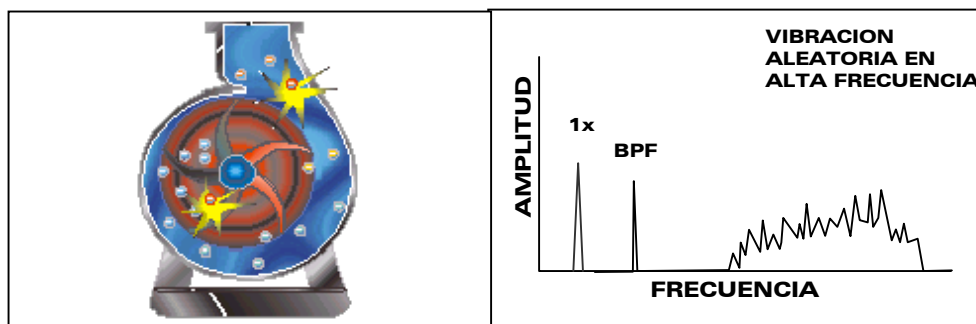
10. FLUJO DE LÍQUIDOS:



FRECUENCIA DE ASPAS (L): Frecuencia a la cual, cada aspa pasa por un punto de la carcasa. Producida por obstrucciones, cambios abruptos de direcciones o desgastes de juntas.

La BPF (frecuencia de paso de aspas) es excitada en sus primeros dos armónicos con bandeamientos laterales. La BPF es igual al número de aspas por la frecuencia. La BPF algunas veces coincide con la frecuencia natural lo cual causa altas vibraciones.

En caso de aumentos en la BPF deben revisarse cambios abruptos de dirección del fluido y posibles obstrucciones parciales en la descarga de la bomba.



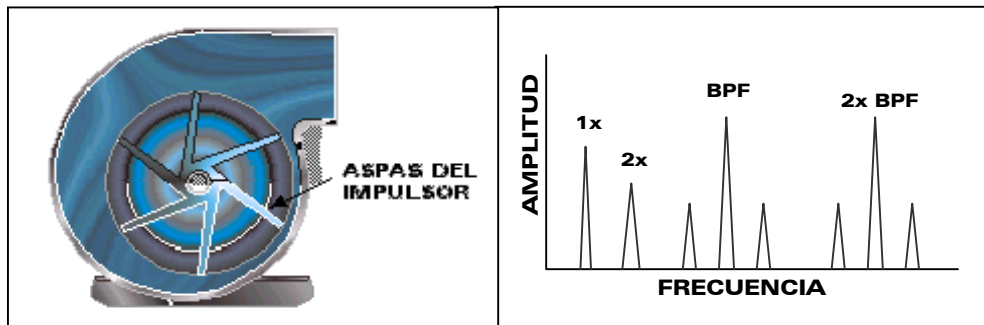
CAVITACIÓN:

Es la entrada de aire o vaporización de un fluido dentro de la bomba. Ocurre cuando la presión de fluido es menor que la presión de vapor a esta temperatura. La cavitación causará erosión a las partes internas de la bomba.

El espectro muestra una vibración caótica que se presenta a altas frecuencias (del orden de 2000 Hz).

Para solucionar el problema debe controlarse con más rigor la presión de succión y tenerse cuidado con el proceso para cebar la bomba.

11. 13. FLUJO DE GASES:

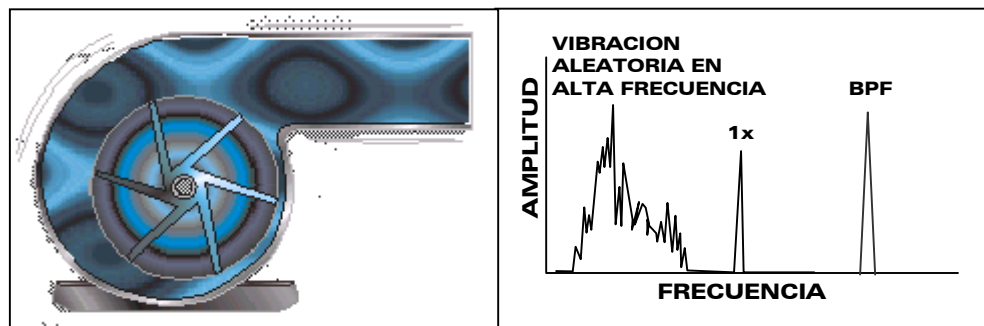


FRECUENCIA DE ASPAS (G):

Frecuencia a la cual, cada aspa pasa por un punto de la cubierta. Producida por obstrucciones o cambios abruptos de direcciones.

La BPF (frecuencia de paso de aspas) es excitada en sus primeros dos armónicos con bandeamientos laterales. La BPF es igual al número de aspas por la frecuencia. La BPF algunas veces coincide con la frecuencia natural lo cual causa altas vibraciones

En caso de aumentos en la BPF deben revisarse cambios abruptos de dirección del fluido y posibles obstrucciones parciales cerca del ventilador.

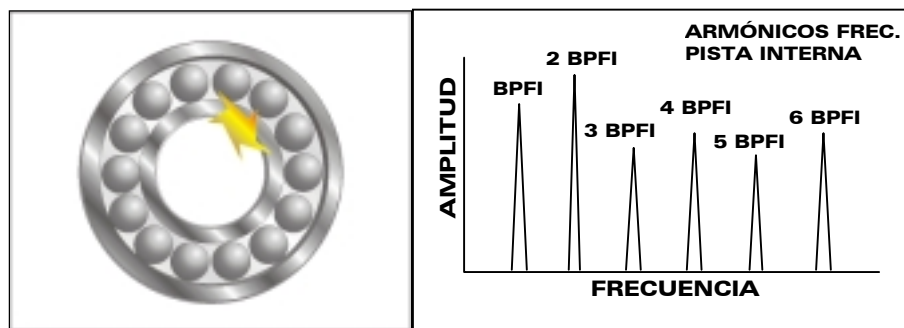


TURBULENCIA ANÓMALA (G): Se crea por las variaciones de velocidad o presión del aire pasando a través de un ventilador o red de ventilación.

El espectro muestra una vibración anómala a baja frecuencia que generalmente está entre 0.3 y 30 Hz, siempre por debajo de la velocidad nominal.

Debe revisarse la construcción y el ensamble de los ductos. Puede ser necesaria la instalación de rejillas o cambios de área o geometría de sección.

14. FALLAS EN RODAMIENTOS:

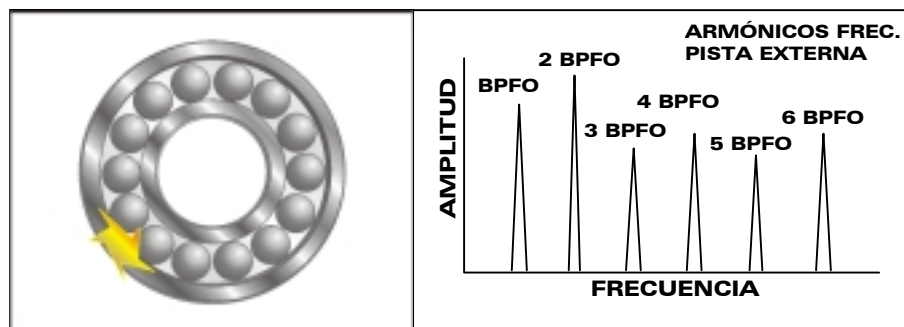


FALLA EN PISTA INTERNA: Agrietamiento o desastillamiento del material en la pista interna, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente.

Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS la frecuencia de falla de la pista interna, en dirección radial. Además el contacto metal - metal entre los elementos rodantes y las pistas producen pulsos en el dominio del tiempo del orden de 1-10 KHz.

El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Antes revise el estado de lubricación del rodamiento.

Nota: Generalmente la medida mas confiable es en dirección de la carga.

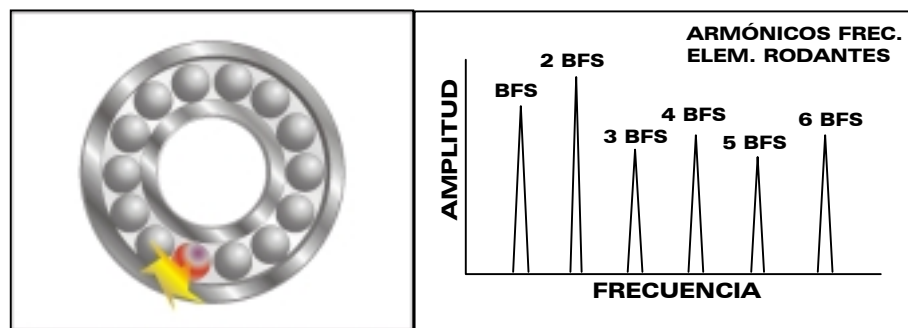


FALLA EN PISTA EXTERNA: Agrietamiento o desastillamiento del material en la pista externa, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente.

Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS la frecuencia de falla de la pista externa, en dirección radial. Además el contacto metal - metal entre los elementos rodantes y las pistas producen pulsos en el dominio del tiempo del orden de 1-10 KHz

El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Antes revise el estado de lubricación del rodamiento.

Nota: Generalmente la medida mas confiable es en dirección de la carga.

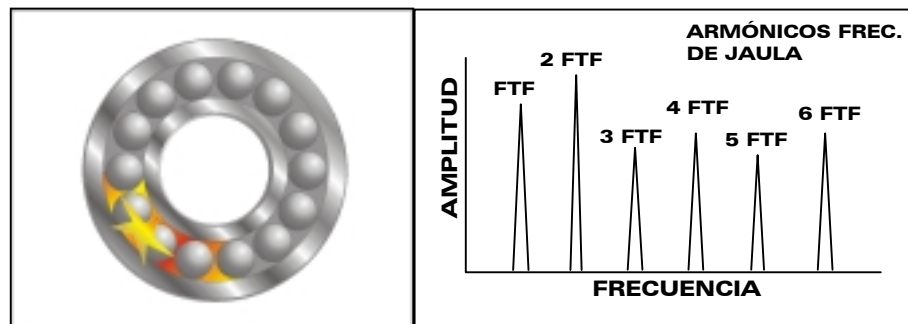


FALLA EN ELEMENTOS RODANTES: Agrietamiento o desastillamiento del material en los elementos rodantes, producido por errores de ensamble, esfuerzos anormales, corrosión, partículas externas o lubricación deficiente.

Se produce una serie de armónicos siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS la frecuencia de falla de los elementos rodantes, en dirección radial. Además el contacto metal - metal entre los elementos rodantes y las pistas producen pulsos en el dominio del tiempo del orden de 1-10 KHz

El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Antes revise el estado de lubricación del rodamiento.

Nota: Generalmente la medida mas confiable es en dirección de la carga.



DETERIORO DE JAULA: Deformación de la jaula, caja o cubierta que mantiene en su posición a los elementos rodantes.

Se produce una serie de armónicos de la frecuencia de la jaula siendo los picos predominantes 1X y 2X RPS de la frecuencia de falla en jaula, en dirección radial o axial.

El rodamiento debe ser reemplazado, debido a que la falla seguirá incrementándose. Revise la posible causa que está dando origen a la falla.

DESPLAZAMIENTO, VELOCIDAD Y ACELERACIÓN DE VIBRACIÓN

Existen varias variables para medir la amplitud de vibración de un espectro. Para vibraciones mecánicas lo más común es medirlas en unidades de desplazamiento, velocidad y aceleración.

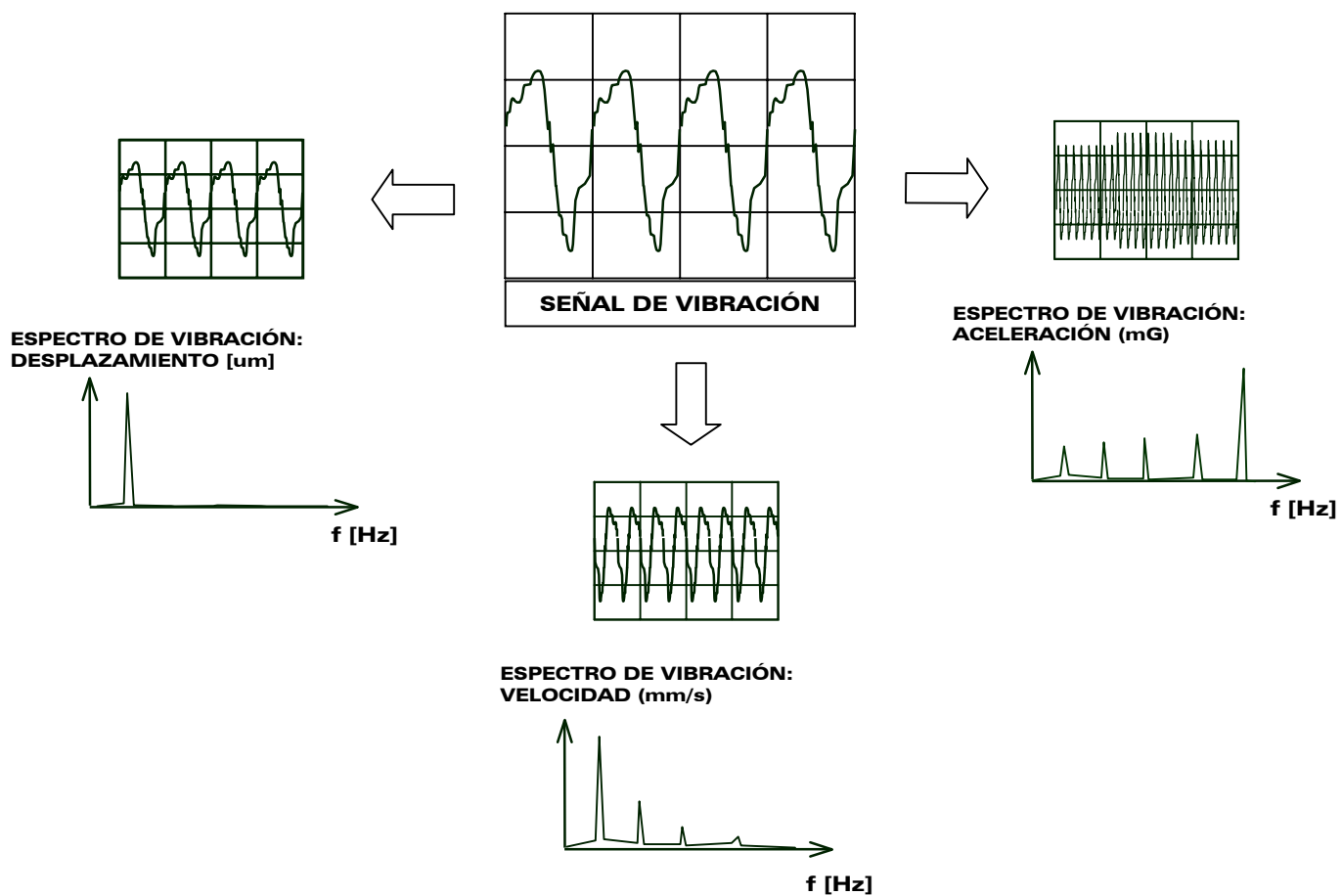
Cada una presenta ventajas respecto de las otras, por tanto es recomendable para el analista revisarlas todas. A continuación se describen sus ventajas.

La medida en desplazamiento (mm ó μm en SI, mils en S. Inglés) es importante para reconocer patrones que están a muy baja frecuencia. Los picos de vibración que están al comienzo del espectro son mejor resaltados. Esta es una medida especial para hallar anomalías en chumaceras de aceite, muy utilizadas en turbomaquinaria.

La medida en velocidad (mm/s en SI, in/s en S. Inglés) permite reconocer la mayoría de los patrones de fallas primarias y de otros componentes cuando están en un estado evidente, como por ejemplo desbalanceo, desalineación, holgura mecánica, fricciones abrasivas, resonancias, pulsaciones, engranajes de pocos dientes, sistema de poleas, aspas de bombas y ventiladores. Esta variable de velocidad es importante para resaltar picos de bajas y medias frecuencias.

La medida en aceleración (mG o G en ambos sistemas de medición) permite reconocer patrones asociados a contactos metal-metal y fricciones abrasivas, problemas en engranajes, cavitación, entre otros. Esta variable resalta picos de vibración de medias y altas frecuencias, y es muy utilizada para la detección prematura de fallas en chumaceras y rodamientos, y otros componentes como engranajes.

A continuación se presenta un esquema de una señal vista en las tres variables:



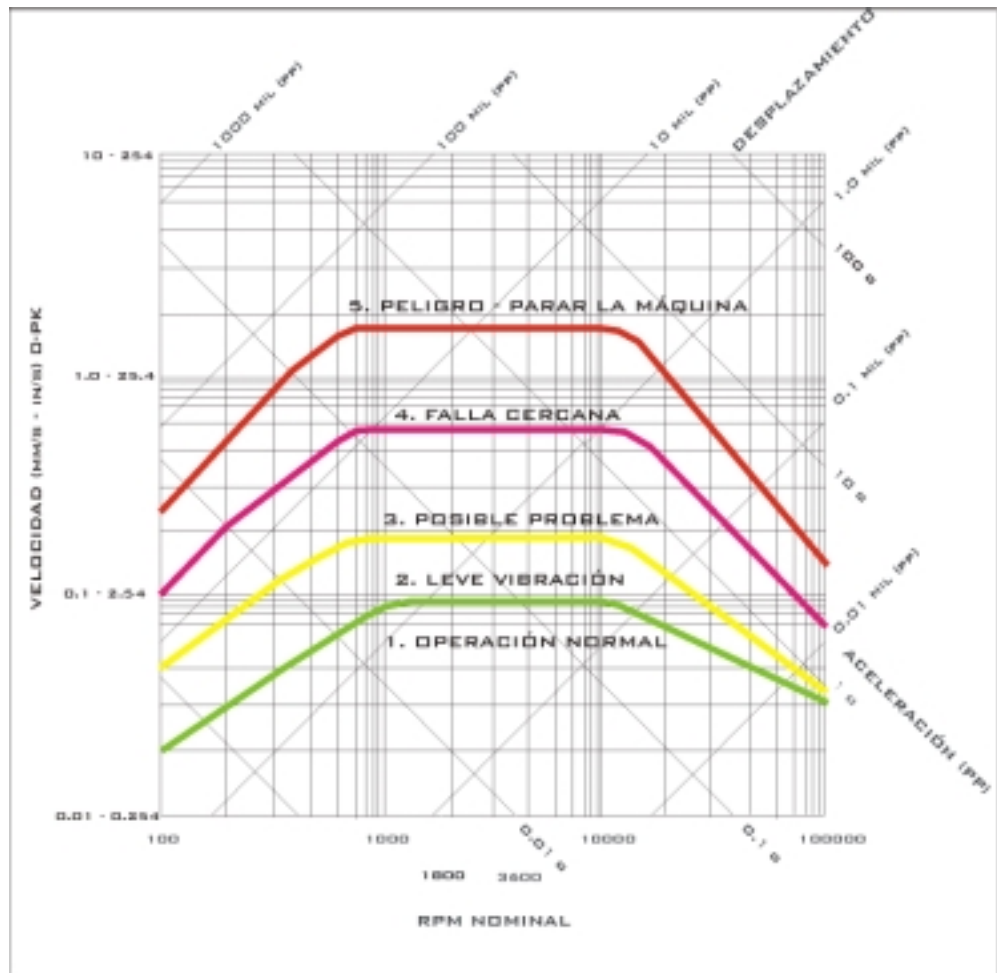
ALARMAS DE NIVEL Y TENDENCIA:

ALARMAS DE NIVEL:

Antes de entrar a realizar un diagnóstico con la ayuda de las patologías vistas anteriormente, es necesario observar los niveles de vibración que presenta cada uno de los puntos de la máquina. Muchas veces los espectros de vibración pueden presentar picos especiales, pero esto no significa que haya una característica de falla, ya que la máquina puede estar operando a condiciones normales dentro de los niveles establecidos por la norma. El problema se presenta cuando estos picos comienzan a aumentar su nivel y de esta manera incrementan el overall del punto.

Existen algunas normas internacionales que proponen unos estándares generales para varios tipos de máquinas y niveles de alarma. Estos niveles pueden aplicarse a una gran cantidad de máquinas, pero hay excepciones que exigen estudiar otras herramientas para poder llegar a una conclusión del estado de máquina.

Existe una gráfica logarítmica que encarna valores de aceleración, velocidad y desplazamiento frente a una frecuencia específica. Dicha gráfica contiene unos niveles generalizados de alarma. Para aplicarlos a diferentes máquinas, se hace necesario revisar varias características presentadas en ellas, como son su tamaño y su cimentación y de acuerdo a ello, se escoge un factor de servicio, en la tabla mostrada mas adelante, se presentan unos valores tentativos de los factores de servicio de estas máquinas.



Un ejemplo de norma de rangos de severidad de vibración es la ISO 2372 la cual ejemplifica límites de y los factores de servicio para cuatro tipos de máquina. Como ya se dijo anteriormente, estos límites pueden ser prácticos para muchas máquinas básicas de proceso, pero es importante considerar la individualidad inherente a cada equipo lo que hace necesario la utilización de otras herramientas tales como el seguimiento de niveles de tendencia y el respectivo historial de mantenimiento.

El valor de severidad de la vibración asociada a un rango de clasificación en particular, depende del tamaño y masa del cuerpo vibrante, las características del montaje del sistema, la salida y el uso que se le da a la máquina. De esta forma es necesario tomar cuenta de varios propósitos y circunstancias concernientes a los diferentes rangos.

RANGOS DE SEVERIDAD DE VIBRACIÓN PARA MÁQUINAS PEQUEÑAS (CLASE I), MÁQUINAS DE TAMAÑO MEDIANO (CLASE II), GRANDES MÁQUINAS (CLASE III), Y TURBOMÁQUINAS (CLASE IV).

RANGO DE SEVERIDAD DE VIBRACION		CLASES DE MÁQUINAS			
VELOCIDAD RMS (mm/s)	VELOCIDAD 0-PK (mm/s)	CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV
0.28	0.3960	A	A	A	A
0.45	0.6364				
0.71	1.0041				
1.12	1.5839	B	B	B	B
1.8	2.5456				
2.8	3.9598	C	C	C	C
4.5	6.3640				
7.1	10.0409	D	D	D	D
11.2	15.8392				
18	25.4558				
28	39.5980				
45	63.6396				
71	100.4092				
FSM para las máquinas		1.57020	1	0.62608	0.39625
FSN para los niveles (1/FSM)		0.63686	1	1.59725	2.52364

Nota:

FSM: factor de servicio para las clases de máquinas.

FSN: factor de servicio para los niveles.

La anterior es una de las clasificaciones recomendadas para la escogencia del factor de servicio de una máquina. Pero como se ha dicho no está dada para todas las aplicaciones y por lo tanto puede sustituirse de acuerdo a situaciones particulares que se presenten. El significado de estas clases se presenta a continuación:

CLASE I: Partes individuales que se conectan a una máquina en operación normal. (Los motores eléctricos que no pasan de 15 kW son ejemplos típicos de esta categoría).

CLASE II: Máquinas de tamaño medio (generalmente motores de 15 a 75 kW de salida), sin cimientos especiales, o máquinas rígidas (por encima de 300 kW) montadas sobre cimientos especiales.

CLASE III: Grandes motores y otras máquinas con grandes masas rotantes montadas sobre cimientos rígidos y pesados, los cuales son relativamente duros en la dirección de medida de vibración.

CLASE IV: Grandes motores y otras máquinas con grandes masas rotantes montadas en cimientos relativamente flexibles en la dirección de la medida de vibración (por ejemplo, un turbogenerador, especialmente aquellos con subestructuras ligeras).

Fuera de éstas clases, también existen otras dos que se dan para maquinaria extremadamente robusta o especial que necesita factores de servicio aun mas grandes.

CLASE V: Máquinas y sistemas de conducción mecánica con esfuerzos de desbalanceo inerciales (debido a partes reciprocantes) montadas sobre cimientos, los cuales son relativamente rígidos en la dirección de la medida de vibración.

CLASE VI: Máquinas y sistemas de conducción mecánica con esfuerzos de desbalanceo inerciales (debido a partes reciprocantes) montadas sobre cimientos, los cuales son relativamente suaves en la dirección de la medida de vibración; también pertenecen máquinas con rotación de masas flojas acopladas, tal como golpeteo de eje en un molino; máquinas centrífugas con desbalanceo variable capaces de operar sin componentes conectados; pantallas de vibración, máquinas de prueba de fatiga dinámica y excitadores de vibración usados en plantas de proceso.

NIVELES DE TENDENCIA:

La tendencia se puede definir como una representación gráfica de alguna variable respecto al tiempo. Para nuestro caso, la variable es el nivel general de vibración de los puntos de una máquina.

En esta gráfica puede observarse la pendiente de los puntos a través de su historia. Siempre y cuando la pendiente sea suave, la tendencia permanecerá estable. Pero si llega a presentarse un crecimiento grande, acercándose a una elevación exponencial, en la mayoría de casos es porque se acerca una falla física de la máquina.

Los niveles de vibración a través de la historia de la máquina variarán entre períodos. Esto se debe a que el nivel de vibración es inferido a través de promedios. Esto será normal siempre y cuando no haya un cambio abrupto en el nivel de vibración de manera que la pendiente se incremente considerablemente.

La **figura 10** presenta la tendencia de un soplador. Hasta la medición del día 330 la tendencia es estable, sin embargo a partir de esta medición los niveles de vibración se incrementan abruptamente. A través del monitoreo de vibraciones se pudo predecir el mal estado de un rodamiento en la polea conducida del soplador, lo cual podría haber producido un paro súbito de la máquina.

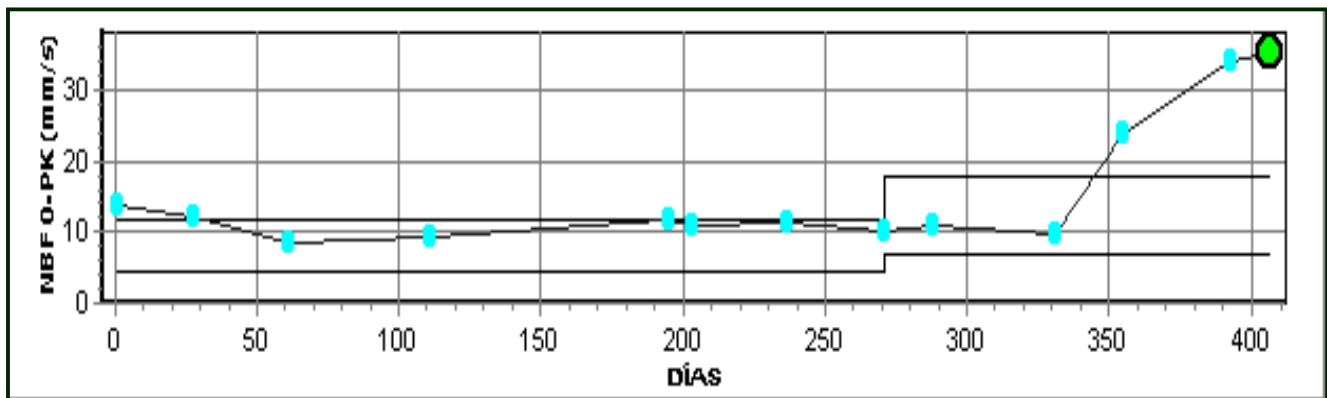


FIGURA 10