

Reductores de velocidad

INTRODUCCION.

Casi podría decirse que los motores son como el 'corazón de la industria'. Pero ese 'corazón' tiene diferentes ritmos y funciona a distintas velocidades, dependiendo del uso que se le quiera dar. Por eso los reductores de velocidad son indispensables en todas las industrias del país, desde los que producen cemento hasta los laboratorios de medicamentos requieren en sus máquinas estos mecanismos.

Los reductores son diseñados a base de engranajes, mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales de acuerdo con su tamaño y la función en cada motor.

Sin la correcta fabricación de los motorreductores, las máquinas pueden presentar fallas y deficiencias en su funcionamiento. La presencia de ruidos y recalentamientos pueden ser aspectos que dependan de estos mecanismos, de allí la importancia del control de calidad.

“El desarrollo de esta máquina y del sistema inteligente de medición le permite a las empresas ser mucho más competitivas y aumentar sus conocimientos.

En pocas palabras los reductores son sistemas de engranajes que permiten que los motores eléctricos funcionen a diferentes velocidades para los que fueron diseñados.

Rara vez las máquinas funcionan de acuerdo con las velocidades que les ofrece el motor, por ejemplo, a 1.800, 1.600 o 3.600 revoluciones por minuto. La función de un motorreductor es disminuir esta velocidad a los motores (50, 60, 100 rpm) y permitir el eficiente funcionamiento de las máquinas, agregándole por otro lado potencia y fuerza.

Reductor de velocidad: Los Reductores ó Motorreductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de [máquinas](#) y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente.

Las transmisiones de [fuerza](#) por correa, cadena o trenes de engranajes que aún se usan para la reducción de velocidad presentan ciertos inconvenientes.

Al emplear REDUCTORES O MOTORREDUCTORES se obtiene una serie de beneficios sobre estas otras formas de reducción. Algunos de estos beneficios son:

- Una regularidad perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida.
- Una mayor [eficiencia](#) en la transmisión de la potencia suministrada por el [motor](#).
- Mayor [seguridad](#) en la transmisión, reduciendo los [costos](#) en el [mantenimiento](#).
- Menor espacio requerido y mayor rigidez en el montaje.
- Menor [tiempo](#) requerido para su instalación.

Los motorreductores se suministran normalmente acoplado a la unidad reductora un motor eléctrico normalizado asíncrono tipo jaula de ardilla, totalmente cerrado y refrigerado por ventilador para conectar a [redes](#) trifásicas de 220/440 voltios y 60 Hz.

Para proteger eléctricamente el motor es indispensable colocar en la instalación de todo Motorreductor un guarda motor que limite la intensidad y un relé térmico de sobrecarga. [Los valores](#) de las corrientes nominales están grabados en las placas de identificación del motor.

Normalmente los [motores](#) empleados responden a la clase de protección IP-44 (Según DIN 40050). Bajo pedido se puede mejorar la clase de protección en los motores y unidades de reducción.

CARACTERISTICAS DEL REDUCTOR O MOTORREDUCTOR - TAMAÑO

- **Potencia**, en HP, de entrada y de salida.
- **Velocidad**, en RPM, de entrada y de salida.
- **PAR** (o torque), a la salida del mismo, en KG/m.
- **Relación de reducción**: índice que detalla la relación entre las RPM de entrada y salida.

CARACTERISTICAS DEL TRABAJO A REALIZAR

- - Tipo de máquina motriz.
- - Tipos de acoplamiento entre máquina motriz, reductor y salida de carga.
- - Carga: uniforme, discontinua, con choque, con embrague, etc.
- - Duración de servicio: horas/día.
- - Nº de Arranques/hora.

GUIA PARA LA ELECCION DEL TAMAÑO DE UN REDUCTOR O MOTORREDUCTOR

Para seleccionar adecuadamente una unidad de reducción debe tenerse en cuenta la siguiente [información](#) básica:

Características de operación

- Potencia (HP tanto de entrada como de salida)
- Velocidad (RPM de entrada como de salida)
- Torque (par) máximo a la salida en kg-m.
- Relación de reducción (I).

Características del trabajo a realizar

- Tipo de máquina motriz (motor eléctrico, a gasolina, etc.)
- Tipo de acople entre máquina motriz y reductor.

- Tipo de carga uniforme, con choque, continua, discontinua etc.
- Duración de **servicio** horas/día.
- Arranques por hora, **inversión** de marcha.

Condiciones del ambiente

- Humedad
- Temperatura

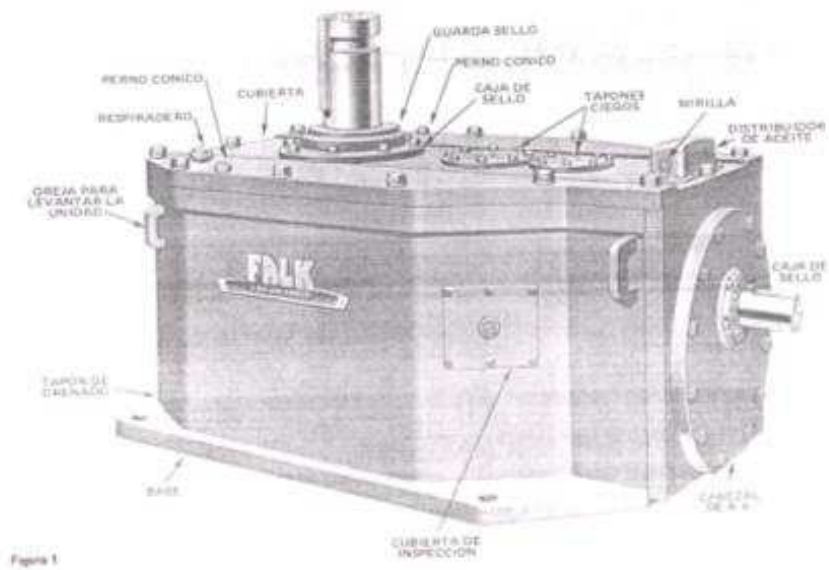
Ejecución del equipo

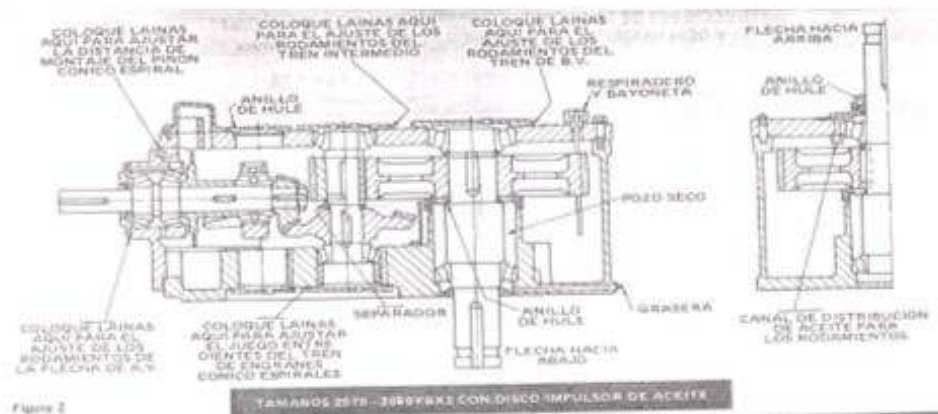
- Ejes a 180°, ó, 90°.

Eje de salida horizontal, vertical, etc.

Incrementador de la velocidad: En algunos casos, resulta impráctico operar un motor primario a una velocidad lo suficientemente alta como para satisfacer las necesidades del equipo impulsado. Para aplicaciones de este tipo pueden utilizarse los engranajes como incrementadores de la velocidad.

PARTES DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD.





Tipos de engranajes:

Engranajes rectos: Tienen forma cilíndrica y funcionan sobre ejes paralelos. Los dientes son rectos y paralelos a los ejes.

Creballera recta: Un engranaje recto que tiene dientes rectos los cuales forman ángulos rectos con la dirección del movimiento.

Engranajes helicoidales: Un engranaje helicoidal de forma cilíndrica y dientes helicoidales. Los engranajes helicoidales paralelos operan sobre ejes paralelos y, cuando ambos son externos, las hélices tienen sentido contrario.

Engranajes con dientes helicoidales angulares: Cada uno de ellos tienen dientes helicoidales con hélice hacia la derecha y hacia la izquierda, y operan sobre ejes paralelos. Estos engranajes también se conocen como de espinas de pescado.

Engranajes con hélices cruzadas: Estos engranajes operan sobre ejes cruzados y pueden tener dientes con el mismo sentido o con sentido opuesto. El término de engranajes de hélices cruzadas ha reemplazado el antiguo de engranaje en espiral.

Engranajes de tornillo sin fin: Es el engranaje que se acopla a un tornillo sin fin. Se dice que un engranaje de un tornillo sin fin que se acopla a un tornillo de este tipo cilíndrico es de una sola envoltura.

Engranajes con tornillo sin fin cilíndrico: Es una forma de engranaje helicoidal que se acopla a un engranaje de tornillo sin fin.

Engranajes de tornillo sin fin de doble envoltura: Este comprende tornillos albardillados sin fin, acoplado a un engranaje de tornillo sin fin.

Engranajes cónicos: Tienen forma cónica y operan sobre ejes que se interceptan y forman por lo común ángulos rectos.

Engranajes cónicos rectos: Estos engranajes tienen elementos rectos de los dientes los cuales si se prolongaran, pasarían por el punto de intersección de los ejes.

Engranajes cónico helicoidales: Tienen dientes curvos y oblicuos.

Engranajes hipoides: Semejantes, en su forma general, a los engranajes cónicos. Los engranajes hipoides operan sobre ejes que no se interceptan.

Ventajas

Las transmisiones de engranajes encerrados vendidas por los fabricantes ofrecen varias ventajas sobre los dispositivos abiertos de transmisión de potencia:

- Seguridad, protección contra las partes móviles.
- Retención del lubricante.
- Protección contra el medio ambiente.
- Economía de la fabricación en cantidades grandes.

Tipos y características

Las transmisiones de engranajes encerrados se clasifican generalmente por el tipo principal de engranaje utilizado. Pueden tener un solo juego de engranajes, o bien engranajes adicionales del mismo tipo, o de tipos diferentes, para formar reducciones múltiples.

Montaje

Las transmisiones basándose en engranajes pueden diseñarse para su montaje en una base, en bridas o en el árbol. En el último tipo se utiliza un eje de salida hueco para el montaje directo sobre el árbol impulsor. Se necesita un brazo de reacción, o un dispositivo similar, para asegurar que la unidad no gire.

Motores con engranaje reductor

Un motor de este tipo es una unidad motriz integral que incorpora un motor eléctrico y un reductor a base de engranajes, de manera que el armazón de uno soporte el del otro, algunos diseños utilizan motores con extremos especiales en los árboles y montaje, o bien sólo éstos, en tanto que otros se adaptan a los motores standard.

Velocidad normal comparada con las altas velocidades

Las normas AGMA para transmisiones de engranajes enconados que se utilizan para el servicio industrial en general, limitan la velocidad de entrada a 3600 rpm. Se impone una limitación adicional: 5000 pie/min como velocidad de la línea de paso en las unidades con engranajes helicoidales y cónicos, y una velocidad de deslizamiento de 6000 pie/min para los engranajes cilíndricos de tomillo sin fin. Por encima de estos límites deben considerarse con especial cuidado aspectos como la calidad del engranaje, la lubricación, el enfriamiento, los cojinetes, etc.

Instalación

La gran variedad de tipos y tamaños de los engranajes y de las transmisiones a base de engranajes hace impráctico indicar la instalación y mantenimiento con detalles específicos. El usuario debe consultar los folletos publicados por el fabricante y observar con cuidado los datos que se dan en la placa de identificación y en los marbetes. Esa información tiene prioridad sobre los comentarios generalizados que siguen:

- Instalación y puesta en marcha de las transmisiones de engranajes encerrados
- El manejo, instalación y servicio de una transmisión encerrada nueva a base de engranaje merecen atención especial para evitar daños y asegurar la operación necesaria.

Para un buen funcionamiento de las unidades de reducción es indispensable tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Las unidades deben montarse sobre bases firmes para eliminar vibraciones y desalineamientos en los ejes.
- Si la transmisión de la unidad a la máquina es por acople directo entre ejes, es indispensable garantizar una perfecta alineación y centrado. Si la transmisión se hace por cadenas o correas, la tensión dada a estos elementos debe ser recomendada por el fabricante, previas una alineación entre los piñones o [poleas](#).
- Las unidades de acoplamiento deben montarse cuidadosamente sobre los ejes para no dañar los rodamientos y lo más cercanas a la carcasa para evitar cargas de flexión sobre los ejes.
- Antes de poner en marcha los Motorreductores, es necesario verificar que la conexión del motor sea la adecuada para la tensión de la [red](#) eléctrica.

Mantenimiento

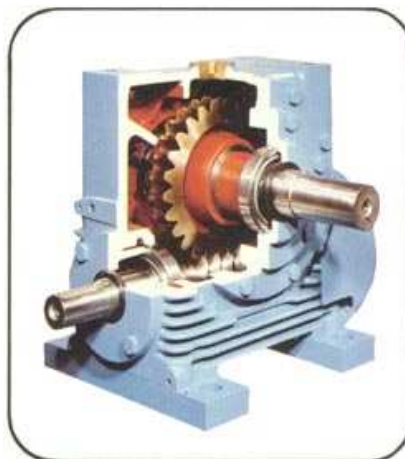
Los engranajes, casquillos y rodamientos de los reductores y motorreductores están lubricados habitualmente por inmersión o impregnados en la grasa lubricante alojada en la carcasa principal. Por lo tanto, el Mantenimiento pasa por revisar el nivel de aceite antes de la puesta en marcha. La carcasa tendrá visibles los tapones de llenado, nivel y drenaje del lubricante, que deben estar bien sellados. Debe mantenerse especialmente limpio el orificio de ventilación; también debe respetarse el tipo de lubricante recomendado por el fabricante, que suele ser el más adecuado a su velocidad, potencia y materiales constructivos.

Según el tipo del reductor, se suele recomendar una puesta en marcha progresiva, en cuanto a la carga de trabajo, con unas 50 horas hasta llegar al 100%. Asimismo, es muy recomendable el sustituir el aceite la primera vez tras 200 horas de trabajo, pudiendo incluso el decidir en ese momento un "lavado" del Reductor. A partir de ese momento, los cambios del lubricante deberán hacerse SIEMPRE de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, siendo plazos habituales cambios cada 2.000 horas de trabajo.

En caso de disponer de Reductores de repuesto, estos deben permanecer completamente llenos del lubricante recomendado, para prevenir la oxidación de los elementos internos, así como protegidos los acoplamientos. Es importante "marcar" en el mismo Reductor la necesidad de vaciar el lubricante sobrante ANTES de ser puesto en servicio.

Para finalizar, reiterar que los consejos aquí dados son solo recomendaciones GENERALES, y que siempre que sea posible y conocidas, deben atenderse las recomendaciones específicas del Fabricante para el modelo en cuestión.





Lubricación de las transmisiones de engranajes encerrados

La lubricación inapropiada es una de las causas principales de falla en las transmisiones a base de engranajes, deben seguirse las instrucciones del fabricante de los engranajes para asegurar la operación apropiada. La unidad de engrane debe drenarse y limpiarse con un aceite lavador, después de transcurridos 4 semanas de operación inicial. Para volver a llenarla puede utilizarse el lubricante original filtrado, o bien un lubricante nuevo. Para operación normal los cambios de aceite

deben hacerse después de cada 2500 horas de servicio. Deben llevarse a cabo verificaciones periódicas de los niveles del aceite, aceiteras y accesorios para grasa. Si se está utilizando lubricación a presión, debe vigilarse con frecuencia el funcionamiento apropiado de la bomba, del filtro y del enfriador.

Localización de fallas

La observación constante de los fallos que se presenten en las características de operación, como la elevación exagerada de la temperatura por encima del ambiente, ruido y vibración, y fuga de aceite, puede evitar paralizaciones costosas.

Lista de problemas

Calentamiento, falla del árbol, falla de los cojinetes, fuga de aceite, desgaste, ruido y vibración.

Aplicación de los engranajes y de las transmisiones de engranajes enconados

Capacidades nominales de los engranajes

La AGMA ha desarrollado fórmulas para calcular estas capacidades en relación con la mayor parte de los tipos de engranajes y transmisiones de engranajes encerrados. Las capacidades nominales determinadas a partir de estas fórmulas están encaminadas a aplicaciones en las que se obtengan cargas de naturaleza uniforme por no más de 10 h/día, y son las que normalmente se cita en los catálogos de los fabricantes.

Clasificación de las aplicaciones

La mayor parte de las normas AGMA para las transmisiones de engranajes encerrados suministran tablas para diversas aplicaciones, como una guía para seleccionar los factores de servicio. Generalmente, esta información también está contenida en los catálogos de los fabricantes.

Selección del producto

Una vez que se ha determinado la potencia equivalente, se puede hacer la selección del engranaje o de la transmisión de los engranajes encerrados, y comparar este valor con la capacidad nominal básica. Es necesario que el producto seleccionado tenga una capacidad nominal de carga igual al número de caballos de potencia equivalentes, o tal vez mayor. Por lo común se debe también verificar la capacidad térmica nominal de la transmisión de engranaje encerrado. Esta es la potencia que se puede transmitir de manera continua, durante 3 horas o más, sin causar una temperatura de más de 38 °C por encima de la de ambiente..

Sonido y vibración

El interés principal referente al sonido y a la vibración de las transmisiones de engranaje es la contribución al nivel del ruido industrial. Un segundo interés es que pueden ser el síntoma de un desgaste anormal y una falta inminente

Selección de un reductor de velocidad

Datos necesarios:

Para escoger correctamente el reductor más adecuado a sus necesidades es necesario conocer la potencia a transmitir, las rotaciones por minuto de los ejes de entrada y de salida del reductor, el tipo de máquina a ser operada y el ciclo operativo de la máquina.

Factor de servicio (F.S.)

Los reductores son calculados a para un factor de servicio igual a 1; es decir, con un funcionamiento libre de choques y un tiempo de funcionamiento de 8 horas a temperatura de ambiente de 30°C El factor de servicio F.S, cuantifica la influencia de las condiciones externas sobre el funcionamiento del reductor. En primera instancia, F.S. depende del tipo de servicio de la máquina a ser accionada. En la tabla 1 se indican los diferentes tipos de carga, U (uniforme), M (moderada) y P (pesada) para las aplicaciones más comunes. Localizado el tipo de carga, con el tipo de motor y el número de horas/día de funcionamiento, se determina el F.S. correspondiente

en la tabla 2.

	HORAS/ DIA	TIPO DE CARGA				
				UNIFORME	MEDIA	CON CHOQUES
TIPO DE MOTOR QUE ACCIONA EL REDUCTOR	MOTOR ELECTRICO (ENTRADA CONSTANTE)	2	0.9	1.1	1.5	
		10	1.0	1.25	1.75	
		24	1.25	1.50	2.00	
	MOTOR DE COMBUSTION DE VARIOS CILINDROS (MEDIANAMENTE IMPULSIVA)	2	1.0	1.35	1.75	
		10	1.25	1.50	2.00	
		24	1.50	1.75	2.50	

Determinación de la potencia nominal

La determinación de la potencia nominal se efectúa multiplicando la potencia que efectivamente absorbe la máquina por el factor de servicio F.S., $Pot. Nom. = Pot. Efect. \times F.S.$

Escoger el reductor

Dividiendo los rpm del eje de entrada (n_1) por los rpm del eje de salida (n_2) se obtiene la reducción (1) necesaria del reductor. Con la reducción (1) y la potencia nominal (P_n) se determina el reductor necesario de las tablas I, II, y III. Es importante que la potencia de la tabla sea mayor o igual que la potencia nominal necesaria obtenida de la fórmula

Ejemplo de aplicación

Se desea accionar un elevador de carga, la velocidad del eje movido debe ser de 35 rpm y la

velocidad del eje motor es de 1750 rpm, el eje debe transmitir una potencia igual a 20 CV. La máquina debe trabajar 12 horas/día. El eje motor será accionado con un motor eléctrico:

a) De la tabla 1, determinamos que, para un elevador de carga el tipo de carga es de choques moderados

b) De la tabla 2, determinamos que, para una carga moderada y con la máquina trabajando 15 h/día con un motor eléctrico, el F.S. correspondiente es 1,50

c) La potencia nominal (P_n) será: $P_n = P_{efx} FS = 20 \times 1,50 = 30$ CV. La reducción necesaria será:
 $i = 1750/35 = 50$

d) De la tabla de las capacidades de los reductores, elegimos el reductor Tipo H-323, que transmite hasta 33CV, a las condiciones de trabajo requeridas para accionar el elevador

ESPECIFICACIONES GENERALES PARA MOTORREDUCTORES

Sinfín-corona

La carcasa y las tapas del Reductor son de fundición de **hierro** de grano fino, distencionadas y normalizadas.

El sinfín fabrica de **acero** aleado, cementado y rectificado, y está apoyado con dos (2) rodamientos cónicos y uno (1) de rodillos cilíndricos.

La corona se fabrica de bronce de bajo coeficiente de fricción está embutida atornillada a un núcleo de fundición de hierro. La corona está generada con fresas especiales que garantizan exactitud en el engranaje.

El eje de salida es fabricado en acero al **carbono**, resistente a la torsión y trabaja apoyado en dos (2) rodamientos de bolas.

La **refrigeración** del equipo se realiza por **radiación**. La temperatura externa no puede sobrepasar los 70 grados centígrados.

Instalacion y acoplamiento

Los aditamentos deben montarse cuidadosamente sobre los ejes para evitar daños en los cojinetes (no deben golpearse al entrar en los ejes).

El reductor debe mantenerse rígidamente sobre las bases para evitar vibraciones que puedan afectar la alineación de los ejes.

Lubricación

El reductor lleva tapones de llenado y ventilación, nivel y vaciado. En la placa de identificación del reductor se encuentra el tipo de aceite apropiado. MOBIL GEAR 629.

El aceite a usar debe tener las siguientes características:

- Gravedad Específica 0.903
- Viscosidad SSU A 100 grados F 710/790
- Viscosidad CST A 40 grados C 135/150
- Clasificación ISO V G 150

El aceite a usar debe contener aditivos de extrema presión del tipo azufre-fósforo, los cuales le dan características antidesgaste de reducción a la fricción, disminuyendo así la elevación de temperatura en los engranajes. Adicionalmente aditivos contra la formación de herrumbre y la **corrosión**, así como agentes especiales para aumentar la estabilidad a la oxidación y **resistencia** a la formación de espuma.

Bajo condiciones extremas de temperatura o humedad deben emplearse aceites adecuados.

Rodaje inicial

Los reductores se suministran sin aceite y deben llenarse hasta el nivel indicado antes de ponerlos en marcha. Todos los reductores se someten a un corto período de prueba antes de enviarse al **cliente**, pero son necesarias varias horas de funcionamiento a plena carga antes de que el reductor alcance su máxima eficiencia. Si las condiciones lo permiten, para tener una mayor vida de la unidad, debe incrementarse la carga progresivamente hasta alcanzar la máxima, después de unas 30 a 50 horas de trabajo.

La temperatura en los momentos iniciales de funcionamiento es mayor de la normal hasta lograr el ajuste interno adecuado.

Mantenimiento

El nivel del aceite debe comprobarse regularmente, mínimo una vez al mes; el agujero de ventilación debe mantenerse siempre limpio. En el reductor nuevo después de las 200 horas iniciales de funcionamiento debe cambiarse el aceite realizando un lavado con ACPM; los posteriores cambios se harán entre las 1500 y 2000 horas de trabajo.

Almacenamiento

Para **almacenamiento** indefinido debe llenarse totalmente de aceite la unidad, garantizándose la completa inmersión de todas las partes internas.

Ajustes y tolerancias

Todas las máquinas, desde la mas complicada consta de un gran número de piezas, a la más sencilla formada solo por dos piezas, están siempre compuestas de pieza mecánicas, unidas entre sí, de modo que es posible el **movimiento** de una pieza con respecto a la que esta unida (ajuste móvil), o bien que sea imposible dicho movimiento (ajuste fijo).

Entre los diferentes tipos de ajuste con que puede unirse dos piezas, el más sencillo y el más extendido es el **eje - agujero**, en el que un eje cilíndrico se ajusta a un agujero también cilíndrico. Los ejes siempre se designan con letra minúscula y los agujeros con letra mayúscula.

Tolerancia

Es la inexactitud admisible de fabricación y la diferencia entre el **valor** máximo y el valor mínimo concedido para una determinada dimensión.

$T = \text{Tolerancia}$ D. MAX. = Diámetro máximo D = Diámetro mínimo

Holgura

Es la diferencia entre el diámetro efectivo del agujero y el efectivo del eje, cuando el primero es mayor que el segundo.

Interferencia u holgura negativa

Es la diferencia entre el diámetro efectivo del agujero y el efectivo del eje, cuando al ensamblar dos piezas el diámetro del agujero es menor que el del eje.

Tolerancia unilateral y bilateral

Cuando la total tolerancia referida al diámetro básico es en una sola **dirección** de la línea cero, se llama unilateral.

Ejemplo: Diámetro igual $100 - 0.050$ o $100 + 0.050$

Es bilateral cuando es dividida en partes más o menos de la línea cero.

Ejemplo: 100 ± 0.0025

Ajuste agujero unico: Este es común para todos los ajustes de igual **calidad**.

Los ejes se tornearan mayores o menores que el agujero para obtener la holgura o el apriete deseado.

Eje unico: Este es común para todos los ajustes de igual calidad. Los agujeros se tornearan mayores o menores que el eje para obtener la holgura o apriete deseado.

Temperatura de referencia 20 C.

Calidad de la fabricación

La fabricación es tanto más exacta cuanto más pequeña es la tolerancia relativa. Al planearse una fabricación, lo primero, pues que ha de hacerse es determinar **la calidad de la fabricación**, o sea, la amplitud de las tolerancias de las piezas que se han de ajustar entre sí, basándose en la función específica de cada acoplamiento. Es evidente que para una buena y racional **organización** de la **producción**, la selección de las calidades posibles de fabricación, o sea, la amplitud de las tolerancias, no puede ser arbitraria, sino contenida en unas **normas** precisas y adoptadas por toda la industria **mecánica**, constituyendo un **Sistema de Tolerancias**.

El **sistema ISA** distingue **16** diferentes calidades de fabricación, indicadas con los símbolos **IT1, IT2, IT3**, etc., que corresponden escalonadamente desde las calidades

Mas finas hasta las más bastas.

Para la fabricación mecánica de piezas acopladas solo se usan las calidades del 5 al 11; los números del 1 al 4 se reservan para fabricaciones especiales de altísima

Precisión (calibres mármoles de comprobación, etc.); los números del 12 al 16, en **cambio** solo se usan para la fabricación basta de piezas sueltas.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD.

- Cada semana.
- Revisar el nivel de aceite del reductor, y si es necesario reponerlo.
- Revisar si existen posibles fugas de aceite.
 - Cada 3 meses.
- Revisar la alineación del grupo motor-reductor.
- Escuchar con un estetoscopio mecánico los ruidos del rodamiento y de los engranes.
 - Cada año.
- Revisión general del reductor.
- Revisar los conos.
- Revisar tazas(de preferencia cambiarlas).
- Revisar engranes y piñones.
- Revisar el apriete del cono sobre la flecha.
- Ajustar las flechas del reductor.
- Revisar la bomba de aceite y sus conductos.

DESENSAMBLE DE UN REDUCTOR.

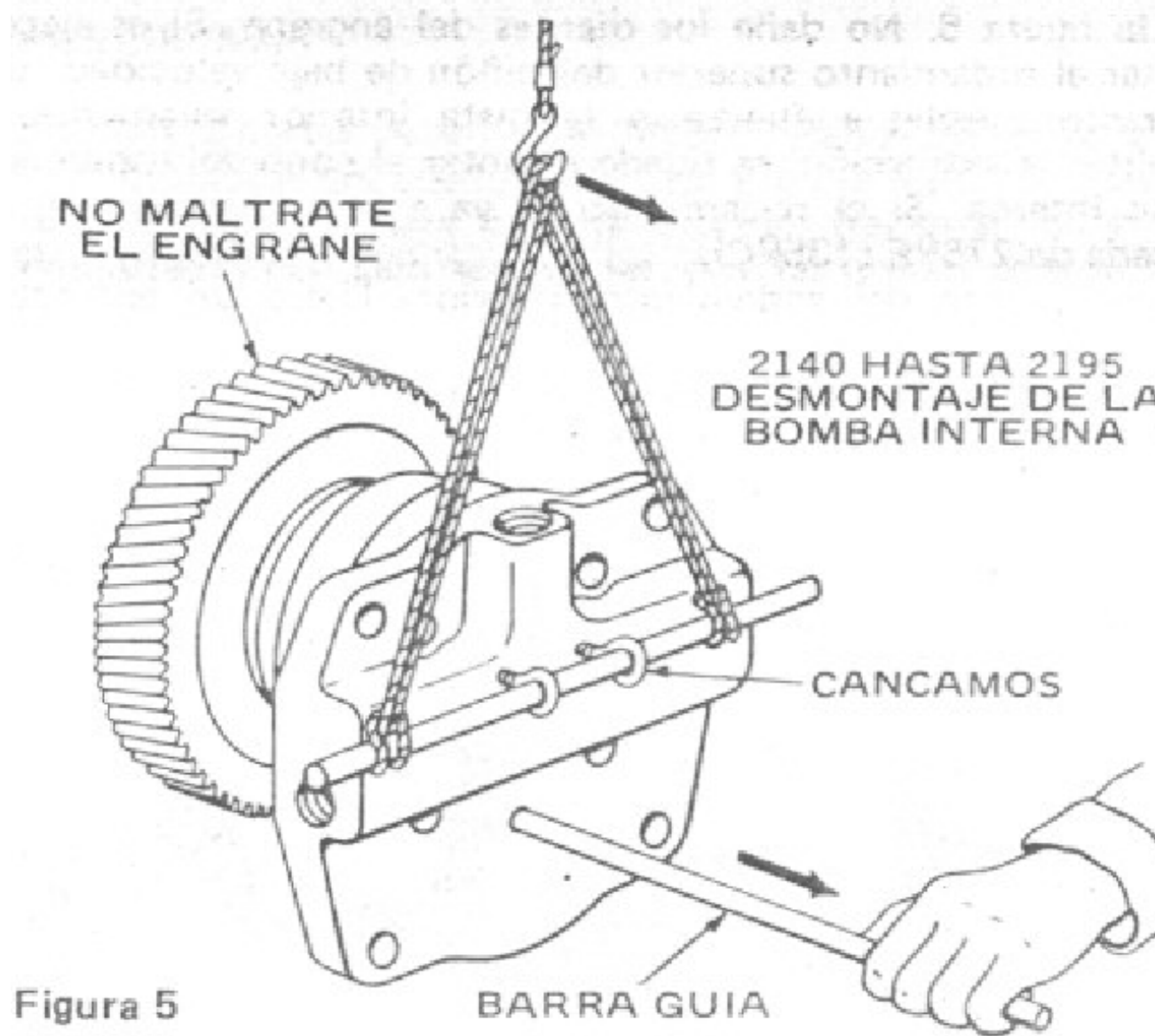
DESMONTAJE DE LA BOMBA DE ACEITE INTERNA.

A. Drene el aceite y quite la tubería externa.

B. Para reductores tamaños de 2100 al 2135- Afloje los tornillos que mantienen unidas a la bomba y al cabezal de alta velocidad y jale la bomba para quitarla. Quite los tornillos y saque cuidadosamente la bomba del cabezal de alta velocidad. No dañe los dientes del engrane impulsor de la bomba de aceite.

C. Para reductores tamaños del 2140 al 2195 - Afloje los tornillos que mantienen unidas a la bomba y al cabezal de alta velocidad y jale la bomba para quitarla. Instale dos cáncamos y coloque una varilla y

un estrobo como se ilustra en la figura. Saque cuidadosamente la bomba del cabezal de alta velocidad. No dañe los dientes del engrane de la bomba de aceite.



DESMONTAJE DEL CABEZAL DE ALTA VELOCIDAD.

A. Unidades con bombas internas tamaños del 2100 al 2155 - Se recomienda que las bombas se quiten del cabezal de alta velocidad antes que éste sea removido del reductor. Esto es para eliminar la posibilidad de daño al engrane impulsor de la bomba de aceite durante la remoción del cabezal de alta velocidad. Refiérase al 1er paso para el desmontaje de la bomba.

B. Levante el cabezal de alta velocidad:

Tamaños 2070 al 2155 - Quite los dos tornillos superiores del cabezal de alta velocidad e inserte cáncamos. Ponga un estrobo y conéctelo a los cáncamos y quite los demás tornillos que mantienen unidos al cabezal y a la caja. Coloque un tubo en la flecha de alta velocidad para estabilizar al cabezal durante su desmontaje de la caja.

Para tamaños del 2160 al 2195 - Coloque el estrobo en los barrenos de levantamiento del cabezal y remueva los tornillos que mantienen unidos al cabezal y a la caja del reductor.

C. Coloque dos tornillos en los barrenos roscados del cabezal de alta velocidad. Apriete los tornillos hasta que éste se libere.

D. Levante el cabezal de alta velocidad y colóquelo sobre bloques de madera con la extensión de la flecha de alta velocidad hacia arriba.

PRECAUCION: Los cabezales de alta velocidad de las unidades tamaños 2070 y 2080 deben bajarse aproximadamente 6" después de que se hayan desconectado de los pernos de anclaje para que puedan liberar el disco impulsor de aceite cuando se quiten de la caja del reductor.

E. Ate todas las lanas al cabezal de alta velocidad para que se tengan a mano para ser usadas como referencia cuando se ensamble el reductor.

DESENSAMBLE DEL CABEZAL DE ALTA VELOCIDAD - DOBLE Y TRIPLE REDUCCIÓN CON RELACIÓN DE REDUCCIÓN DE 1.84:1 O 2.76:1 Y PIÑONES CÓNICO ESPIRALES BARRENADOS.

A. Desmóntese la bomba de aceite interna Falk, (si la hay) si no se ha quitado.

Refiérase al 1er paso para el desmontaje de la bomba de aceite interna.

B. Proteja los labios del sello de aceite de acuerdo al paso 11; quite la caja de sello con el sello de aceite.

C. Desmunte el receptor de aceite del piñón cónico espiral en las unidades de triple reducción.

D. Coloque el cabezal de alta velocidad en una prensa con el piñón cónico espiral hacia arriba. Provéase de un soporte bajo la pared interna del cabezal de alta velocidad.

E. Envuelva la extensión de la flecha de alta velocidad y el cuñero con una lana para evitar dañar la flecha. Sujétese la flecha con una llave mientras se quita la tuerca de seguridad del piñón cónico espiral.

F. Caliente el piñón cónico espiral no más de 275°F ; saque la flecha del cabezal, el piñón cónico espiral y el piñón motriz de la bomba de aceite o el disco impulsor de aceite.

G. Remueva las tazas de los rodamientos del cabezal de alta velocidad.

H. Remueva los conos de los rodamientos exteriores, refiérase al paso 12.

DESENSAMBLE DEL CABEZAL DE ALTA VELOCIDAD - DOBLE Y TRIPLE REDUCCIÓN CON RELACIÓN DE REDUCCIÓN DE 4.071: 1 Y FLECHA PIÑÓN.

A. Proteja los labios del sello de aceite como se indica en el paso 11; quite la caja de sello con el sello de aceite.

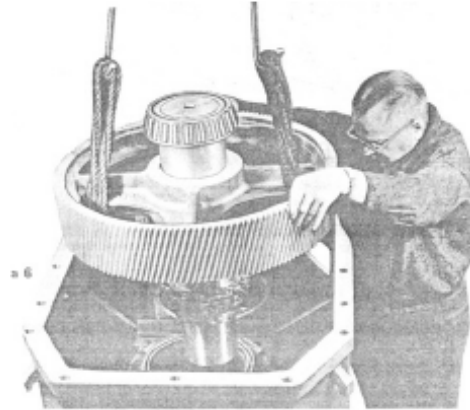
- B. Quite el receptor de aceite del piñón cónico espiral en las unidades de triple reducción.
- C. Coloque el cabezal de alta velocidad en una prensa con el piñón cónico espiral hacia abajo. Provéase de un apoyo bajo la pared externa del cabezal de alta velocidad.
- D. Quite la cuña de la extensión de la flecha, la tuerca de seguridad del rodamiento y la arandela de seguridad.
- E. Presione con la prensa el extremo de la flecha de alta velocidad para liberar del cabezal de alta velocidad a la flecha piñón de alta velocidad, el piñón impulsor de la bomba de aceite o el disco impulsor de aceite y los rodamientos exteriores.
- F. Quite las tazas de los rodamientos del cabezal de alta velocidad.
- G. Quite los rodamientos internos de la flecha piñón de alta velocidad, refiérase al paso 12.

Desmontaje de la cubierta.

- A. Quite la caja porta sello (extensión de B.V. hacia arriba solamente) de la flecha de B. V. la cual está sostenida con un juego de tornillos.
- B. Proteja los labios del sello de la flecha de B.V. como se indica en el paso 11 cuando la extensión de la flecha de B.V. sea hacia arriba.
- C. Quitense los tornillos que sostienen los tapones ciegos y las cajas de sello a la cubierta e inserte cáncamos donde sea necesario. Coloque una varilla y un estrobo para levantar la cubierta. Ate con un alambre todas las lanas a sus partes adyacentes.
- D. Apriétense las tuercas de los pernos guía cónico y saquense. Quite los tornillos de la cubierta de la caja e inserte los cancamos.
- E. Levante la cubierta lentamente en sentido vertical y golpee las 4 tazas de los rodamientos superiores para aflojadas de los barrenos de la cubierta. Después de asegurar las tazas del rodamiento, quite la cubierta completamente de la caja.

DESMONTAJE DE LA FLECHA DE BAJA VELOCIDAD.

- A. En los reductores con la extensión de la flecha de baja velocidad hacia abajo, proteja el sello de aceite de la misma de acuerdo al paso 11. Quite la caja de sello de aceite.
- B. Levante el ensamble de la flecha de baja velocidad como se ilustra en la siguiente figura. No dañe los dientes del engrane. Si es necesario quitar el rodamiento superior del piñón de baja velocidad, use un extractor. Aplique fuerza a la pista interior solamente. Para facilitar la extracción, se puede calentar el cono del rodamiento o pista interna. Si el rodamiento se va a usar nuevamente, no se exceda de 275°F.
- C. Quite la taza del rodamiento inferior. Usese un extractor de rodamientos para quitar la pista exterior del rodamiento en los reductores estándar tamaños 2070 y 2080 con la extensión de la flecha de baja velocidad hacia arriba.



DESMONTAJE DE LA FLECHA INTERMEDIA.

A. UNIDADES DE DOBLE REDUCCION - Instale dos cáncamos en el extremo de la primera flecha intermedia y levante el ensamble de la caja.

B. UNIDADES DE TRIPLE REDUCCION - Instale dos cáncamos en el extremo de la primera flecha intermedia y de la flecha piñón de baja velocidad. Para prevenir daño a los dientes de los engranes, levante ambas flechas de la caja a la vez. Refiérase a la figura siguiente.



Tenga cuidado para evitar dañar los dientes de los engranes. Los reductores tamaños 2070 y 2080 no cuentan con barrenos para cáncamos en la primera flecha intermedia - levante manualmente mientras levanta la segunda flecha intermedia con el malacate.

C. Quite los tapones ciegos inferiores, espaciado res de rodamientos, laines y las tazas de los rodamientos. Ate las laines a sus respectivas partes para referencias futuras.

LIMPIEZA, INSPECCION Y CAMBIO DE PIEZAS.

Limpieza de la caja(base y tapa y accesorios de la tapa.

A. Quite el sellador seco de la unión de la caja y la tapa. Quite el material del empaque de las otras superficies.

B. Limpie los conductos de aceite y la bomba (si la tiene), con petróleo o algún solvente y luego séquese. Lubrique la bomba con aceite limpio.

Respiradero - tamaños 2090 al 2195.

A. Lávese con petróleo o algún solvente y séquese el elemento del filtro.

B. Cuando se instale el respiradero, séllese la rosca con algún sellador que no se endurezca como permatex o equivalente.

Respiradero - tamaños 2070 y 2080.

A. Estos reductores vienen equipados con una bayoneta y tapón de respiración.

Reemplazo de sellos de aceite.

A. Quite los sellos de aceite viejos y remueva toda partícula de sellador adherida que puedan tener los barrenos de la caja de sello. Todavía no reemplace los sellos.

AVISO: Los sellos de aceite nuevos tendrán fugas si los labios del sello se cortan o si la superficie de rozamiento sobre la flecha ha sido alterada. Proteja los labios del sello de aceite todo el tiempo. Limpie la flecha pero NO USE material abrasivo en la superficie pulida para el sello.

Rodamientos.

A. Lávense todos los rodamientos con petróleo o con algún solvente limpio y séquense. No se deben hacer girar una vez lavados pues se pueden dañar debido a la falta de lubricación.

B. Revisense cuidadosamente y reemplácense los que están dañados o que se consideren en mal estado.

C. Usese un extractor para sacar los rodamientos. La fuerza se debe aplicar únicamente a la pista interior, nunca a la exterior. Para facilitar el desensamble puede aplicarse calor al cono del rodamiento. Si el rodamiento va a ser utilizado nuevamente, la temperatura no deberá exceder de 275°F.

D. Para reemplazar los rodamientos, caliéntense en un baño de aceite o en un horno a una temperatura máxima de 275°F y después deslícense o presiónense sobre las flechas ajustando contra el hombro de la flecha. Cuando se calienten los rodamientos no debe aplicarse la flama directamente o colocarlos en el fondo del recipiente.

E. Lubriquense completamente en aceite.

AVISO: El rodamiento interno de la flecha de alta velocidad es de doble hilera de rodillos cónicos con un espaciador y está construido con especificaciones de tolerancias muy estrechas y debe de ser repuesto como una sola pieza. Los componentes de estos rodamientos no son intercambiables.

Reemplazo de engranes y piñones helicoidales.

A. Lave los piñones y engranes helicoidales en petróleo limpio o cualquier otro solvente e inspecciónelos para ver si los dientes no están dañados. Reemplace la flecha y el piñón como una sola pieza si cualquiera de ellos muestra señales de daño o de desgaste excesivo.

B. Ensamble los engranes con barreno cilíndrico en la flecha del lado del chaflán. Caliente los engranes en un baño de aceite o en un horno a un máximo de 375°F y deslícelos o presiónelos fuertemente contra el hombro de la flecha y revise con hojas calibradoras para asegurarse que no hay huelgo.

Reemplazo de piñón y engrane cónico espirales.

PRECAUCION: LOS PIÑONES Y ENGRANES CONICO ESPIRALES ESTAN LAPEADOS EN JUEGOS Y DEBEN SER REEMPLAZADOS COMO JUEGOS.

A. Lave el piñón y el engrane cónico espiral en petróleo limpio o algún otro solvente y séquelos. Inspecciónelos cuidadosamente y reemplácelos como un juego si se encuentran dañados los dientes.

B. Anote la distancia de montaje (MD) y el juego entre dientes del engrane (BL) grabada en el diámetro externo del engrane cónico espiral así como el número de serie (No.). El número de serie aparece también en la cara frontal del piñón cónico espiral.

C. Cuando reemplace engranes cónico espirales, el número de serie que aparece en el piñón y en el engrane debe ser el mismo.

D. Para desensamblar el piñón cónico espiral, refiérase a los pasos 3 y 4.

Engranes cónico espirales con mamelon .

A. Caliente el engrane cónico espiral a un máximo de 275°F y deslícelo o presiónelo fuertemente contra el hombro de la flecha. No use ningún tipo de lubricante para ensamblarlo.

Engranes cónico espirales sin mamelon (con brida).

A. Este tipo de engrane cónico espiral se atornilla en su brida. Esta conexión es de extrema importancia y deberán seguirse las especificaciones de apriete fielmente.

B. Reemplace las arandelas de seguridad usadas por nuevas. Apriete los tornillos según las especificaciones que se indican en la tabla siguiente. Doble las arandelas de seguridad en su lugar.

Tabla 1. Par de apriete para los tornillos de los engranes cónico espirales.

DIAM TORNILLO	5/8	3/4	7/8	1	1/8	1 ¼
PAR, LB- PULG	1500	2700	4300	6400	9100	12900

El par indicado es para tornillos lubricados con aceite mineral SAE 20 o más pesado.

ENSAMBLE DEL REDUCTOR.

Preliminar.

A. Todas las partes deben estar limpias.' Ponga particular atención a los conductos del aceite de la caja y de la tapa principal para ver que no haya ninguna materia extraña. Revise si todas las partes desgastadas han sido sustituidas, que las tuercas de seguridad y los tornillos hayan sido apretados

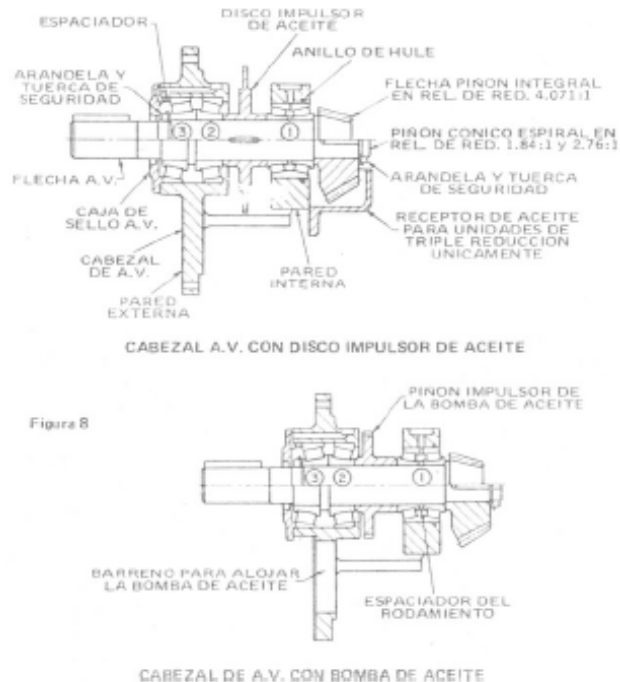
según especificaciones y que los engranes y rodamientos hayan sido lubricados con una capa de aceite. Reemplace todas las arandelas de seguridad y de presión durante el ensamble.

Lainas.

A. Reemplace las lainas usadas por nuevas. Hay lainas disponibles en la fábrica en espesores de .007", .009", .015" Y .031".

B. Coloque siempre las lainas de .015" ó .031" inmediatamente después de la caja del reductor para un mejor sellado. También use una lina de .031" para sellar el barreno sin uso en las unidades de doble reducción.

AVISO: Proteja los labios de los sellos de aceite y de los filos del cuñero envolviendo la flecha con papel delgado y resistente ,impregnado en grasa antes de colocar los sellos en su lugar. No se abran los labios de los sellos más de su diámetro original.



AVISO: Si el rodamiento interno de la flecha de alta velocidad de doble hilera de rodillos cónicos con espaciador se reemplaza, se debe reponer como una unidad completa. Vea el aviso del paso 12.

Piñones cónicos barrenados - Relación de reducción 1.84:1 y 2.76:1, reductores tamaños 2070 al 2155 y 2180.85YBX3.

A. Monte los conos de los rodamientos No. 2 y No. 3 en la flecha como se ilustra en la figura anterior.

B. Instale la taza del rodamiento No. 2 en el cabezal de alta velocidad.

C. Coloque el disco impulsor de aceite o el piñón impulsor de la bomba de aceite. Caliente el disco impulsor de aceite (o el piñón impulsor de la bomba de aceite) a una temperatura de 350°F a 375°F ,

inserte el disco impulsor de aceite o piñón impulsor de la bomba en el cabezal de alta velocidad y empuje la flecha de alta velocidad a través del barreno del disco impulsor o piñón. Revise con hojas calibradoras que no haya luz entre el disco impulsor o piñón de la bomba y la pista interna del rodamiento No. 2.

D. Para reductores tamaños 2090YBX2 (relación de reducción del tren de alta velocidad de 1.84:1), 2140 y 2145YBX3, instale el espaciador del disco impulsor (piñón impulsor de la bomba de aceite) en la flecha antes de instalar el disco impulsor o el piñón impulsor de la bomba de aceite.

E. Instale el anillo de hule engrasado en la ranura del barreno del rodamiento

No. 1. Este anillo previene la rotación de la taza del mismo. F. Monte uno de los conos del rodamiento No.1 y el espaciador del mismo sobre la flecha. Instale la taza del rodamiento No.1 seguida del segundo cono de éste. En los tamaños 2090YBX2 (relación de reducción del tren de alta velocidad 2.73:1), 2140 al 2155YBX2, instale el espaciador de la flecha antes de instalar el rodamiento No.1.

G. Coloque el cabezal de alta velocidad con el extremo de la caja de sello hacia arriba. Inserte la taza del rodamiento No. 3.

H. Monte la caja de sello sin el sello de aceite. Apriete en cruz los tornillos hasta que comiencen a trabarse los rodamientos cuando gire la flecha (cero juego axial). El ajuste final se hará una vez que se haya instalado el cabezal de alta velocidad en el reductor.

J. Caliente el piñón cónico espiral, en un horno o en un baño de aceite a una temperatura de 275°F.

AVISO: El piñón puede distorsionarse si se le aplica la flama directamente o si se coloca en el fondo del recipiente donde se caliente.

K. Instale la cuña del piñón cónico espiral. Monte el piñón cónico espiral sobre la flecha. Apriete la tuerca de seguridad del piñón cónico espiral y doble la arandela de seguridad,

Piñones cónicos espirales barrenados - Relación de reducción 1.84:1 y 2:76:1, tamaños 2160 al 2195 excepto 2180-85YBX3.

A. Monte los conos de los rodamientos No. 2 y No. 3 sobre la flecha como se ilustra en la figura anterior.

B. Instale la taza del rodamiento No. 2 sobre el cono del mismo.

C. Instale la cuña del piñón impulsor de la bomba de aceite. Caliente el piñón impulsor de la bomba a una temperatura de 350°F a 375°F y ensámblelo a la flecha. Asíntelo fuertemente en contra del hombro del rodamiento y revise con hojas calibradoras para ver que no haya luz. Para los reductores tamaños 2190-95YBX2, instale el espaciador del piñón impulsor de la bomba antes de instalar el piñón.

D. Monte el espaciador entre el piñón impulsor de la bomba y el rodamiento No. 1 si se requiere.

E. Instale el rodamiento interior No. 1 sobre la flecha y ensámblela al cabezal de alta velocidad.

F. Monte la caja de sello de aceite y el piñón cónico espiral de acuerdo a los pasos 20G al 20K.

Flecha piñón integral - Relación de reducción 4.071: 1, tamaños 2070 al 2155 y 2180-85YBX3.

A. Monte el rodamiento interior de doble hilera de rodillos cónicos No. 1 en la flecha piñón.

B. Instale el anillo de hule engrasado en la ranura del barreno del rodamiento No. 1. Este anillo previene la rotación de la taza del mismo.

C. Instale el disco impulsor de aceite o la cuña del piñón impulsor de la bomba. Caliente el disco impulsor de aceite (o el piñón impulsor de la bomba de aceite) a una temperatura de 350°F a 375°F. Inserte la flecha piñón integral de alta velocidad dentro del cabezal de alta velocidad por el extremo del rodamiento No.1. Inserte el disco impulsor o piñón de la bomba dentro del cabezal de alta velocidad y empuje a través del barreno del disco impulsor del piñón a la flecha de alta velocidad. Revise con hojas calibradoras que no haya luz entre el disco impulsor (piñón de la bomba) y el cono del rodamiento No. 1. En las unidades tamaños 2090YBX2, 2140 al 2155YBX2 y 2140-45YBX3, instale el espaciador sobre la flecha del piñón antes de instalar el disco impulsor o el piñón impulsor de la bomba de aceite.

D. Instale la taza del rodamiento No. 2 en el cabezal de alta velocidad, seguido por los conos de los rodamientos No. 2 y No. 3. Añada la tuerca y la arandela de seguridad del rodamiento y apriételas. En las unidades tamaños 2140-45YBX3 instale el espaciador sobre la flecha del piñón antes de instalar los conos de los rodamientos No. 2 y No. 3.

E. Instale la taza y el espaciador del rodamiento No. 3.

F. Monte la caja de sello sin el sello de aceite. Apriete uniformemente los tornillos hasta que comiencen a trabarse los rodamientos cuando se haga girar la flecha (cero juego axial). El ajuste final se hará después de que el cabezal de alta velocidad sea ensamblado en la base del reductor.

Flecha piñón integral - Relación de reducción 4.071 :1, tamaños 2160 al 2195 excepto 2180-85YBX3.

A. Monte el rodamiento interior de doble hilera de rodillos cónicos No. 1, en la flecha piñón.

B. Instale el anillo de hule engrasado en la ranura del barreno del rodamiento No. 1.

C. Instale el espaciador de la flecha piñón.

D. Instale la cuña del piñón impulsor de la bomba de aceite y el piñón impulsor de la bomba de acuerdo al paso 21 C.

E. Instale los rodamientos de alta velocidad No. 2 y No. 3 con sus tazas a la flecha piñón. Añada la tuerca y arandela de seguridad del rodamiento y doble la arandela de seguridad.

F. Instale la flecha de alta velocidad en el cabezal de alta velocidad. Añada el espaciador en el barreno del rodamiento exterior del cabezal de alta velocidad. Monte la caja de sello de acuerdo al paso 22F.

Ensamble de la flecha intermedia en la caja.

A. Atornille los tapones ciegos del extremo inferior y la caja de sello con nuevas laines a la base. Apriete los tornillos de acuerdo al par indicado en la tabla siguiente. No doble las arandelas de seguridad. Instale la taza del rodamiento inferior en la base. Para unidades tamaños 2070 y 2080, instale los espaciadores del rodamiento inferior antes de instalar las tazas de los rodamientos.

Tabla 2. Par de apriete para los tornillos, tapones ciegos, cajas de sello y brida de la bomba de aceite.

DIAM TORNILLO	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1
PAR, LB-PULG	70	145	255	640	1280	2290	3750	5600

* No lubrique los tornillos.

B. DOBLE REDUCCION - Instale el ensamble del piñón de baja velocidad dentro de la caja del reductor. El cono del rodamiento superior de esta flecha puede interferir con la instalación del ensamble de la flecha y engrane de baja velocidad. Puede que sea necesario ladear la flecha del piñón de baja velocidad hacia el extremo de alta velocidad de la caja para permitir a la flecha de baja velocidad ser instalada en la caja. Una alternativa de esto es si el rodamiento superior del piñón de baja velocidad va a cambiarse, no lo ensamble hasta que la flecha de baja velocidad sea instalada en la caja del reductor.

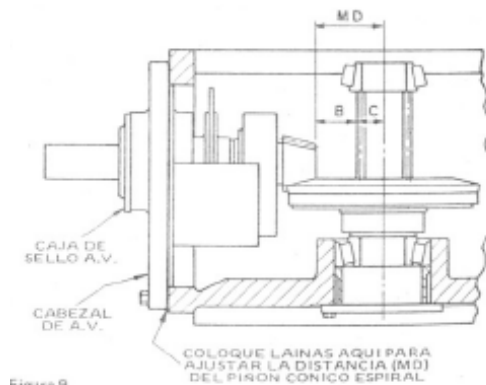
C. TRIPLE REDUCCION - Instale el ensamble del piñón de baja velocidad y el primer tren intermedio al mismo tiempo de acuerdo al paso 7B.

Ensamble del cabezal de alta velocidad a la caja.

A. Coloque dos pernos (excepto en los tamaños 2070 y 20801 en los barrenos de la caja que son normalmente usados para los tornillos del cabezal de alta velocidad. Estos pernos ayudarán a ensamblar el cabezal de alta velocidad con la caja.

B. Instale dos cáncamos en los barrenos roscados de la brida del cabezal de alta velocidad. Enganche con un estrobo y levante. Coloque un tubo en la flecha de alta velocidad y nivele el cabezal. Cuidadosamente meta el ensamble del cabezal en el barreno de la caja. Apriete los 4 tornillos.

Ajuste de la distancia de montaje del piñón cónico espiral.



A. Mida la distancia desde el extremo del piñón cónico espiral al diámetro exterior del piñón o flecha piñón helicoidal intermedia. Anote este valor como (B).

AVISO: El rodamiento de rodillos inferior del tren intermedio debe estar perfectamente asentado en su taza cuando se tome este dato (B), también tenga cuidado para no desplazar la flecha axialmente.

B. Mida el diámetro exterior del piñón o flecha piñón helicoidal intermedia con un micrómetro, divídalo entre 2 y anote esa dimensión como (C).

NOTA: Cuando se midan piñones helicoidales con un número no de dientes, envuelva una lana apretándola (.010" espesor mínimo) alrededor del piñón y mida el diámetro. De este valor, reste dos veces el espesor de la lana para obtener el verdadero diámetro exterior del piñón.

C. Sume (B) + (C) y reste el valor (MD) grabado en el piñón anotado previamente. La diferencia es el 'espesor requerido de laines entre la caja y el cabezal de alta velocidad. Seleccione las laines que deben dar el espesor total dentro de +.000" a +.004" del paquete de laines calculado.

D. Quite el cabezal de alta velocidad; añada el espesor de laines calculado e instale el cabezal. Apriete los tornillos del cabezal según el par indicado en la tabla 3 y revise el MD. Si es necesario ajuste nuevamente.

Tabla 3. Par recomendado para tornillos cabezal de a.v.

DIAM. TORNILLO	1/2	5/8	3/4	1
PAR, LB-PULG	640	1280	2290	5600

* No aceite las roscas de los tornillos.

Ajuste del juego entre dientes del tren de engranes cónico espiral.

A. Coloque un indicador de carátula contra un diente del engrane cónico espiral en el diámetro exterior perpendicularmente a la superficie del diente.

B. Gire el engrane cónico espiral hacia atrás y adelante teniendo la flecha del piñón cónico espiral inmóvil. Lea el juego entre dientes de los engranes de los engranes en el indicador. El juego entre dientes del engrane está grabado en el diámetro exterior del engrane cónico espiral.

NOTA: El juego final entre dientes de los engranes cónicos espirales debe ser igual al grabado en el engrane con una tolerancia de .000" a .004".

C. DOBLE REDUCCION - Para incrementar el juego entre dientes del engrane y el piñón cónico espiral, incremente el espesor de las laines del tapón ciego inferior. No doble las arandelas de seguridad de la flecha piñón de baja velocidad.

D. TRIPLE REDUCCION - Para incrementar el juego entre dientes del engrane y el piñón cónico espiral, reduzca el espesor de las laines del tapón ciego inferior del primer tren intermedio. No doble las arandelas de seguridad.

Ensamble de la flecha de baja velocidad a la caja.

A. Para tamaños del 2070 al 2195 con la extensión de la flecha de baja velocidad HACIA ABAJO y tamaños 2070 al 2080 con la extensión de la flecha de baja velocidad HACIA ARRIBA. Ponga grasa para rodamientos No. 2 en la caja de sello inferior y debajo del rodamiento cónico inferior.

B. Para todas las unidades, levante el ensamble de la flecha de baja velocidad y cuidadosamente, bájelo de la caja.

Ensamble de la tapa a la caja del reductor.

A. Aplique una capa de Permatex No. 3 o su equivalente al área de unión de la tapa y la caja.

B. Cuidadosamente baje la tapa sobre la caja. Coloque los tres pernos cónicos.

C. Inserte los tornillos lubricados anteriormente con una capa de aceite y atornillelos de acuerdo al par indicado en la tabla siguiente.

D. Instale las tazas de los rodamientos superiores.

Tabla 4. Par recomendado para tornillos de la tapa principal.

DIAM. TORNILLO	5/8	3/4	7/8	1	1 ¼
PAR, LB-PULG	1100	1970	3100	4640	8600

El par indicado es para tornillos lubricados con aceite mineral SAE 20 o más pesado.

AJUSTE DE LOS RODAMIENTOS.

Flecha de baja velocidad.

A. Determine la cantidad aproximada de laines montando el tapón ciego o caja de sello sin laines y midiendo el claro con hojas calibradoras. Atornille el tapón ciego (o caja de sello para la flecha de baja velocidad hacia arriba) con las nuevas laines más una laina extra de .015" de espesor a la tapa. Apriete los tornillos de acuerdo al par indicado en la tabla 2.

B. Extensión de la flecha de baja velocidad HACIA ARRIBA - Juego axial: Inserte un cáncamo en el barreno central del extremo de la extensión de la flecha de baja velocidad y coloque un Indicador de carátula en el extremo de la flecha. Levante la flecha y mida el juego axial.

C. Extensión de la flecha de baja velocidad HACIA ABAJO - Juego axial: Coloque un indicador de carátula contra el extremo superior de la flecha a través del barreno del tapón ciego y levante la flecha con un gato y mida el juego axial.

D. Sume el valor del juego axial medido a los valores mínimo y máximo de juego axial de la flecha de baja velocidad indicado en la tabla siguiente. Quite laines por un espesor igual al valor del juego axial excedente. Apriete los tornillos de acuerdo al par indicado en la tabla 3.

Tabla 5 Ajuste de rodamientos.- Juego axial total - pulgadas (todos los tamaños)

Flecha de alta velocidad	.005 a .008		
Primera flecha intermedia	.005 a .008		
Flecha del piñón de baja velocidad	.005 a .008		
PRE-CARGA DE LA FLECHA DE BAJA VELOCIDAD			
Tamaño unidad	Pre-carga	Tamaño unidad	Pre-carga
2070 a 2100	.002 a .005	2130 y 2135	.005 a .008
2110	.003 a .006	2140 y 2145	.006 a .009
2120 y 21225	.004 a .007	2150 a 2175	.006 a .010

Flecha intermedia - triple reducción.

A. Tapón Ciego del Primer Tren Intermedio: Engrase el anillo de hule y colóquelo dentro de la ranura del tapón ciego para tamaños del 2090 al 2155YBX3.

B. Tapón Ciego de la Flecha Piñón de Baja Velocidad: Engrase el anillo de hule y colóquelo en la ranura del tapón ciego para unidades tamaños 2090 al 2155YBX3.

C. Instale los taponos ciegos con nuevas laines, la misma cantidad que tenia y una extra de .615" Apriete los tornillos de acuerdo al par indicado en la tabla 3.

D. Para medir el juego axial, coloque un cáncamo en el extremo de la flecha a través de uno de los barrenos del tapón ciego. Coloque el indicador de carátula en el barreno que queda libre y mida el juego axial mientras levanta la flecha por el cáncamo.

E. Compare el valor medido con el indicado en la tabla 5 y aumente laines si el valor es menor o quite si el valor axial encontrado es mayor que el indicado en la tabla 5. Repita el procedimiento para la otra flecha intermedia.

F. Instale el tapón ciego y apriételo de acuerdo al par indicado en la tabla 2.

Flecha intermedia - doble reducción.

A. Tapón Ciego de la Flecha Intermedia: Refiérase a los pasos 31B a 31 F.

B. Taponos Ciegos en los Barrenos no Usados: Para tamaños 2070 y 2080 instale el deflector de aceite, el anillo de hule, laina de .031" de espesor con el tapón ciego superior. Coloque una laina de .031" de espesor en el tapón ciego inferior. Apriete los tornillos de acuerdo al par indicado en la tabla 2.

C. Para tamaños del 2140 al 2155, engrase el anillo de hule e instálelo en la ranura del tapón ciego superior. Instale los taponos ciegos superior e inferior con laines de .031" de espesor. Apriete los tornillos de acuerdo al par indicado en la tabla 2.

Flecha de alta velocidad.

A. Coloque laines entre la caja de sello y el cabezal de alta velocidad para obtener el juego axial especificado en la tabla 5. Apriete los tornillos de acuerdo al par indicado en la tabla 2. Mida el juego axial con un indicador de carátula colocado contra el extremo de la flecha de alta velocidad. Ajuste las laines si es necesario para obtener el juego axial correcto. Apriete los tornillos otra vez de acuerdo al par indicado en la tabla 2.

Ensamble final.

A. Instalación de los Sellos de Aceite: Aplique una capa de grasa para rodamientos a los labios del sello de aceite. Aplique una capa al diámetro exterior del sello de Permatex No. 3 o su equivalente. Instale los sellos de aceite con su resorte hacia el interior del reductor. Refiérase al AVISO del paso 18.

Introduzca cuidadosamente el sello de aceite en su barreno. Ponga un tubo o herramienta cilíndrica con sus extremos escuadrados contra el sello y presiónelo o empujelo hasta su lugar. Instale la caja de sello de la flecha de alta velocidad, si se usa.

B. Distribuidor de Aceite - Reductores tamaños 2070 al 2155. Ensámblase el distribuidor de aceite a la tapa usando juntas nuevas. Aplique capa de aceite a los tornillos y apriételos de acuerdo al par indicado en la tabla 2.

C. Instalación de la Bomba de Aceite Interna - Use una junta nueva con una capa de Permatex No. 3. Instale la bomba. No dañe los dientes del engrane. Gire la flecha de la bomba hacia adelante y hacia atrás para ayudar a engranar el piñón impulsor y el engrane de la bomba. Apriete los tornillos de

acuerdo al par indicado en la tabla 2. Instale los tubos entre la bomba interna y el reductor. Revise todos los tubos para comprobar su correcta instalación.

D. Guarda Sello de la Flecha de Baja Velocidad con Extensión HACIA ARRIBA: Instale el anillo de hule en el guarda sello. Monte el guarda sello sobre la flecha de baja velocidad y alinee los barrenos de la flecha y del guarda sello. Coloque los tornillos y apriételos en su lugar.

E. Información Complementaria de Ensamblajes: Asegure los tornillos de los tapones ciegos interiores con arandelas de seguridad. Inyecte grasa para rodamientos No. 2 en la caja de sello de aceite de la flecha de baja velocidad (extensión de la flecha de baja velocidad hacia abajo) y en los reductores tamaños 2070 y 2080 con la extensión de la flecha de baja velocidad hacia arriba a través de la graseira localizada en el extremo de baja velocidad y de la caja, refiérase a la tabla 6 para la cantidad necesaria de grasa.

Tabla 6. Grasa para las cajas de sello de las flechas de baja velocidad.

TAMAÑO UNIDAD	Cantidad de grasa (lbs)	TAMAÑO UNIDAD	Cantidad de grasa (lbs)
2070	1	2110/2135	4
2080	1	2140/2155	6
2090	2	2160/2175	8
2100	2	2180/2195	10

Acoplamientos

Definición: Los acoplamientos son órganos de maquinas destinados a unir entre sí a los árboles, para permitir el libre juego de dilatación, de acuerdo con las necesidades del trabajo

Clasificación

- Acoplamientos fijos
- Acoplamientos móviles
- Acoplamientos elásticos
- Acoplamientos que permiten acoplar y desacoplar en reposo
- Acoplamientos que permiten acoplar y desacoplar durante la marcha

Acoplamientos fijos

Los acoplamientos fijos sirven para unir de una manera permanente dos árboles de transmisión entre sí de tal modo que sus respectivos ejes coincidan en una recta común. Estos acoplamientos son posibles solamente cuando los ejes de los árboles a unir son perfectamente coincidentes, de lo contrario el movimiento se haría imposible y los cojinetes deberían soportar cargas excesivas que los desgastarían rápidamente.

Acoplamiento de manguito: Es un acoplamiento formado por un buje de fundición que se fija a

ambos extremos de los árboles a unir, mediante tornillos de presión, si la potencia que transmite el árbol es pequeña, o bien mediante chavetas longitudinales cuando la potencia es apreciable.

Acoplamiento de anillos: Consisten en dos semibujes cónicos, fuertemente apretados contra el árbol por dos anillos que se colocan forzados a dilatación.

Acoplamientos a discos: Consisten en dos piezas en forma de disco con un cubo alargado que se colocan uno en cada extremo de los árboles a unir. La unión se hace mediante chavetas. Todos los acoplamientos de discos o platos tienen el mismo inconveniente: las ruedas y poleas de transmisión tienen que ser partidas y los cojinetes abiertos.

Acoplamientos móviles: La unión de los árboles es permanente pero no invariable; un movimiento relativo de ellos se considera posible dentro de ciertos límites. Este movimiento puede ser: de rotación, axial, transversal y angular.

a. permiten movimientos relativos de rotación

Manchón de seguridad semielástico: Este acoplamiento se compone de dos platos que se

fijan mediante chavetas semi encastradas en las extremidades de los árboles a unir.

b. permiten pequeños movimientos axiales

Acoplamientos a dientes (sharp): Se compone de dos piezas de forma cilíndrica, las cuales se fijan mediante chavetas a los extremos de los árboles a unir. Cada una de ellas presenta

dientes en número de dos o más que se alojan con un cierto juego en las cavidades correspondientes a la otra mitad. Se emplean para compensar las variaciones de longitud debidas a las diferencias de temperatura y especialmente cuando existen en el árbol dos ruedas dentadas cónicas o cuando hay embragues de acción montados sobre árboles colocados en línea.

c. permiten pequeños movimientos transversales

Junta de Oldham: Esta junta permite pequeños movimientos transversales; a ella se la denomina también de platillos en cruz y se usa para unir dos árboles paralelos de muy reducida distancia axial.

d. permiten movimientos angulares

Junta de cardan o universal: Cuando los ejes a unir no son paralelos, sino que forman entre sí un ángulo, pueden unirse mediante la junta de cardan. Está formada por dos orquillas que se fijan en las extremidades de los árboles a unir, los cuales forman un ángulo entre sí.

Acoplamientos elásticos

Son aquellos que permiten desplazamientos relativos de cualquier índole pero de pequeña amplitud. Las ventajas de su empleo son:

- Permiten un desplazamiento angular relativo antes de solidarizar el conjunto para la marcha normal de rotación. Esta propiedad facilita vencer gradualmente la inercia de reposo o de movimiento, así como también las bruscas variaciones de velocidad que podrían producirse.
- Permiten los pequeños desplazamientos axiales o transversales provenientes del desgaste en los cojinetes, ya sea debido a un error de montaje o a la flecha producida por un exceso de carga.

Utilización, justamente las antedichas propiedades hacen que su empleo resulte indispensable para acoplar máquinas entre sí; por ejemplo un motor eléctrico y una bomba centrífuga; un motor eléctrico y un ventilador o aspirador industrial.

Acoplamiento Elástico con bujes de goma y pernos de acero: Están formados por dos platos que se fijan en las extremidades de los árboles a unir mediante chavetas encastradas de cabeza; uno de ellos presenta cavidades cilíndricas dentro de las cuales se aloja el perno de acero revestido por el buje de goma; la otra extremidad del perno tiene rosca y tuerca para fijarse firmemente al otro plato.

Acoplamiento Elástico con bujes de cuero y pernos de acero: Similares a los anteriores, habiéndose suplantado los bujes de goma por una serie de arandelas que se fijan mediante arandelas de acero y tuerca formando bujes.

La AGMA define los acoplamientos flexibles como aquellos elementos de máquinas que transmiten momento de torsión (par motor) sin resbalar y que absorben la desalineación entre los árboles impulsor e impulsado. Dependiendo del método utilizado para absorber la desalineación, los acoplamientos flexibles pueden dividirse en: Acoplamiento de elementos deslizantes, acoplamientos de elementos flexionantes y combinación de acoplamientos flexionantes y deslizantes.

Acoplamientos de elementos deslizantes: Estos tipos de acoplamientos absorben la desalineación por el deslizamiento entre dos o más de sus componentes. Este deslizamiento,

y las fuerzas generadas por el momento de torsión transmitido, generan desgaste. Para dar lugar a una vida adecuada estos acoplamientos se lubrican, o se emplean elementos hechos de plástico de baja fricción. Los acoplamientos de este tipo tienen dos mitades, en virtud de cada par deslizante de elementos puede absorber solo desalineación angular; se necesitan dos de estos pares para acomodar la desalineación paralela.

Acoplamientos del tipo de engranaje: Constituyen el diseño más universal. Pueden fabricarse casi para cualquier aplicación, desde unos cuantos caballos de potencia hasta miles de ellos. Estos acoplamientos pueden utilizarse en máquinas con árboles acoplados cerrados o para grandes separaciones entre los árboles conectados. Requieren relubricación periódica (cada 6 meses), son rígidos respecto a la torsión y son más caros que otro tipo de acoplamientos.

Acoplamientos de cadena: Solo se necesita dos ruedas dentadas y un trozo de cadena doble; se utilizan a bajas velocidades, excepto cuando se las agrega una cubierta especial para contener al lubricante. Este tipo se utiliza en aplicaciones acopladas cerradas.

Lubricación del acoplamiento: Este tipo de acoplamiento se lubrica con grasa. Debido a que el desgaste del acoplamiento disminuye al aumentar la viscosidad del aceite base de una grasa, debe seleccionarse una grasa mezclada con un aceite que tenga una viscosidad no menor que 900 SSU (segundos universales Saybolt) a 38°C. Ya que las grasas se separan en aceite y jabón cuando se someten a fuerzas centrífugas durante mucho tiempo, y debido a que el jabón utilizado en las grasas no es lubricante, es necesario seleccionar aquellas que tengan muy poco jabón, de preferencia menos del 8% del peso total.

Acoplamientos de elementos flexionantes: Estos acoplamientos absorben la desalineación por la flexión de uno o más de sus componentes. Cuanto menor sea la desalineación que debe absorber el acoplamiento, menor será la flexión que deben sufrir los elementos, y puede obtenerse un servicio más largo sin problemas. Pueden dividirse en dos tipos, con elemento metálico y con elemento elastomérico. Aquellos con elemento metálico solo pueden absorber desalineación angular. Para absorber la desalineación paralela un acoplamiento, necesita dos elementos flexionantes. Aquellos con elemento elastomérico solo pueden absorber la no-alineación de uno de los elementos.

Acoplamientos con elementos metálicos: El elemento flexible no es de una sola pieza; se trata más bien de un paquete de muchos discos delgados estampados, hecho con acero inoxidable. Con algunas

excepciones, no se puede utilizar a altas velocidades. Una desventaja de este tipo es que tolera muy poco error en el espaciado axial de las máquinas.

Acoplamientos con elementos elastoméricos: Existen muy pocos diseños que utilizan elementos elastoméricos; en algunos se tiene caucho, con o sin pliegues, y en otros se tienen plásticos.

Llanta de caucho: Está sujeta mediante mordazas a cada cubo, y se desliza axialmente para poder reemplazarla sin mover las máquinas conectadas.

Rosquilla de caucho: Está atornillada por medio de sujetadores a los cubos y, en el proceso también se precomprime para que nunca trabaje con tensión. Se desliza axialmente en uno de los insertos para facilitar su instalación sin perturbar las máquinas conectadas.

Elemento ranurado: El elemento ranurado resbala axialmente hacia adentro de los cubos y es de caucho o de plástico.

Quijada: También es conocido como estrella debido a la forma del elemento elastomérico. Es el más sencillo pero tiene las siguientes desventajas; puede absorber muy poca desalineación y puede transmitir menos de 100 HP.

Selección del acoplamiento

Por lo general, los acoplamientos se suministran como parte de cualquier equipo nuevo. En vez de tener que seleccionar un acoplamiento nuevo, sólo debe enfrentarse la necesidad de reemplazar uno viejo, o alguna parte de él. Suponiendo que el fabricante del equipo haya seleccionado el tipo y tamaño correctos del acoplamiento, se genera pocos problemas. Sin embargo, hay casos en los que acoplamientos no rinden la vida esperada, o bien se compra una pieza nueva del equipo sin impulsor y debe seleccionarse un acoplamiento. El proceso no es sencillo porque no existe aplicación en la que sólo un tipo sería el adecuado. Lo mejor es hacer que un ingeniero en aplicaciones que trabaje con el fabricante de acoplamiento haga la selección. En la actualidad, la mayor parte de los fabricantes hacen más de un tipo y pueden recomendar en forma objetiva el que resulte mejor para una aplicación determinada.

La elección de un acoplamiento con el tamaño correcto es muy importante. Para serlo es necesario conocer no sólo la potencia y velocidades requeridas, sino también la severidad del servicio que debe absorber. Será necesario aplicar un factor de corrección o de servicio. Los fabricantes de acoplamientos los clasifican en caballos de potencia por 100 rpm.

Por ejemplo, si una bomba requiere 50 hp, a 1750 rpm, necesita uno que pueda manejar 2,86 hp, a 100 rpm. Esto sólo es correcto si la bomba es centrífuga y es impulsada por un motor eléctrico; en este caso, el factor de servicio es 1. Si se tiene una bomba recíproca de doble acción, impulsada por un motor de combustión interna, debe aplicarse un factor de servicio de $2,0 + 1,0 = 3,0$ para un acoplamiento de engranaje, y $2,0 + 0,5 = 2,5$ para uno elastomérico, según un fabricante. Como resultado de esto, debe elegirse un acoplamiento de engranaje que pueda manejar 8,58 hp a 100 rpm, o uno elastomérico que pueda manejar 7,15 a 100 rpm. Parece que

puede elegirse uno más pequeño si se elige el de tipo elastomérico. Sin embargo, el elastomérico tendrá alrededor de 22mm de diámetro, ¿en tanto que el engranaje sólo tendrá la mitad de este tamaño?. Si el tamaño no tiene importancia el criterio siguiente de selección puede ser el precio. Pero el precio del acoplamiento por sí solo o es una buena guía; debe considerarse el costo total,

incluyendo el mantenimiento, las partes de reemplazo.

Pérdida de la producción, etc.

Aunque los acoplamientos representan un porcentaje pequeño del costo total de una pieza de la maquinaria, pueden causar tantos problemas si es que no más, como el resto del equipo si no se seleccionan apropiadamente. A la larga, comprar un tamaño o tipo inadecuado nunca será más económico.

REGLAS PARA SELECCIONAR UN ACOPLAMIENTO ELÁSUCO

1. Seleccionar el tipo de motor eléctrico (Tabla 2)

2. Según las condiciones de la máquina accionadora y accionada, se halla Factor para el tipo de aplicación "F_i" (Tabla 3)

- Factor para el tiempo de funcionamiento "F2" (Tabla 4)
- Factor de frecuencia de arranques/hora "F3" (Tabla 5)
- Factor de temperatura ambiente "F4" (Tabla 6)
- Factor de servicio (FS), $FS = F_i \cdot F_2 \cdot F_3 \cdot F_4$
- Momento de torsión equivalente "Me", $Me = 716,2 \cdot N \cdot FS / n$
- N=Potencia efectiva a ser transmitida; n=Rotación del acoplamiento

Técnicas de mantenimiento predictivo en plantas industriales

[Curso de turbinas de Vapor, Madrid 5-6 Marzo de 2009](#)

[Curso de Motores de gas en plantas de cogeneración, Madrid 24-25 de Marzo de 2009](#)

[Descargate gratis el curso de análisis de vibraciones](#)

Una parte importante de las tareas de mantenimiento de una planta de industrial corresponden a mantenimiento condicional o predictivo. Es decir, se chequea el equipo o la instalación, se realizan análisis, mediciones, tomas de datos e incluso simples observaciones visuales, y si se encuentra algo anormal, o la evolución de un parámetro no es la adecuada, se actúa. En ciertas plantas industriales adquieren cierta relevancia por el alto coste de una parada imprevista, y por la necesidad de algunas de ellas de funcionar el máximo número de horas posible.

por **Santiago García Garrido**

sgarcia.power@gmail.com

Indice

1. El mantenimiento sistemático frente a las técnicas predictivas

2. ¿Es el mantenimiento predictivo algo realmente útil y práctico?

3. ¿Es el mantenimiento predictivo la mejor o única alternativa al plantear un plan de mantenimiento?

4. Inspecciones visuales y lectura de indicadores

5. Inspecciones boroscópicas

6. Análisis de vibraciones

6.1. Generalidades

6.2. Puntos de medición

6.3. Normas de severidad

6.4. Fallos detectables por vibraciones en maquinas rotativas

6.4.1. Desequilibrios

6.4.2. Eje curvado

6.4.3. Desalineamiento

6.4.4. Problemas electromagnéticos

6.4.5. Problemas de sujeción a bancada

6.4.6. Holguras excesivas

6.4.7. Mal estado de rodamientos y cojinetes

6.5. El software experto

7. Análisis de aceites

7.1. Generalidades

7.2. Análisis de partículas de desgaste

7.3. Análisis de otros contaminantes

7.4. Análisis de las propiedades del aceite

7.5. Análisis de aceite en transformadores

8. Termografía Infrarroja

- 8.1. Generalidades y principios de funcionamiento
- 8.2. Guía de actuación
- 8.3. Ventajas y desventajas de la termografía infrarroja
- 8.4. Proceso de inspección
- 8.5. Aplicaciones de la termografía en una planta industriales

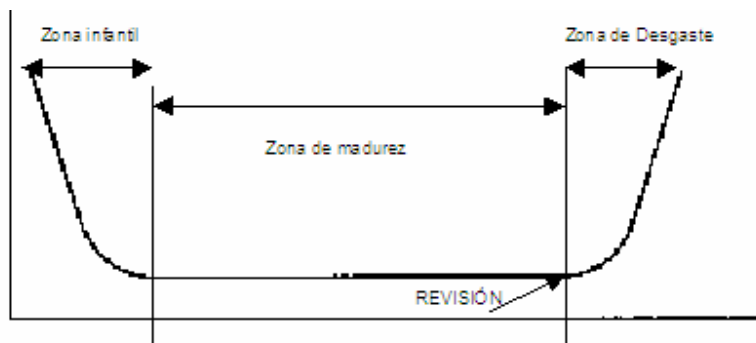
9. Bibliografía

1. EL MANTENIMIENTO SISTEMÁTICO FRENTE A LAS TÉCNICAS PREDICTIVAS

Un error fundamental que es necesario poner de manifiesto es que las famosas curvas de probabilidad de fallo vs tiempo de funcionamiento no se corresponden con las tan conocidas 'curvas de bañera'. En estas curvas se reconocían tres zonas:

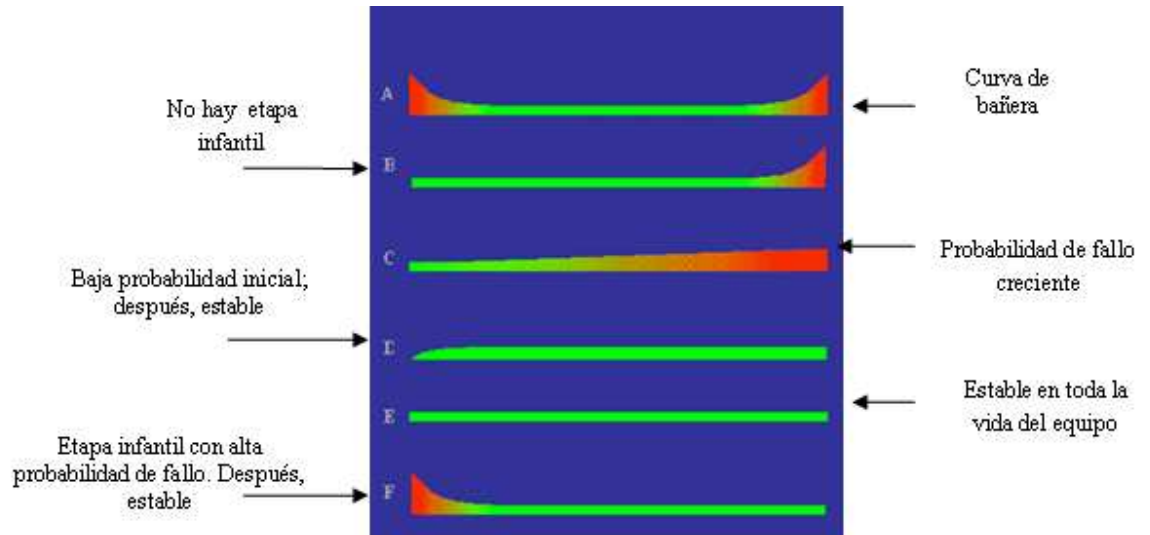
- Zona inicial, de baja fiabilidad, por averías infantiles
- Zona de fiabilidad estable, o zona de madurez del equipo
- Zona final, nuevamente de baja fiabilidad, o zona de envejecimiento.

Como se daba por cierta esta curva para cualquier equipo, se suponía que transcurrido un tiempo (la vida útil del equipo), éste alcanzaría su etapa de envejecimiento, en el que la fiabilidad disminuiría mucho, y por tanto, la probabilidad de fallo aumentaría en igual proporción. De esta manera, para alargar la vida útil del equipo y mantener controlada su probabilidad de fallo era conveniente realizar una serie de tareas en la zona de envejecimiento, algo parecido a un 'lifting', para que la fiabilidad aumentara.



La estadística ha demostrado que, tras estudiar el comportamiento de los equipos en una planta industrial, el ciclo de vida de la mayoría de los equipos no se corresponde únicamente

con la curva de bañera, sino que se diferencian 6 tipos de curvas:



Curiosamente, la mayor parte de los equipos no se comportan siguiendo la curva A o 'curva de bañera'. Los equipos complejos se comportan siguiendo el modelo E, en el que la probabilidad de fallo es constante a lo largo de su vida, y el modelo F. Hay que señalar que según estudios realizados en aviación civil, la probabilidad de fallo del 68% de las piezas de un avión responde

2. ¿ES EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO ALGO REALMENTE UTIL Y PRÁCTICO?

Pero ¿es el mantenimiento predictivo es una elucubración mental o realmente tiene alguna aplicación práctica en un entorno industrial real?

Probablemente, quien así lo plantea está pensando únicamente en el análisis de vibraciones. El precio de los equipos, la baja preparación de muchos técnicos, las dificultades de formación y lo complicado que resulta el análisis de los resultados a la hora de tomar decisiones basadas en éstos, han creado una mala fama a dicha técnica, que ha lastrado la imagen del mantenimiento predictivo.

Y no es que el análisis de vibraciones no sea una técnica soberbia sobre el papel. Simplemente, es que es complicada. Son tantas variables las que hay que tener en cuenta que hay que ser un gran experto para sacar conclusiones válidas, conclusiones fiables, que

por ejemplo nos hagan tomar la decisión de abrir una máquina cara y cambiar sus rodamientos, o alinear, o rectificar un eje.

¿Pero el mantenimiento predictivo es únicamente análisis de vibraciones? Por supuesto que no. No es lo mismo cuestionarse el análisis de vibraciones como técnica fiable que el mantenimiento predictivo en general.

Recordemos que el alma del mantenimiento predictivo es, precisamente, la predicción. Se basa en tratar de predecir el estado de una máquina relacionándolo con una variable física de fácil medición. Por tanto, parece que el mantenimiento predictivo no es sólo el análisis de vibraciones. ¿Y qué variables físicas podemos relacionar con el desgaste? Muchas: la temperatura, la presión, la composición fisico-química de un aceite de lubricación. Hasta el aspecto físico de una máquina puede relacionarse con su estado.

Así, tomar lectura de la presión de descarga de una bomba, y ver su evolución en el tiempo nos puede dar una idea del estado de ésta (posibles obstrucciones en la admisión, estado del rodete). Tomar la temperatura de los rodamientos de un motor diariamente es también mantenimiento predictivo, por ejemplo.

Pueden establecerse en dos categorías relacionadas con las tareas de mantenimiento predictivo: las fáciles y las menos fáciles. Dentro de las fáciles estaría las inspecciones visuales de los equipos, las tomas de datos con instrumentación instalada de forma permanente (termómetros, manómetros, caudalímetros, medidas de desplazamiento o vibración, etc). Dentro de las menos fáciles yo destacaría cuatro técnicas: las boroscopias, los análisis de vibraciones, las termografías y los análisis de aceite.

Es evidente que las primeras son de tan fácil implementación, de tan bajo coste y tan evidentemente útiles que responden al título del tema propuesto por Chema de forma incontestable: desde luego que tienen posibilidades reales de aplicación.

Las segundas requieren de equipos más sofisticados y de conocimientos algo más avanzados.

Las boroscopias requieren del manejo de un equipo óptico sencillo. Requieren algo más de formación sobre lo que se espera observar. Parece obvio que introducir una pequeña cámara o lente en el interior de un gran motor de combustión para observar el estado de las camisas es más útil que abrir el motor. Si hablamos de turbinas de gas o de vapor, todavía es mucho más obvio.

Sobre los análisis de aceites, necesitan de un laboratorio bien equipado, y de químicos que interpreten sus resultados. Pero este es un servicio que suele prestar de forma gratuita el suministrador de aceite. Desde luego, son juez y parte, y pueden recomendarnos la sustitución del aceite sin que haya llegado el momento. Pero con un mínimo de formación podemos interpretar los resultados del laboratorio de forma independiente, y usar al suministrador no para seguir sus recomendaciones, sino para interpretar nosotros mismos los resultados.

Sobre termografías y mediciones termométricas, los equipos han bajado mucho de precio. Por menos de 5.000 euros pueden adquirirse ya cámaras termográficas de excelentes prestaciones. Y la interpretación de los resultados es francamente sencilla.

Y sobre la técnica estrella del mantenimiento predictivo, el análisis de vibraciones, ya hemos hablado del alto precio de los equipos y de la dificultad de la interpretación de los resultados.

Muchos responsables de mantenimiento se plantean estas predictivas como trabajos a subcontratar, para realizarlas una vez al trimestre, o incluso una vez al año y que se eliminan en cuanto se plantea una reducción de gastos. Quizás se olviden de que tan importante como el valor absoluto es la evolución del valor, de la variable física medida. Y que cuanto antes se detecte el problema mejor podremos programar la intervención o corregir el problema.

Por tanto, una opinión sensata sobre el mantenimiento predictivo podría ser la siguiente: Predictivo sí, siempre, aplicando las técnicas más sencillas posibles, aplicadas por los técnicos habituales de la planta de forma constante y analizando constantemente la evolución de las variables físicas medidas. Sólo sobre el análisis de vibraciones hay que tener alguna precaución: sí, pero sólo si disponemos de buenos equipos, un buen software y sobre todo un buen técnico para analizar los resultados. Y claro, no en todas las plantas: solo aquellas que tengan equipos rotativos grandes y caros (turbinas, motores de combustión, grandes motores eléctricos, etc).

3.EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO COMO ÚNICA ALTERNATIVA PARA ELABORAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO

Es indudable que enfocar la actividad de mantenimiento hacia el predictivo nos ha hecho avanzar, y representa una alternativa al preventivo sistemático o al correctivo.

No obstante, afirmar que el predictivo es la UNICA alternativa es, cuando menos, bastante arriesgado. Afirmar eso tiene tan poco rigor como afirmar que todos los equipos hay que llevarlos a correctivo o en todos los equipos hay que hacer un mantenimiento sistemático.

Imaginemos el caso de un equipo que debe funcionar 8760 horas al año. ¿Seguro que el predictivo es la alternativa? Imaginemos una turbina de gas de gran tamaño. El objetivo de disponibilidad es muy alto, por encima del 95%. Si hoy detectamos vibraciones y paramos para solucionarlo, mañana detectamos problemas en el aceite y paramos para solucionarlo, hacemos una boroscopia y hay problemas en un álabe, y abrimos la turbina (1 mes) para solucionarlo, otro día la bomba de lubricación tiene una temperatura alta en un rodamiento, y

paramos, poco después detectamos con termografía un problema en el alternador o en el trafo, y paramos...¿sería posible conseguir más de un 95% de disponibilidad, que es por cierto una cifra muy habitual en ese sector?

La respuesta es no. En instalaciones que requieren de una altísima disponibilidad el mantenimiento no puede basarse UNICAMENTE en predictivo. Es imprescindible basarlo en un mantenimiento sistemático, de forma que una vez al año haya una parada de mantenimiento en la que se revisen determinados equipos, cada 2-4 años se abre la turbina y se sustituyen sistemáticamente los álabes y otros elementos de desgaste, se trata el aceite, se revisa la instalación eléctrica de forma exhaustiva, etc, etc. Además de eso, durante el tiempo de funcionamiento la planta va a estar muy vigilada de forma predictiva, realizándose boroscopias, termografías, análisis de vibraciones, de aceite, medición de espesores, etc. Y si se detecta un problema, será una gran desgracia y habrá que parar. Pero si el sistemático se hace correctamente, el diseño de la instalación y la selección de equipos es apropiada, el preventivo sistemático suele dar un resultado estupendo.

Hay equipos, además, que se llevan a correctivo, sin mas. Es el caso de equipos duplicados de bajo coste y poca responsabilidad. No merece la pena hacer termografías, análisis de vibraciones, analisis amperimétricos, analisis de aceite. Si se rompe se repara, y ya está. Se observa el equipo, eso sí, pero poco más.

Por tanto, aún siendo las técnicas predictivas de gran importancia y que han supuesto un paso adelante en el mundo del mantenimiento, no es posible afirmar que todo el mantenimiento de cualquier planta industrial deba basarse en tareas condicionales dependiendo del resultado de las inspecciones predictivas.

4. INSPECCIONES VISUALES Y LECTURA DE INDICADORES

Las inspecciones visuales consisten en la observación del equipo, tratando de identificar posibles problemas detectables a simple vista. Los problemas habituales suelen ser: ruidos anormales, vibraciones extrañas y fugas de aire, agua o aceite, comprobación del estado de pintura y observación de signos de corrosión .

La lectura de indicadores consiste en la anotación de los diferentes parámetros que se miden en continuo en los equipos, para compararlos con su rango normal. Fuera de ese rango normal, el equipo tiene un fallo.

Estas inspecciones y lecturas, por su sencillez y economía, es conveniente que sean realizadas a diario, incluso varias veces al día, y que abarquen al mayor número de equipos posible. Suele llevarlas a cabo el personal de operación, lo que además les permite conocer de forma continua el estado de la planta.

Estas inspecciones son además la base de la implantación del Mantenimiento Productivo Total, o TPM.

5. INSPECCIONES BOROSCÓPICAS

Las inspecciones boroscópicas son inspecciones visuales en lugares inaccesibles para el ojo humano con la ayuda de un equipo óptico, el boroscopio o endoscopio. Se desarrolló en el área industrial a raíz del éxito de las endoscopias en humanos y animales.

El boroscopio es un dispositivo largo y delgado en forma de varilla flexible. En el interior de este tubo hay un sistema telescópico con numerosas lentes, que aportan una gran definición a la imagen. Además, está equipado con una poderosa fuente de luz.

La imagen resultante puede verse en un monitor, o ser registrada en un videograbador o una impresora para su análisis posterior.

Entre las ventajas de este tipo de inspecciones están la facilidad para la llevarla a cabo sin apenas tener que desmontar nada y la posibilidad de guardar las imágenes, para su consulta posterior.

Las boroscopias se utilizan para realizar inspecciones de motores alternativos de gas, turbina de gas, turbina de vapor, caldera, y en general, en cualquier equipo de difícil acceso cuyos fallos pueden ser observados a simple vista, pero lo que se pretende observar no está accesible con facilidad para el ojo humano, pues implica dificultad de acceso, o grandes desmontajes. Así, en los motores alternativos se utilizan para conocer el estado de las cámaras de combustión; en la turbina de gas, se utiliza para conocer el estado de la cámara de combustión, de los quemadores y de los álabes; en la turbina de vapor, se utiliza para conocer el estado de álabes; en la caldera, se emplea para detectar fallos y fugas en haces tubulares y en zonas de difícil acceso

6. ANALISIS DE VIBRACIONES

6.1. Generalidades

Esta técnica del mantenimiento predictivo se basa en la detección de fallos en equipos

rotativos principalmente, a través del estudio de los niveles de vibración. El objetivo final es obtener la representación del espectro de las vibraciones de un equipo para su posterior análisis.

Para aplicarla de forma efectiva y obtener conclusiones representativas y válidas, es necesario conocer determinados datos de la máquina como son el tipo de cojinetes, de correas, número de alabes o de palas, etc, y elegir los puntos adecuados de medida. También es necesario seleccionar el analizador más adecuado a los equipos existentes en la planta.

Existen dos técnicas diferentes:

1. Medición de la amplitud de la vibración: Da un valor global del desplazamiento o velocidad de la vibración. Cuando la vibración sobrepasa el valor preestablecido el equipo debe ser revisado. Únicamente informa de que hay un problema en el equipo, sin poderse determinar por esta técnica donde está el problema

2. Analizador del espectro de vibración: La vibración se descompone según su frecuencia. Analizando el nivel de vibración en cada una de las frecuencias se puede determinar la causa de la anomalía.

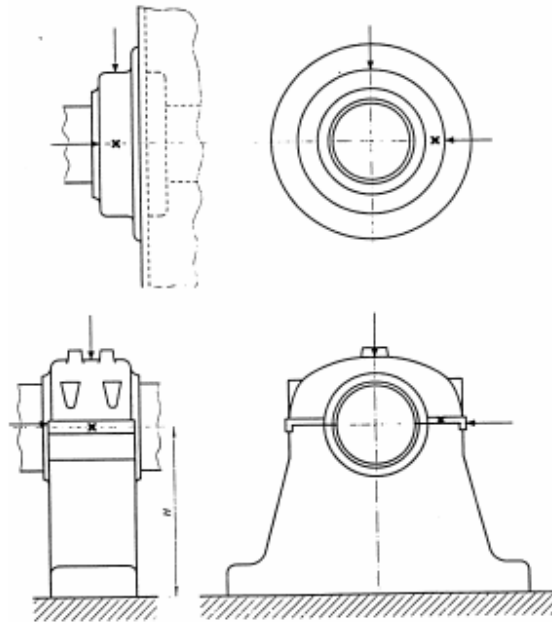
En la generalidad de la máquinas se admite la presencia de algunas componentes de frecuencia en los espectros, siempre que no se observen armónicas o variaciones en el tiempo. Así, siempre es admisible la observación de un pico de vibración a la velocidad de rotación de la máquina (1xRPM) debido a desequilibrio, dado que la distribución de pesos a lo largo del eje de rotación nunca es absolutamente perfecta. También estará siempre presente la frecuencia de engranajes (es decir, si una caja reductora tiene 20 piñones, siempre se detectará un pico de vibración a 20xRPM, 20 veces la velocidad de giro), o la frecuencia de paso de álabes (un ventilador con 8 aspas presentará un pico de vibración a 8xRPM). En el caso de generadores, siempre se detectan picos correspondientes a fenómenos electromagnéticos, que dependen de la frecuencia de la red eléctrica y del número de polos del generador; así, es frecuente observar en estos equipos picos a 1500 RPM (o 25 Hertzios), 3000 RPM (50 Hertzios), 6000 RPM, etc.

La presencia de otras componentes de frecuencias como por ejemplo las relacionadas con torbellinos de aceite, frecuencias de paso de bolas de rodamientos, incluso la detección de ruido audible deben constituir motivo de preocupación, y por supuesto deben ser observadas e investigadas de forma sistemática, y una vez analizada la causa que las provoca, debe ser corregida.

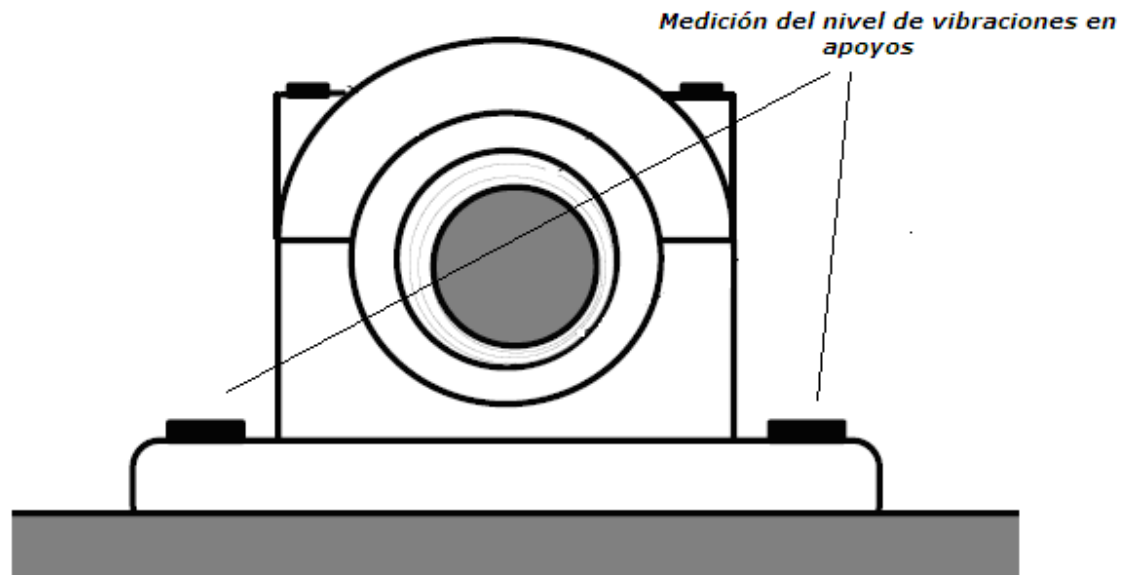
6.2. Puntos de medición

Existen dos puntos en los cuales es importante medir el nivel de vibración:

- En los descansos, es decir, en aquellos puntos en los que la máquina se apoya. En el caso de motores eléctricos, es importante medir en los rodamientos o cojinetes, por ejemplo.



- En los puntos de unión con la bancada o cimentación



Es importante realizar la medida en los tres ejes del espacio: en las direcciones radiales (horizontal y vertical) y en la dirección axial.

6.3. Normas de severidad

Una guía de referencia para distinguir entre lo que puede entenderse como un funcionamiento normal o admisible de la máquina y un nivel de alerta lo constituyen normas como la ISO 2372.

Esta norma proporciona guías para aceptación de la amplitud de vibración para maquinaria rotativa operando desde 600 hasta 12 000 RPM. Especifica niveles de velocidad general de vibración en lugar de niveles espectrales, y puede ser muy engañosa.

ISO 2372 especifica los límites de la velocidad de vibración basándose en la potencia de la máquina y cubre un rango de frecuencias desde 10 Hz (o 600 RPM) hasta 200 Hz (o 12000 RPM). Debido al rango limitado de alta frecuencia, se puede fácilmente dejar pasar problemas de rodamientos con elementos rodantes (rodamientos de bolas, de rodillos, etc).

Esta norma está considerada obsoleta y se espera sea reformulada en breve.

45.00	No Permisible	No Permisible	No Permisible	No Permisible				
28.00				Limite	Limite	Limite		
18.00						Admisible	Admisible	Admisible
11.20				Normal	Normal			Normal
7.10								
4.50	Máquinas Pequeñas (<15 kW)	Máquinas Medianas (15-75 kW) (300 kW, soporte especial)	Máquinas grandes (base rígida) (>75 kW)	Máquinas grandes (alta velocidad) (>75 kW)				
2.80	Limite	Admisible	Admisible	Normal				
1.80	Admisible				Normal	Normal		
1.12	Admisible	Normal	Normal	Normal				
0.71	Normal				Normal	Normal	Normal	
0.45	Normal	Normal	Normal	Normal				
0.28	Normal				Normal	Normal	Normal	
0.18	Normal	Normal	Normal	Normal				
- Vel. [mm/s]	Máquinas Pequeñas (<15 kW)				Máquinas Medianas (15-75 kW) (300 kW, soporte especial)	Máquinas grandes (base rígida) (>75 kW)	Máquinas grandes (alta velocidad) (>75 kW)	

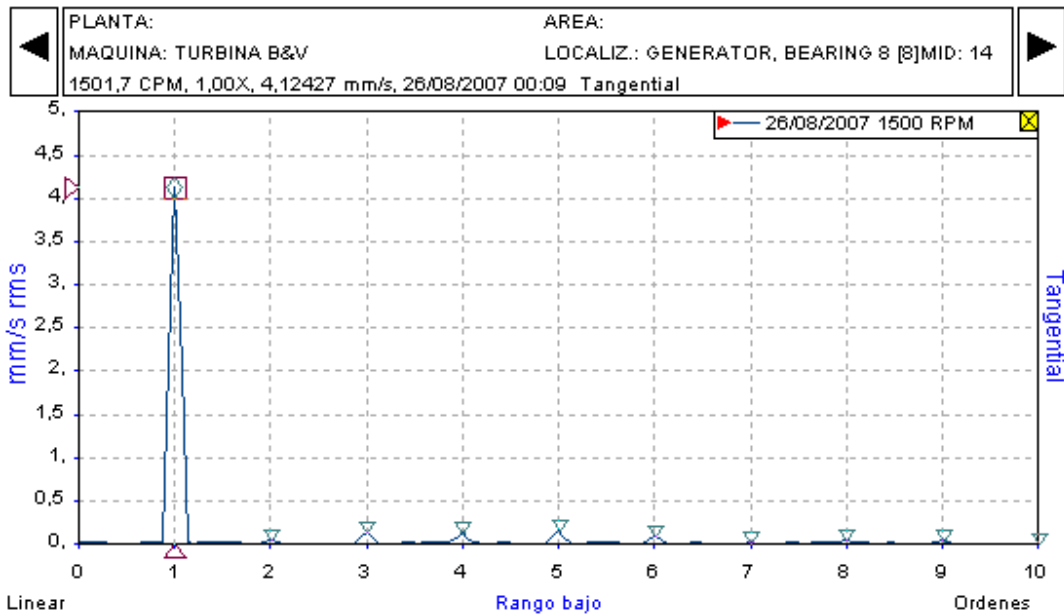
Hay que tener en cuenta que estos niveles de severidad de vibración están referidos únicamente a vibración por desequilibrio, por lo que sólo son aplicables en lo referente a ese fallo. Por ello, es más práctico comparar el espectro de vibración obtenido con el espectro de referencia, es decir, aquel en el que hemos considerado que la máquina funciona correctamente (por ejemplo, el espectro tomado cuando la máquina era nueva). Si el nivel de vibración ha aumentado 2,5 veces respecto a esa referencia, debe ser motivo de alarma, pero no de intervención: habrá que vigilar el comportamiento del equipo. Si la vibración aumenta 10 veces, está será inadmisibile y habrá que intervenir. Esta es una norma general que por supuesto habrá que comprobar en cada caso particular.

6.4. Fallos detectables por vibraciones en maquinas rotativas

Los fallos que pueden detectarse mediante el análisis de vibraciones son los siguientes:

6.4.1. Desequilibrios.

Es el fallo más habitual, y podría decirse que en torno al 40% de los fallos por vibraciones que se detectan en máquinas rotativas se deben a esta causa. Las tablas de severidad que se manejan habitualmente, y que expresan el grado de gravedad de una vibración, se refieren exclusivamente a vibración por desequilibrio. Cuando se presenta una distribución de pesos anormal en torno al eje de rotación se aprecia en la gráfica del análisis espectral una elevación de la velocidad de vibración a la frecuencia equivalente a la velocidad de rotación, como la que se aprecia en la figura adjunta



Puede verse un único pico de vibración, que corresponde a la velocidad de rotación (la máquina gira a 1500 RPM, la misma frecuencia a la que presenta el pico). El desequilibrio que se aprecia es admisible, teniendo en cuenta la tabla de severidad, pero será necesario observar como evoluciona.

El desequilibrio es un problema resoluble, modificando o reparando los elementos que causan la incorrecta distribución de pesos (falta de algún elemento, distribución de pesos de forma homogénea, eliminación de residuos incrustados en los elementos móviles, deformaciones, roturas, etc), o añadiendo unas pesas de equilibrado en los puntos adecuados que equilibren esta distribución

6.4.2. Eje curvado

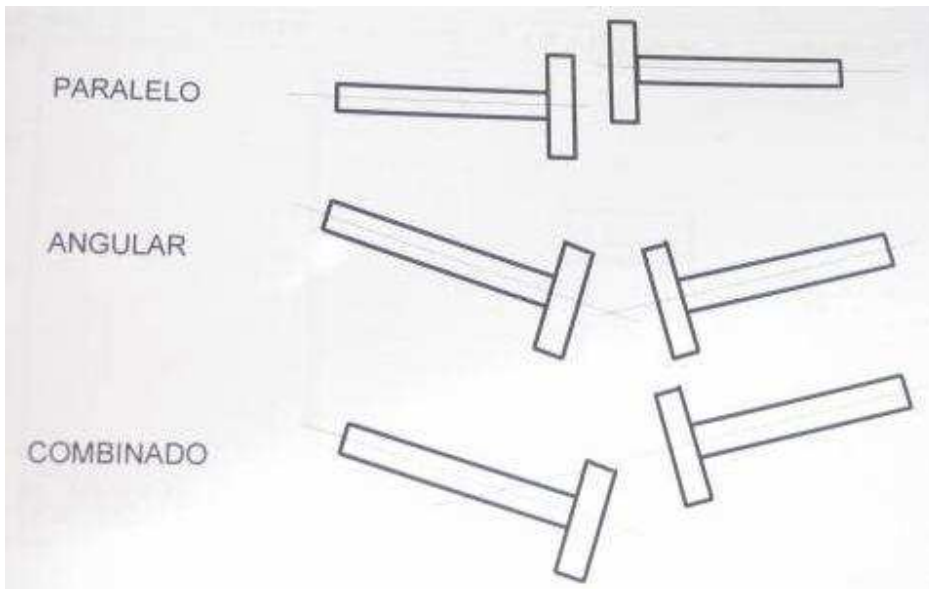
Es una forma de desequilibrio, pero que en este caso no tiene solución por equilibrado. En este caso, se detecta la primera armónica (1xRPM) y se ve claramente la segunda.

6.4.3. Desalineamiento

Es una fuente de vibración fácilmente corregible, y causa más del 30% de los problemas de vibración que se detectan en la industria. Es importante alinear los equipos al instalarlos, comprobar la alineación cada cierto tiempo (anualmente, por ejemplo) y realizarla siempre que se intervenga en el equipo. Hay que tener en cuenta que existen ciertas tolerancias al desalineamiento, y que no es necesario que este sea absolutamente perfecto. Cada máquina y cada fabricante suelen aportar la tolerancia en el alineamiento. También es importante tener en cuenta que el hecho de disponer de acoplamientos flexibles no elimina la necesidad de alinear los equipos: la mayoría de los fabricantes recomienda alinear estos

acoplamientos con el mismo cuidado y exactitud que si fueran acoplamientos rígidos

El desalineamiento puede ser paralelo, angular o combinado, como puede apreciarse en la figura adjunta:



Las siguientes referencias pueden ser útiles a la hora de estudiar el espectro de vibración:

- Si las tres primeras armónicas son significativas en las mediciones efectuadas en la dirección radial horizontal, es muy posible que el desalineamiento sea del tipo paralelo y esté presente en el plano vertical
- Si las tres primeras armónicas son significativas en las mediciones efectuadas en la dirección radial vertical, es muy posible que el desalineamiento sea del tipo paralelo y esté presente en el plano horizontal
- Si las tres primeras armónicas son significativas en las mediciones efectuadas en la dirección axial, entonces es muy posible que el desalineamiento sea del tipo angular
- Si las tres primeras armónicas son significativas en las tres direcciones (radial horizontal, radial vertical y axial) podemos afirmar que el alineamiento que presenta el equipo es un verdadero desastre.

Es importante destacar que el nivel de vibración puede ser considerado bajo según la tabla de severidad anterior, pero si están presentes esas tres armónicas posiblemente haya un problema de desalineamiento que puede traducirse en una rotura, independientemente del nivel.

6.4.4. Problemas electromagnéticos.

Los motores y alternadores, además de todos los problemas asociados al resto de equipos

rotativos, son susceptibles de sufrir toda una serie de problemas de origen electromagnético, como son los siguientes: desplazamiento del centro magnético estator respecto del centro del rotor; barras del rotor agrietadas o rotas; cortocircuito o fallos de aislamiento en el enrollado del estator; o deformaciones térmicas. Suelen apreciarse picos a la frecuencia de red (50 o 60 Hz), a la velocidad de rotación (1xRPM) y armónicos proporcionales al número de polos. También es fácil apreciar en los espectros la presencia de bandas laterales que acompañan a la vibración principal. En general, tienen poca amplitud, por lo que suelen pasar desapercibidos. Es necesaria gran experiencia para identificarlos y no confundirlos con otros problemas, como desalineamiento, desequilibrio, etc.

6.4.5. Problemas de sujeción a bancada

Otro de los problemas habituales en máquinas rotativas. Puede manifestarse como mala sujeción general a la bancada, o como es más habitual, con uno de sus apoyos mal fijado. En este caso, se denomina 'Pedestal Cojo', y es un problema más frecuente de lo que pudiera parecer. Se identifica en general por presentar altos niveles de vibración en la primera y segunda armónica de la frecuencia de rotación (1XRPM y 2XRPM). Es curioso que, cuando se presenta el problema, aflojando uno de los apoyos la vibración DISMINUYE, en vez de aumentar. Ese suele ser uno de los principales indicativos de la presencia de este problema.

6.4.6. Holguras excesivas

En ocasiones las tolerancias de holgura en la unión de elementos mecánicos de la máquina ha sido excedida, o sencillamente, se han aflojado debido a la dinámica de operación de la máquina. Presenta las mismas frecuencias de vibración que el desalineamiento o el desequilibrio, pero cuando se intenta alinear o equilibrar la máquina se observa que los niveles de vibración no disminuyen.

6.4.7. Mal estado de rodamientos y cojinetes

Los fallos en rodamientos y cojinetes se detectan en general a frecuencias altas, por lo que son fácilmente identificables observando las vibraciones en el rango alto, es decir, a frecuencias elevadas (20xRPM o más). Para su análisis es conveniente tener en cuenta en número de elementos rodantes, el tipo (bolas, rodillos) etc.

- Torbellinos de aceite. Es un problema curioso y de fácil detección por análisis. Tienen su origen en una mala lubricación, que hace que la capa de lubricante varíe en espesor en el cojinete o rodamiento, dando lugar a una vibración que en general se sitúa por debajo de la frecuencia de giro de la máquina, y que suele aparecer típicamente a 0,5xRPM

- Resonancia. La resonancia está relacionada con la velocidad crítica y la frecuencia natural de la máquina. A esa frecuencia, que es diferente para cada equipo, las vibraciones se ven amplificadas de 10 a 30 veces. En general, los fabricantes de máquinas rotativas garantizan que la velocidad crítica de sus rotores sea suficientemente diferente de la velocidad de operación de éstos, por lo que es difícil encontrar un problema de velocidad crítica en una máquina correctamente diseñada.

6.5. El software experto

Determinados fabricantes de equipos de análisis han desarrollado programas informáticos capaces de interpretar automáticamente los espectros de vibración. Están basados en la experiencia de los técnicos y programadores, y resultan de gran ayuda. No obstante, siempre es necesario contrastar el resultado obtenido por el equipo con el de un buen analista.

7. Análisis de aceites

7.1. Generalidades

El análisis de aceites de lubricación, técnica aplicable a trafos y a equipos rotativos, suministra numerosa información utilizable para diagnosticar el desgaste interno del equipo y el estado del lubricante. En general, en una planta industrial se aplica a los siguiente equipos:

- Motor alternativo
- Turbina de gas
- Turbina de vapor
- Generador
- Transformadores principal, de servicio y auxiliar
- Bombas de alimentación de la caldera, sobre todo de alta y media presión
- Bombas del circuito de refrigeración
- Reductores de ventiladores
- Ventiladores de torres de refrigeración
- Aerocondensadores
- Prensas y maquinaria con equipos oleohidráulicos de gran capacidad

El estado del equipo se determina estableciendo el grado de contaminación del aceite debido a la presencia de partículas de desgaste o sustancias ajenas a este.

El estado del aceite se determina comprobando la degradación que ha sufrido, es decir, la

pérdida de capacidad de lubricar causada por una variación de sus propiedades físicas y químicas y sobre todo, las de sus aditivos.

La contaminación del aceite se puede determinar cuantificando en una muestra del lubricante, el contenido de partículas metálicas, agua, materias carbonosas y partículas insolubles.

La degradación se puede evaluar midiendo la viscosidad, la detergencia, la acidez y la constante dieléctrica

Es conveniente hacer notar que la contaminación y la degradación no son fenómenos independientes, ya que la contaminación es causante de degradación y esta última puede propiciar un aumento de la contaminación

7.2. Análisis de partículas de desgaste

Las técnicas que se utilizan actualmente para identificar y cuantificar el contenido de partículas de desgaste son principalmente la espectrometría de emisión, la espectrometría de absorción y la ferrografía, aunque también existen una serie de técnicas complementarias, como son el conteo de partículas o la inspección microscópica.

La espectrometría de emisión resulta muy útil, pues en menos de un minuto se analizan muchos elementos distintos. Se basa en que los átomos, al ser excitados, emiten una radiación cuyas longitudes de onda son función de su configuración electrónica. Por ello, cada elemento emite unas longitudes de onda características diferentes, y es posible identificar esos elementos a partir del análisis del espectro de emisión. El resultado del análisis es la concentración en ppm (partes por millón) de los diferentes metales presentes en una muestra de aceite usado.

La espectrometría de absorción es una técnica más laboriosa, pues necesita un análisis por cada elemento. Se basa en la que la cantidad de luz absorbida de una longitud de onda concreta por un átomo determinado es proporcional a la concentración de ese átomo.

La ferrografía es la más compleja de las tres técnicas y requiere de grandes conocimientos y experiencia para aprovechar todas sus posibilidades y toda la información que brinda. La muestra a analizar se diluye y se pasa por un cristal inclinado, que tiene un tratamiento superficial específico y está sometido a un fuerte campo magnético. Las fuerzas magnéticas retienen las partículas en el cristal, y se alinean en tiras. Las partículas se distribuyen por tamaños, de manera que las más grandes quedan junto al borde superior y las más pequeñas en la parte inferior. Las partículas poco magnéticas no se alinean en tiras, sino que se depositan al azar a lo largo del ferrograma permitiendo una rápida distinción entre partículas férricas y no férricas. Calentando el ferrograma se puede distinguir entre fundición de hierro, acero de alta y baja aleación, diferentes metales no ferrosos y materiales

orgánicos e inorgánicos.

El conteo de partículas aporta información sobre la distribución de los distintos elementos presentes en la muestra de aceite por tamaños. La muestra pasa lentamente a través de un sensor donde las partículas contenidas son iluminadas por un rayo láser que produce en un fotodiodo un pico de corriente de altura proporcional al tamaño de la partícula; un sistema electrónico separa las señales en categorías.

La microscopía es la inspección con un microscopio de las partículas recogidas en colectores magnéticos, depósitos de aceite o filtros; es una técnica lenta pero relativamente económica.

Una vez determinado el contenido de partículas de desgaste, es necesario conocer su origen, para identificar dónde hay un problema potencial. La siguiente tabla puede servir de referencia en la búsqueda de origen de esas partículas:

Aluminio Cojinetes
Bario Fugas de refrigerante, aditivo detergente
Boro Polvo atmosférico, fugas de refrigerante
Calcio Aditivo antiespumante
Cobre Cojinetes de bronce
Estaño Cojinetes de bronce
Hierro Mecanismos de distribución y engranajes
Níquel Engranajes
Silicio Aire atmosférico, aditivo antiespumante
Sodio Fugas de refrigerante
Zinc Cojinetes de latón, aditivo antioxidante

7.3. Análisis de otros contaminantes

Los contaminantes que se suelen analizar son el contenido en agua y la presencia de sustancias insolubles.

El agua en el aceite normalmente procede del sistema de refrigeración, por fugas en los intercambiadores. Por regla general puede decirse que el contenido de humedad del aceite no debe superar un 0.5%. El método más sencillo para detectarlo es el llamado de crepitación, que consiste en dejar caer una gota sobre una plancha metálica a 200 °C y escuchar si se produce el ruido característico de la crepitación. La intensidad del ruido es indicativa de la cantidad de agua contaminante. Hay otros métodos rápidos de detección como el polvo Hidrokit y el papel Watesmo, utilizados por los minilaboratorios contenidos en maletas portátiles. En grandes laboratorios se utiliza el método del reactivo Karl Fischer que permite detectar concentraciones muy pequeñas.

La presencia de insolubles en el aceite es principalmente síntoma de degradación por oxidación, principalmente por temperatura excesiva. Como norma general, puede establecerse que el contenido en insolubles no debe sobrepasar el 3%. Para su determinación, se deposita una gota de aceite usado sobre un papel de filtro de alta porosidad, y se observa al cabo de varias horas. La mancha que se forma presenta tres zonas concéntricas:

- Una zona central oscura, por el alto contenido en carbón y rodeada de una aureola donde se depositan las partículas más pesadas.
- La zona intermedia o de difusión, más o menos oscura, que con su extensión indica el poder dispersante del aceite.
- La zona exterior o translúcida, que no tiene materias carbonosas y es donde llegan las fracciones más volátiles del aceite. Una extensión exagerada puede deberse a la presencia de combustible auxiliar (gasoil, fuel, etc.).

Para cada aceite se recomienda hacer dos manchas, una a 20 °C y otra a 200 °C, comprobando el estado del aceite (dispersividad y detergencia) en ambas condiciones.

7.4. Análisis de las propiedades del aceite

Las propiedades que se analizan son la viscosidad (principal característica de un lubricante), detergencia, acidez y constante dieléctrica

La determinación de la viscosidad se hace midiendo el tiempo que tarda una bola en caer de un extremo a otro de un tubo lleno de aceite y convertirlo a unidades de viscosidad con la ayuda de un gráfico (viscosímetro de bolas)

La viscosidad de un aceite usado puede aumentar debido a su degradación (insolubles, agua, oxidación) o puede disminuir por la dilución por combustible auxiliar. Se considera que un aceite ha superado su límite de variación de la viscosidad si a 100°C ésta ha variado más de un 30%.

El método más utilizado para la evaluación de la detergencia (capacidad para limpiar y disolver suciedad en el circuito hidráulico) es el de la mancha de aceite vista en el apartado anterior, por su rapidez y sencillez. Cuando un lubricante posee una buena detergencia la zona de difusión de la mancha es bastante extensa, y va disminuyendo a medida que pierde su poder detergente, desapareciendo cuando la detergencia está por agotarse.

La acidez no puede determinarse en campo o con métodos sencillos. Se evalúa con el número de basicidad total (TBN) y se determina según las ASTM D664 Y D2896; la primera usa el método de dosificación potenciométrica de ácido clorhídrico y la segunda el de

dosificación potenciométrica de ácido perclórico. La basicidad del aceite permite neutralizar los productos ácidos que se forman en el circuito y que pueden atacar las piezas lubricadas. Por esta razón la pérdida de reserva alcalina es uno de los síntomas más utilizados para determinar la degradación del aceite y el período de cambio óptimo; en ningún caso el TBN de un aceite usado puede ser menor del 50% del correspondiente al aceite nuevo.

La determinación de la constante dieléctrica es muy importante, pues representa la capacidad aislante del aceite y es una medida de la magnitud de la degradación del aceite usado. Existen en el comercio equipos portátiles destinados al uso en taller y que utilizan la medición, con sensores capacitivos, de la variación de la constante dieléctrica del aceite usado con respecto al aceite nuevo.

7.5. Análisis de aceite en transformadores

El aceite en un transformador tiene como principales funciones el aislamiento dieléctrico y la evacuación de calor del núcleo del bobinado. La capacidad aislante de un aceite se ve afectada por muchos factores, que actúan solos o en conjunto, y muchas veces unos son catalizadores de los otros. Los catalizadores más importantes del proceso de oxidación son el hierro y el cobre. Hay una serie de factores también influyen en ese proceso oxidativo del aceite: la humedad, el calor, la tensión eléctrica, y la vibración.

Si el transformador no es llenado al vacío y sellado con respecto a la atmósfera, se necesitan inhibidores a la oxidación. Estos inhibidores pueden estar presentes en el aceite ya sea desde su fabricación o agregados posteriormente. Estos inhibidores son los llamados BHT / DBPC y son agregados al aceite a razón del 0,3% ppm. Es importante destacar que los inhibidores no tienen eficacia cuando el proceso de oxidación ha comenzado, por lo que el aceite tiene que ser inhibido, cuando no hay presencia de compuestos óxidos en el aceite.

Los ensayos físico-químicos que se realizan en el aceite son los siguientes:

- Acidez, es medida de acuerdo a la cantidad de Hidróxido de potasio que es necesario para neutralizar los compuestos ácidos en una muestra de aceite.
- TIF, indica la presencia de compuestos polares disueltos en el aceite con mucha sensibilidad.
- Rigidez Dieléctrica. Es medida en una celda entre dos electrodos, y mide en kilovoltios la capacidad de resistir la descarga disruptiva en el medio aceitoso.
- Color, medido con un colorímetro ubica la muestra en una escala preestablecida. El cambio de color es más importante que el color mismo. Por ello, es necesario comparar el aceite analizado con un aceite de las mismas características sin usar.
- Gravedad específica, o densidad relativa medida a 15°C.
- Visual. Con esta inspección el aceite puede diferenciarse en nublado, claro, brillante, refulgente, etc.
- Sedimentos. Es también una inspección visual, y para ser aceptable no debería detectarse

ningún tipo de sedimento.

- Contenido de inhibidor. En aceites aditivados con productos inhibidores de humedad como el BHT o el DBPC, este ensayo determina el porcentaje de inhibidor que contiene. Cuando el inhibidor comienza a agotarse, el proceso de oxidación puede comenzar, y las características dieléctricas del aceite pueden verse alteradas.
- Factor de Potencia, o tangente delta mide las corrientes de fuga a través de los contaminantes en suspensión en el aceite. Se mide a 25°C y a 100°C. Es uno de los ensayos más importantes puesto que es capaz de detectar leves contaminaciones de compuestos polares.
- Humedad, mide el agua presente en el aceite, que puede estar en suspensión, solución, o emulsión. La humedad también es responsable de la variación de la capacidad aislante
- Cromatografía gaseosa. La cromatografía gaseosa es una herramienta muy valiosa en el mantenimiento predictivo, puesto que con una correcta evaluación de los gases presentes en el aceite puede diagnosticarse con cierta precisión lo que puede estar pasando dentro del transformador. Pueden deducirse a partir de los datos de una cromatografía la presencia de puntos calientes, efecto corona, arcos de alta o baja energía, etc.
- Presencia de metales. Con este ensayo se determina la presencia de aluminio, hierro y cobre disueltos en el aceite, generalmente por Absorción Atómica. De acuerdo al resultado del ensayo se puede comprobar qué parte del transformador está dañada. Si es el núcleo se destacará el hierro, y si es el bobinado se destacará el cobre, o el aluminio.
- Análisis de PCB. El PCB o Bifenilo policlorado es una sustancia utilizada como refrigerante, que ha resultado ser un poderoso cancerígeno y que figura entre los 12 contaminantes más poderosos. Es necesario realizar el análisis de PCB en aceites de los que se desconozca su procedencia o en aquellos que se sepa que han sido contaminados con este producto. El valor límite aceptable de contaminación por PCB es de 50 PPM. Por encima de este límite el aceite debe ser destruido por su impacto ambiental.

Cuando se ha llegado a un punto donde el aceite se encuentra fuera de sus especificaciones, y en consecuencia deja de cumplir sus funciones con eficacia es necesario iniciar el tratamiento de regeneración que le devuelva al aceite todos sus parámetros originales, extendiendo así la vida del transformador.

8. Termografía Infrarroja

8.1. Generalidades y principios de funcionamiento

La Termografía Infrarroja es la técnica de producir una imagen visible a partir de radiación infrarroja invisible (para el ojo humano) emitida por objetos de acuerdo a su temperatura superficial. La cámara termográfica es la herramienta que realiza esta transformación.

Estas cámaras miden la temperatura de cualquier objeto o superficie, y producen una imagen con colores que refleja la distribución de temperaturas. La imagen producida por una cámara infrarroja es llamada Termografía o Termograma.

Esta técnica, de haber sido asociada a costosas aplicaciones militares y científicas, se ha convertido en una técnica común y con una gran cantidad de aplicaciones industriales. A través de imágenes térmicas es posible "observar" el escape de energía de una tubería o edificio, detectar e impedir el fallo de un circuito eléctrico o de un rodamiento.

La termografía permite detectar, sin contacto físico con el elemento bajo análisis, cualquier falla que se manifieste en un cambio de la temperatura, midiendo los niveles de radiación dentro del espectro infrarrojo.

En general, un fallo electromecánico antes de producirse se manifiesta generando e intercambiando calor. Este calor se traduce habitualmente en una elevación de temperatura que puede ser súbita, pero, por lo general y dependiendo del objeto, la temperatura comienza a manifestar pequeñas variaciones.

Si es posible detectar, comparar y determinar dicha variación, entonces se pueden detectar fallos que comienzan a gestarse y que pueden producir en el futuro cercano o a mediano plazo una parada de planta y/o un siniestro afectando personas e instalaciones. Esto permite la reducción de los tiempos de parada al minimizar la probabilidad de paradas imprevistas, no programadas, gracias a su aporte en cuanto a la planificación de las reparaciones y del mantenimiento.

La inspección termográfica en sistemas eléctricos tiene como objetivo detectar componentes defectuosos basándose en la elevación de la temperatura como consecuencia de un aumento anormal de su resistencia óhmica. Entre las causas que originan estos defectos, entre otras, pueden mencionarse:

- Conexiones con apriete insuficiente
- Conexiones afectadas por corrosión
- Suciedad en conexiones y/o en contactos
- Degradación de los materiales aislantes

Todo equipo y/o elemento emite energía desde su superficie. Esta energía se emite en forma de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz a través del aire o por cualquier otro medio de conducción.

La cantidad de energía está en relación directa con su temperatura. Cuanto más caliente está el objeto, mayor cantidad de energía emite, y menor longitud de onda tiene esa energía. En general, esa emisión se hace en longitudes de onda mayor que la correspondiente al color rojo, que es la mayor que es capaz de captar el ojo humano. El espectro de emisión, es pues, infrarrojo y por tanto invisible. La cámara termográfica permite "ver" esa energía, transformándola en imágenes visibles

El descubridor de la radiación infrarroja fue Sir Frederick William Herschel, nacido en

Alemania 1738, quien se interesó en verificar cuanto calor pasaba por filtros de diferentes colores al ser observados al sol. Sir Willian pudo determinar que los filtros de diferentes colores dejaban pasar diferente nivel de calor. Posteriormente hizo pasar luz del sol por un prisma de vidrio y con esto se formó un espectro (el arco iris). Llevando un control de la temperatura en los diferentes colores del espectro encontró que mas allá del rojo, fuera de la radiación visible, la temperatura es mas elevada y que esta radiación se comporta de la misma manera desde el punto de vista de refracción, reflexión, absorción y transmisión que la luz visible. Era la primera vez que se demostraba que había una radiación invisible al ojo humano.

8.2. Guía de actuación

Como primera aproximación, pueden tomarse como referencia las siguientes variaciones sobre la temperatura habitual, a fin de determinar un programa de reparación:

- Hasta 20°C..Indica problemas, pero la reparación no es urgente. Se puede efectuar en paradas programadas.
- 20°C a 40°C. Indica que la reparación requerida es urgente dentro de los 30 días.
- 40°C y más. Indica una condición de emergencia. La reparación, se debe realizar de inmediato.

Es importante indicar que en la termografía, como en casi todas las técnicas predictivas, tan importante como el valor puntual es la evolución del valor. Una única medición no tiene por qué ser indicativa de que exista un problema, y en cambio, el aumento de temperatura sobre lo que se midió en otras ocasiones en las mismas condiciones es lo que indica que se está gestando un problema que requerirá de solución. Por tanto, para poder determinar por termografía la existencia de un problema en la mayor parte de las ocasiones tiene que haber constancia de una evolución negativa de una temperatura medida anteriormente en condiciones similares. Lo dicho no es de aplicación cuando se detectan fugas (de calor, de vapor o de aire comprimido).

8.3. Ventajas y desventajas de la termografía infrarroja

Entre las ventajas de esta técnica, podemos citar:

- La inspección se realiza a distancia sin contacto físico con el elemento en condiciones normales de funcionamiento, lo cual nos permite medir, desde una distancia de seguridad, altas temperaturas o bien registrar las temperaturas de una línea de alta tensión sin tener que parar ningún equipo

- Se trata de una técnica que permite la identificación precisa del elemento defectuoso, a diferencia de la pirometría que es una medida de temperatura de un punto.
- Es aplicable a diferentes equipos eléctricos y mecánicos: bornes de transformadores, transformadores de intensidad, interruptores, cables y piezas de conexión, motores, reductores, acoplamientos, tuberías, aislamientos, etc.
- Los sensores presentan un tiempo de respuesta muy pequeño a la radiación térmica incidente, con lo cual la medida es prácticamente instantánea. Esto permite cuantificar la gravedad del defecto y la repercusión de las variaciones de carga sobre el mismo para posibilitar programar las necesidades de mantenimiento en el momento más oportuno (que puede ir desde el simple seguimiento a una limitación de carga o a una intervención inmediata antes de que el defecto pueda producir una parada imprevista).
- El sistema de barrido óptico que incorporan los sistemas de termografía, nos permite inspeccionar grandes extensiones, y grabar en un soporte magnético la imagen de interés. La imagen termográfica registrada puede analizarse a posteriori, para tratarla con el software adecuado.

Entre las desventajas y/o inconvenientes, hay que considerar las siguientes:

- Capacidad limitada para la identificación de defectos internos si éstos no se manifiesta externamente en forma de temperatura.
- Los reflejos solares pueden enmascarar o confundir defectos. Debido a las interferencias solares, puede ser necesario realizar ciertas lecturas críticas durante la noche o en días nublados
- El estado de carga del elemento bajo análisis puede influir en la determinación de las anomalías.

8.4 Principales características de una cámara termográfica

Las principales características que hay que comprobar en una cámara termográfica a la hora de comparar entre diferentes modelos para elegir la más adecuada para una aplicación son las siguientes:

- Resolución: nº de pixels o de puntos de medida
- Rangos de medida de temperatura
- Precisión
- Capacidad de diferenciación de los incrementos de temperatura
- Distancia a la que es capaz de medir
- Duración de la batería
- Tamaño de la pantalla
- Capacidad de almacenamiento y tipo de soporte en que lo almacena
- Tamaño, maniobrabilidad de la cámara y resistencia a caídas
- Posibilidad de toma simultánea de fotografías ópticas, para facilitar la emisión de informes
- Software que acompaña a la cámara

8.5 Proceso de inspección

En el proceso de inspección termográfica es posible definir, en general, las siguientes etapas:

1. Planificación de la inspección en los períodos en los que las condiciones son más desfavorables (alta carga, máxima velocidad de giro, etc.)
2. Evaluación y clasificación de los calentamientos detectados.
3. Emisión de informes, con identificación de las fallas y el grado de urgencia para su reparación
4. Seguimiento de la reparación
5. Revisión termográfica para evaluar la efectividad del mantenimiento correctivo realizado.

8.6. Aplicaciones de la termografía en una planta industriales

Las termografías pueden ser aplicadas en cualquier situación donde un problema o condición pueda ser visualizado por medio de una diferencia de temperatura. Una termografía puede tener aplicación en cualquier área siempre y cuando esta tenga que ver con variación de temperatura

Los puntos de aplicación más importantes de una termografía son los siguientes:

- Inspección de la subestación eléctrica
- Inspección de transformadores
- Inspección de las líneas eléctricas de alta tensión
- Inspección de embarrados y de cabinas de media tensión
- Inspección de cuadros eléctricos de todo tipo
- Inspección del estado de los equipos de excitación de generadores
- Inspección del estado de escobillas, en motores y en generadores
- Inspección de motores eléctricos (estado de rodamientos, cojinetes, acoplamientos e incluso de una posible desalineación)
- Inspección de tuberías del ciclo agua-vapor de caldera, para comprobar daños o defectos de aislamiento
- Inspección del aislamiento del cuerpo de la caldera
- Inspección de intercambiadores de calor
- Inspección del condensador
- Inspección de trampas de vapor
- Detección de fugas de gas combustible
- Detección de fugas de aire comprimido

9. Bibliografía

Santiago García Garrido, 'Operación y mantenimiento de centrales de ciclo combinado, Ed Díaz de Santos, 2007

Evelio Palomino Martín, 'La medición y el análisis de vibraciones en el diagnóstico de máquinas rotativas', Centro de estudios innovación y mantenimiento, Cuba, 1997. (El apartado dedicado a análisis de vibraciones está basado especialmente en este texto)

Pedro Saavedra G, y otros, Evaluación de la severidad vibratoria, Universidad de la Concepción, Dep de Energías mecánicas, 2002