



PROGRAMA DE AÑO SABÁTICO

LIBRO DE MANTENIMIENTO

Elaboró: Ing. Mario Toledo Martínez

Período: Agosto 2017-Agosto 2018

Índice general

Prólogo	III
1. Evolución y taxonomía del mantenimiento	1
1.1. Evolución del Mantenimiento	1
1.2. Concepto e Importancia del Mantenimiento Industrial	3
1.3. Definición del Mantenimiento	4
1.4. Papel del Mantenimiento en la Industria	4
1.4.1. Responsabilidades del Mantenimiento	5
1.4.2. Justificación del Mantenimiento	6
1.4.3. Importancia de la Administración del Mantenimiento	7
2. Teorías del mantenimiento: Correctivo, preventivo y predictivo	11
2.1. Definición y características	11
2.2. Ventajas y Desventajas	15
2.3. Programación	17
3. Lubricación	21
3.1. Principios básicos de la lubricación	21
3.1.1. Función de la Lubricación	22
3.2. Clasificación de los lubricantes.	23
3.3. Sistemas de aplicación de lubricantes	27
3.3.1. Métodos de aplicación de lubricantes con aceite	27
3.3.2. Métodos de lubricación con grasa	31
3.4. Selección de lubricantes	32
3.4.1. Propiedades mas importantes para seleccionar aceites lubricantes	32

3.4.2.	Parámetros importantes para seleccionar un lubricante	33
3.4.3.	Selección de grasas lubricantes	35
3.5.	Programas de lubricación	37
4.	Aplicación de la teoría de las vibraciones	41
4.1.	Medición de la vibración	42
4.1.1.	Características de la vibración	43
4.1.2.	Instrumentos de medición de la vibración	47
4.2.	Análisis de la vibración	48
4.3.	Diagnóstico de vibraciones	52
4.4.	Balanceo de rotores	56
4.4.1.	Tipos de desbalance	56
4.4.2.	Planos para balanceo	57
4.4.3.	Métodos para balanceo de rotores	58
4.4.4.	Requisitos para el balanceo	59
4.4.5.	Método vectorial para balanceo en un plano	60
4.5.	Registro y análisis de vibraciones	61
5.	Montaje y técnicas de alineación	63
5.1.	Cimentación	63
5.1.1.	Requerimientos de cimentación	64
5.1.2.	Tipos de anclajes	64
5.2.	Procedimiento de montaje	66
5.3.	Nivelación y alineación de equipos	67
5.3.1.	Procedimientos y técnicas de alineación	70
	Bibliografía	74

Prólogo

La asignatura de Mantenimiento esta escrita para el Plan Educativo 2010 con Clave Mec 1016 de Ingeniería Mecánica basada en el Modelo Educativo Formación por Competencias.

En esta materia el estudiante adquiere una formación que le permite aplicar ciertos conocimientos adquiridos con anterioridad, los cuales le ayudarán a resolver determinados problemas relacionados con el mantenimiento a los diferentes equipos, maquinaria e instalaciones utilizados en la industria. Esto le permitirá insertarse en el sector productivo en el área de mantenimiento, si éste fuera el caso. Por esta razón, se puede considerar que mantenimiento es una asignatura de extrema importancia al ser considerada como aplicativa.

Para cursarla es necesario que el alumno haya llevado materias anteriores como: Aire Acondicionado y Refrigeración, Diseño de Elementos de Máquinas, Vibraciones Mecánicas, Máquinas de fluidos Incompresibles, Termodinámica, etc.

Este programa esta estructurado de la siguiente manera: En la UNIDAD 1. Evolución y Taxonomía del Mantenimiento, UNIDAD 2. Teorías de los Mantenimientos: Correctivo, Preventivo y Predictivo; UNIDAD 3. Lubricación, UNIDAD 4. Aplicación de las Teorías de las Vibraciones y UNIDAD 5. Montaje y Técnicas de Alineación; como puede verse es un programa ambicioso con las competencias actuales que el alumno debe dominar.

Ing. Mario Toledo Martínez
Catedrático de Ingeniería Mecánica del ITTG.

UNIDAD 1

EVOLUCIÓN Y TAXONOMÍA DEL MANTENIMIENTO

1.1. Evolución del Mantenimiento

Prehistoria

En ésta etapa de la historia del hombre se puede asumir que ya se hacían trabajos de mantenimiento sobre todo correctivo, aplicado a la reparación de los utensilios de caza. Para ello, se presenta a continuación una cronología de éste.

1798. Durante la primera Revolución industrial las piezas se fabricaban en forma manual, por lo que era necesario hombres diestros y hábiles que realizarán el trabajo, cabe agregar que la calidad de los productos era variable.

1828. Surgió la necesidad de mejorar el Mantenimiento correctivo, pues los trabajos eran muy tardados y frecuentemente exigían la atención de varios especialistas ya que las piezas rotas tenían que volverse a fabricar ya que eran modelos únicos hechos a la medida.

1879. Debido a la proliferación de fábricas, en muchas se contrato personal sin preparación, la cual complicó fuertemente su adiestramiento y la administración de las mismas.

1903. Los bienes que necesariamente tenían que ser de buena calidad tenían un precio alto y por lo tanto poca demanda, solo los ricos podían aspirar a comprar.

1910. Se incrementó la cantidad de máquinas y por esa razón natural, el trabajador dedicado a la producción invirtió cada vez más de su tiempo para hacer trabajos de arreglo a las mismas. El mantenimiento correctivo ya es parte fundamental de la industria.

1914. Debido a la demanda urgente de productos, pero en contraste, una gran cantidad de máquinas con fallas era cada vez mas grande. El personal de Mantenimiento correctivo se le asignó la tarea de prevención para evitar que las máquinas mas importantes fallarán. Entonces nacieron los departamentos de Mantenimiento

preventivo (PM).

1916. Se desarrollo el actual proceso administrativo, que surge en la gestión japonesa con cinco elementos que son planeación, organización, integración, ejecución y control.

1927-1931. Debido al crecimiento de la ciencia, los trabajos de Taylor en la aplicación de tiempos y movimientos, hizo crecer el interés por el uso de estadísticas en el trabajo, pero su aplicación era muy lenta y poco confiable.

1939-1945. Se sistematizan los trabajos de Mantenimiento preventivo.

1946. Se creó la Sociedad Americana de Control de Calidad, de la cual fue socio en Dr. Edward Deming. Dicha sociedad ayudó al estudio estadístico del trabajo y mejoró la calidad de los productos obtenidos.

1950. Los trabajos de Deming dieron inicio a la Tercera Revolución Industrial, al establecer en la industria japonesa el Control Estadístico de Calidad.

1960. Se dió el concepto de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad comienza con la aplicación del sistema equipo satisfactorio, el cuál debe cuidar su equilibrio con respecto a las expectativas del usuario.

1961. A partir de éste año Shingeo comenzó a desarrollar el sistema Poka-Yoke que literalmente significa "a prueba de errores".

1965. En los años sesenta tuvo lugar la aparición del mantenimiento productivo, lo cual constituye la tercera fase del Mantenimiento incluye los principios del Mantenimiento Preventivo, pero le agrega un plan de mantenimiento para toda la vida útil del equipo, más labores e índices destinados a mejorar la fiabilidad y mantenibilidad.

1971. Se crea el mantenimiento total (TPM) basado en el mantenimiento productivo (PM) estadounidense. Se comienza a implementar en Japón, el mismo incorpora una serie de conceptos nuevos de los que destaca el *Mantenimiento Autónomo*, el cual es ejecutado por los propios operarios de producción y la participación activa de todos los empleados.

1978. Se presenta la guía MSG-3 (Maintenance Steering Group-3) para mejorar el mantenimiento en naves áreas.

1980. Se desarrolla la Optimización del Mantenimiento Planificado (PMO). Se aplica el RCM-2(Reability Centred Maintenance) en toda clase de industria.

1980-1990. En éstos años el mantenimiento recobra mucha fuerza y se empiezan a realizar trabajos de causa y efecto para averiguar el origen de los problemas. Surge el mantenimiento predictivo o de detección precoz de síntomas incipientes para actuar antes de que las consecuencias sean inadmisibles. Se dan responsabilidades al área de producción para la detección de fallas en las máquinas.

1995. Hiroyuki Hirano presentó su libro 5 pillars of the visual Workplace (5Ss) comúnmente llamado las 5 eses, la aplicación de ésta filosofía mejoró de manera notable el ambiente de trabajo , la limpieza de las fábricas; la definición y organización de herramientas y sobre todo, la calidad y productividad.

2005. Hasta la fecha existe un gran problema con la palabra mantenimiento, pues se usa para tratar de explicar dos sistemas de trabajo diferentes. El primero es el cuidado del equipo (máquina/hombre), y el segundo es el cuidado del producto o servicio que proporciona la máquina. Esto se presenta como una dicotomía, aunque sus efectos se interrelacionan y han traído como consecuencia una gran confusión ya que no existe una taxonomía que nos permita hablar el mismo idioma.

1.2. Concepto e Importancia del Mantenimiento Industrial

CONCEPTO. Mantenimiento es una aplicación de la Ingeniería para obtener el máximo aprovechamiento de los recursos de la empresa; su máxima disponibilidad, alta fiabilidad y seguridad, dentro de un marco económico.

El mantenimiento se refiere a los problemas cotidianos de conservar los bienes físicos de una empresa en buenas condiciones de operación. Aunque en la práctica el alcance de las actividades de un departamento de mantenimiento es diferente en cada planta y se encuentra influenciado por: tamaño de la misma, por el tipo, por la política y por los antecedentes de la empresa y de la rama industrial; por lo cual las actividades que se desarrollan se pueden clasificar en:

a). *FUNCIONES PRIMARIAS.*

b). *FUNCIONES SECUNDARIAS.*

FUNCIONES PRIMARIAS. Estas actividades requieren poca definición, dado que es una de las funciones principales de todos los grupos de mantenimiento. La responsabilidad incluida en esta actividad es proceder en forma rápida y económica a las reparaciones necesarias de la maquinaria utilizada en los procesos productivos, la anticipación de la necesidad de éstas reparaciones y cuando sea posible, tomar acciones preventivas; por lo cuál en el mantenimiento se requiere de un grupo de técnicos calificados capaces de desarrollar éstas labores y minimizar el tiempo durante el cual la maquinaria y equipos no están disponibles para la producción.

Así, éstas funciones se clasifican en:

- Mantenimiento del equipo existente en la planta.
- Mantenimiento de los edificios existentes en la planta y de las instalaciones.
- Inspección y lubricación de equipos.
- Producción y distribución de equipos.
- Modificaciones a los equipos y edificios existentes.
- Nuevas instalaciones.

FUNCIONES SECUNDARIAS: Son aquellas que debido a la experiencia, conocimiento técnico, antecedentes y otros factores, y/o que no hay otra división lógica de la planta a la cuál se le pueda asignar las responsabilidades de las mismas, por lo cuál se delegan al departamento de mantenimiento. Estas son:

- Almacenamiento de maquinaria y productos.
- Protección de la planta (incendios).
- Disposición de los desperdicios.
- Recuperación de materiales.
- Administración del seguro para las plantas.
- Cualesquiera otros servicios delegados al departamento de mantenimiento por la administración de la planta.

1.3. Definición del Mantenimiento

Mantenimiento es la actividad que cuida del adecuado comportamiento de los bienes físicos de la empresa, su aprovechamiento, máxima disponibilidad, alta fiabilidad y al menor costo. Esta es una actividad altamente productiva. Si se considera el requerimiento de alta competitividad del país y por lo tanto de las empresas y sus bienes, la necesidad de proporcionar el mejor mantenimiento a éstos se hace obligatoria. Por lo tanto, el mantenimiento debe trascender mediante la implantación de un sistema que considere la aplicación de las tareas técnicas y económicas oportunamente, para lo cual habrá de contar con una sólida administración y una competente ingeniería.

1.4. Papel del Mantenimiento en la Industria

El departamento de mantenimiento, como responsable de los bienes físicos, debe cuidar de la adecuada operación de los mismos, desarrollando para ello las tareas o actividades físicas del mantenimiento para lo cuál requiere apoyo de las tareas de administración de ingeniería. Para cumplir con su objetivo fundamental, el mantenimiento requiere que se realicen las siguientes actividades físicas:

Servicio. Dar servicio significa mantener la buena apariencia y adecuado funcionamiento de la maquinaria, así como la higiene del personal y seguridad de la empresa. Por sus características de desarrollo, periodicidad y costumbre, a ésta tarea se le considera como mantenimiento rutinario y se representa tanto en el mantenimiento preventivo como en el correctivo.

Cambio. Cambio o reemplazo significa restablecer el adecuado funcionamiento de la maquinaria al sustituir las partes o componentes que han fallado, si estan defectuosos y/o si su vida útil o económica han concluído.

Reparación. La reparación es restablecer el adecuado funcionamiento de la maquinaria mediante la corrección de fallas. La reparación no es la principal tarea del mantenimiento y es ésta con la cuál se le identifica, lo que constituye un criterio muy limitado.

Las reparaciones pueden ser de los siguientes tipos:

- Reparación menor.
- Reparación mayor.
- Rehabilitación (overhaul) Reconstrucción parcial.

Inspección. Tiene por objetivo la detección de las fallas potenciales en cualquiera de sus etapas y en ella se incluye la verificación.

La inspección, en un sentido mas amplio, tiene la función de vigilancia básicamente en:

- Uso. Aquí el mantenimiento debe vigilar que sea adecuado el uso de la maquinaria.
- Desarrollo de proceso. A través de la inspección se vigila y asesora que se apliquen los procesos correctos.
- Análisis de fallas. El mantenimiento tiene la obligación de conocer el origen de la falla
- Control de Calidad. Vigilar que todas las tareas del mantenimiento se realicen de acuerdo a estándares de calidad.
- Personal. La inspección en una empresa industrial debe estar a cargo de aproximadamente el 10 por ciento del personal de mantenimiento general.
- Frecuencia. Esta puede ser: Rutinaria, Periódica y especial.
- Clasificación de elementos. Es conveniente clasificar los elementos a inspeccionar en función del tipo más frecuente de fallas que pueden presentarse.

Modificación. Significa reducir o eliminar las fallas repetitivas, mediante la alteración del diseño original.

1.4.1. Responsabilidades del Mantenimiento

La responsabilidad es la obligación que el departamento de mantenimiento tiene que cumplir con otros deberes que le han sido asignados, es una obligación resultante de la delegación de la autoridad. Por lo cuál son las siguientes:

- Proporcionar seguridad de que no va haber paros durante las operaciones de producción.

- Mantener el equipo en una condición satisfactoria para lograr seguridad en las operaciones.
- Mantener el equipo a su máxima de eficiencia de operación.
- Reducir al mínimo el tiempo ocioso que resulta de los paros.
- Reducir al mínimo el costo de mantenimiento que este de acuerdo con las especificaciones anteriores
- Mantener un alto nivel de ingeniería práctica en la ejecución de los trabajos.

Para lograr éstos fines se requiere:

- La formación de un grupo de técnicos profesionales adecuadamente asesorados y supervisados.
- Un programa firme de mantenimiento.
- Tener un lote de refacciones adecuadas, de acuerdo con las prioridades de fallas más frecuentes en los equipos.
- Hacer una investigación continua de las causas y remedios de los paros de emergencia.
- Mantenerse informado acerca de las prácticas de la industria, avances técnicos, nuevos métodos, innovaciones de equipos y tecnología de materiales.
- Establecer estrecha cooperación con personal de operación, para satisfacer los requisitos de equipos y programación.

1.4.2. Justificación del Mantenimiento

El mantenimiento dentro de la industria es el motor de la producción, sin mantenimiento no hay producción. Todo equipo está sujeto a normas constantes de mantenimiento, dando así alta confiabilidad a la industria; durante el transcurso de la vida laboral, descubrimos que el mantenimiento es un proceso en el que interactúan máquinas y hombres para generar ganancias, las inspecciones periódicas ayudan a tomar decisiones basadas en parámetros técnicos.

El desempeño de la empresa estará en la calidad de mantenimiento que se provea a cada uno de los bienes físicos, es de suma importancia tener una visión a futuro, planificar y programar el mantenimiento para cubrir toda el área en el tiempo, sea a mediano o largo plazo y además reducir costos de repuestos y materiales, para un mejor desempeño; el mantenimiento esta enfocado en la mejora continua y prevención de fallas, mediante una organización que este documentada por la misma que ayude al trabajo en equipo y preparación constante para actuar sin dejar caer la producción. En la industria el jefe de mantenimiento debe ser un especialista en organización gerencial, para asegurar que todas las tareas de mantenimiento se hagan correcta y eficientemente.

1.4.3. Importancia de la Administración del Mantenimiento

Desde que se inició la aplicación de métodos científicos en la administración los resultados obtenidos en las industrias han mejorado sustancialmente, sin embargo se puede observar todavía en nuestro país que se considera erróneamente la administración como una forma secundaria y de poca importancia del quehacer humano, pero esto ha ido cambiando de acuerdo a las exigencias de la globalización.

A continuación mencionamos los recursos de la administración del mantenimiento, éstos son:

- Recurso humano (hombres).
- Recursos físicos (Máquinas, dinero, mercados y materiales).
- Recursos técnicos (Métodos).

El ser humano es el único recurso que puede mejorarse tanto como a los demás y esto lo hace el más importante que tiene una empresa. Las máquinas, el dinero, los mercados y los materiales no tienen comportamiento propio, pero existen y son evidentes. Los métodos, comúnmente llamados procedimientos de trabajo, tampoco se comportan en forma voluntaria y aunque son evidentes, son inmateriales ya que lo estructuran las ideas humanas que definen como deben hacerse eficiente y coordinadamente las tareas de mantenimiento.

Para que exista un mantenimiento eficiente en una industria se deben considerar los siguientes conceptos:

- Planeación.
- Organización.
- Ejecución.
- Control.

En la figura 1.1 pueden apreciarse dichos conceptos: 1.-PLANEACION. Es el primer concepto de la etapa del proceso administrativo, por lo tanto la planeación consiste en fijar el recurso de acción que ha de seguirse, estableciendo los principios que habrán de orientarlo, la secuencia de operaciones y la determinación del tiempo y recursos necesarios para su realización. La planeación contiene 5 puntos importantes a considerar:

- Objetivos.
- Políticas.
- Procedimientos.
- Programas.
- Presupuestos.

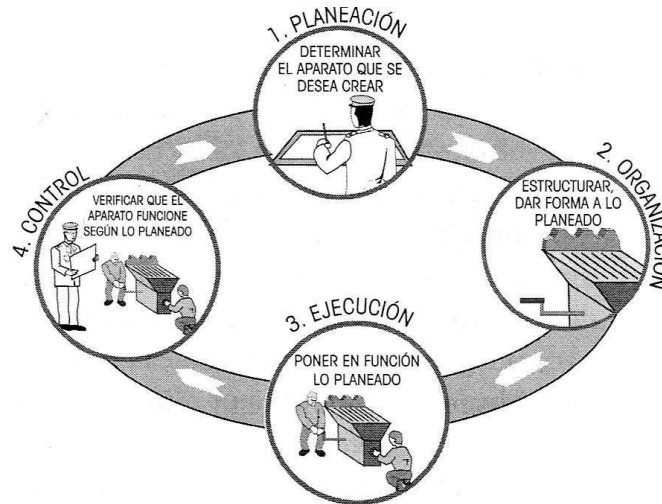


Figura 1.1: Elementos de la administración del mantenimiento

Al planear se principia definiendo el objetivo como lo que deseamos conseguir y obtener con nuestras actividades y de éste provienen las políticas y enunciados que proporcionan guías para facilitar el trabajo administrativo, después se deben elaborar los procedimientos de trabajo, lo que nos lleva a definir la interrelación de recursos por emplear, incluyendo el tiempo, de aquí podemos elaborar programas que nos puedan mostrar todo el plan a seguir; hasta aquí hemos terminado la planeación y ahora tenemos todos los elementos necesarios para elaborar los presupuestos lo que sucederá si actuamos conforme lo planeado.

2.-ORGANIZACION. Significa dar forma o estructurar las partes del proyecto planeado, disponiendo en forma adecuada los recursos que se ocuparán, de tal manera que éstos funcionen según lo previsto. Para organizar hay que atender éstos cuatro factores:

- Puestos.
- Hombres.
- Autoridad.
- Responsabilidad.

Otra forma de definir el concepto es: El análisis y el agrupamiento de todas las actividades necesarias para alcanzar los objetivos de cualquier empresa con el fin de proporcionar una estructura de deberes y responsabilidades.

PROPOSITOS DE LA ORGANIZACION:

- Establece la estructura administrativa que se requiere en el mantenimiento.
- Proporciona las obligaciones y responsabilidades para todos los niveles de supervisión.
- Analiza el trabajo de ingeniería requerido para alcanzar todos los niveles de producción.

Para cada nivel de supervisión en el mantenimiento se debe asignar la autoridad y responsabilidad que sea capaz de cumplir su función, sin que se requieran actividades innecesarias o duplicadas.

3.-EJECUCION. Ejecutar significa realizar las operaciones específicas por un programa, en otras palabras, la ejecución es la acción del administrador para que sus subordinados inicien sus labores para la conquista de sus objetivos.

La ejecución tiene los siguientes factores:

- Motivación.
- Comunicación.
- Dirección.
- Coordinación.

Motivación. Un buen líder independientemente del nivel que tenga, debe conocer en forma teórica y práctica todo lo relacionado con las necesidades humanas, que motivos causan el comportamiento de sus subordinados y cómo puede mejorar éste para que estén realmente motivados y logren resultados positivos en sus pensamientos y acciones.

Comunicación. La base para conseguir una buena administración es la comunicación humana, y seguramente hemos captado como ha mejorado ésta de una forma impactante con el progreso de los conocimientos en causa- raíz para un problema de mantenimiento. Los problemas en la comunicación impactan negativamente en la coordinación y producen un caos en la administración del mantenimiento. Para obtener una buena comunicación se necesitan elementos tales como: el emisor es el responsable de la comunicación, el canal o medio de comunicación y el receptor. Por tanto, para realizar una actividad de mantenimiento es necesario utilizar órdenes de trabajo en la cuál el trabajador pueda entender claramente el mensaje que se requiere por el emisor (Ing de mantenimiento o sobrestante).

Dirección. El manejo de ésta etapa significa el trabajo diario del administrador del mantenimiento, pues normalmente emite órdenes, instrucciones, reglas, aclara políticas, etc.; es decir indica a las personas involucradas en el mantenimiento hacia donde deben de ir, las orienta e impulsa, esto es, los obliga a conocer como motivar y comunicar al personal en forma abierta, libre y franca. Por tanto, dirigir es mostrar el camino para llegar al objetivo.

Coordinación. Esto es, unir los esfuerzos del grupo para que esten sincronizados y adecuados en el tiempo, cantidad y dirección; con esto el esfuerzo de cada trabajador se suma al de los demás, consiguiendo la sinergia en forma natural. La coordinación se facilita con la comunicación, por lo que deben hacerse las juntas necesarias para asegurarnos de que existe intercambio de ideas y se conocen los posibles problemas que puedan surgir.

4.-CONTROL. Permite observar constantemente el comportamiento de dichos procedimientos para tomar las acciones necesarias. Esto es, comprobar que los

recursos humanos, físicos y técnicos se comporten dentro de los presupuestos obtenidos después de la planeación del mantenimiento, para facilitar su comprensión y manejo. Por lo tanto el control se divide en:

- Medir.
- Comparar.
- Analizar.
- Corregir.

Medir. Primer paso para saber a dónde hemos llegado después de un tiempo preestablecido, ésto es medir todas las actividades del mantenimiento.

Comparar. Es relacionar las mediciones contra la que habíamos presupuestado obtener al término de la planeación y aquellas variaciones que juzgamos importantes para su análisis.

Analizar. Las variaciones importantes deben analizarse minuciosamente buscando la causa- raíz de cada problema de mantenimiento.

Corregir. Del análisis anterior se deriva un diagnóstico que a su vez obliga a tomar una decisión de lo que se debe hacer para eliminar la verdadera causa y no solo corregir el defecto.

UNIDAD 2

TEORÍAS DEL MANTENIMIENTO: CORRECTIVO, PREVENTIVO Y PREDICTIVO

2.1. Definición y características

Esta división de mantenimiento presenta el inconveniente de que cada equipo necesita una mezcla de cada uno de esos tipos, de manera que no podemos pensar en aplicar uno solo de ellos a un equipo en particular.

Así, en un motor eléctrico determinado nos ocuparemos de su lubricación (mantenimiento preventivo periódico), si lo requiere, mediremos sus vibraciones o sus temperaturas (mantenimiento predictivo), quizás le hagamos una puesta a punto anual (puesta a cero) y repararemos las averías que vayan surgiendo (mantenimiento correctivo). La mezcla más idónea de todos éstos tipos de mantenimiento nos la dictarán estrictas razones ligadas al costo de las pérdidas de producción en una parada de ese equipo, al costo de reparación, al impacto ambiental, a la seguridad y a la calidad del producto o servicio, entre otras.

Cada uno de los modelos que se exponen a continuación incluyen varios de los tipos anteriores de mantenimiento. Además, todos ellos incluyen dos actividades: inspecciones visuales y lubricación. Esto es así porque está demostrado que la realización de éstas dos tareas en cualquier equipo es rentable; incluso en el modelo más sencillo (modelo correctivo), en el que prácticamente abandonamos el equipo a su suerte y no nos ocupamos de él hasta que se produce una avería, es conveniente observarlo al menos una vez al mes y lubricarlo con productos adecuados a sus características. Las inspecciones visuales prácticamente no cuestan dinero, éstas inspecciones estarán incluidas en unas gamas en las que tendremos que observar otros equipos cercanos, por lo que no significará que tengamos que destinar recursos expresamente para esa función. Esta inspección nos permitirá detectar averías de manera precoz, y su resolución generalmente será más barata cuanto antes detectemos el problema. La lubricación siempre es rentable, aunque sí representa un costo (lubricante y la mano de obra de aplicarlo), en general es tan bajo que está sobradamente justificado, ya

que una avería por una falta de lubricación implicará siempre un gasto mayor que la aplicación del lubricante correspondiente. A continuación tenemos una clasificación del mantenimiento.

TIPOS DE MANTENIMIENTO

- Mantenimiento Correctivo.
- Mantenimiento Preventivo.
- Mantenimiento Predictivo.
- Mantenimiento Productivo total (TPM).
- Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM).

1. *Mantenimiento Correctivo*. Es aquel que se realiza luego que ocurre una falla o avería en el equipo o instalación que por su naturaleza no pueden planificarse en el tiempo, presenta costos por reparación y repuestos no presupuestados, pues implica el cambio de algunas piezas del equipo.

Ahora dentro de éste tipo de mantenimiento podríamos contemplar dos enfoques:

- **Mantenimiento Paliativo**. Este se encarga de la reposición del funcionamiento, aunque no quede eliminada la fuente que provocó la falla.
- **Mantenimiento Curativo**. Este se encarga de la reparación propiamente, pero eliminando las causas que produjo la falla.

La principal función de una gestión adecuada del mantenimiento consiste en reducir el mantenimiento correctivo hasta el nivel óptimo de rentabilidad para la empresa.

El mantenimiento correctivo no se puede eliminar en su totalidad, por lo tanto, una gestión correcta extraerá conclusiones de cada parada de la máquina e intentará realizar la reparación de manera definitiva ya sea en el mismo momento o programando un paro para que ésta falla no se repita.

2. *Mantenimiento Preventivo*. Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de reducir el correctivo y todo lo que representa. Pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados. Básicamente consiste en programar inspecciones y revisiones a los equipos o máquinas, apoyándose en el conocimiento de las mismas en base a la experiencia de los ingenieros o técnicos, así también como el historial de la máquina.

3. *Mantenimiento Predictivo*. Es un tipo de mantenimiento que relaciona una variable física con el desgaste o estado de una máquina. El mantenimiento predictivo se basa en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. A tal efecto, se definen y gestionan valores de pre-alarma y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera necesario medir y gestionar.

El mantenimiento predictivo que está basado en la determinación del estado de la máquina en operación. El concepto se basa en que las máquinas

darán un tipo de aviso antes de que fallen y éste mantenimiento trata de percibir los síntomas para después tomar acciones. Su característica es: el ordenador o dispositivo presenta síntomas de falla los cuales deben ser analizados por el usuario.

Además de prevenir el fallo catastrófico de una pieza y por tanto, anticiparse a éste, las técnicas de mantenimiento predictivo ofrecen una ventaja adicional como ésta: la compra de repuestos se realiza cuando se necesita, eliminando pues stocks (capital inmovilizado). Para que éste Mantenimiento dé buenos resultados se debe apoyar en las Técnicas predictivas siguientes:

- Análisis de vibraciones, considerada por muchos como la técnica estrella dentro del mantenimiento predictivo.
- Termografías.
- Boroscopías.
- Análisis de aceite.
- Análisis de ultrasonidos.
- Análisis de humos de combustión.
- Control de espesores en equipos estáticos.
- Análisis de partículas magnéticas.
- Análisis por líquidos penetrantes.

4. *Mantenimiento Productivo Total*. Sus siglas en inglés es: **Total Productive Maintenance** (TPM). Este sistema japonés de mantenimiento industrial desarrollado a partir del concepto de mantenimiento preventivo creado en la industria de los Estados Unidos. Es un sistema de gestión que evita todo tipo de pérdidas durante la vida entera del sistema de producción, maximizando su eficacia e involucrando a todos los departamentos y a todo el personal desde operadores hasta la alta dirección, y orientando sus acciones apoyándose en las actividades en pequeños grupos.

El TPM es un poderoso concepto que nos conduce cerca del ideal sin averías, defectos ni problemas de seguridad. El TPM amplía la base de conocimientos de los operarios y del personal de mantenimiento y los une como un equipo cooperativo para optimizar las actividades de operación y mantenimiento.

La innovación principal del TPM radica en que los operadores se hacen cargo del mantenimiento básico de su propio equipo. Mantienen sus máquinas en buen estado de funcionamiento y desarrollan la capacidad de detectar problemas potenciales antes de que ocasionen averías.

El TPM es una estrategia compuesta por una serie de actividades ordenadas que una vez implantadas ayudan a mejorar la competitividad de una organización industrial o de servicios. Se considera como estrategia, ya que ayuda a crear capacidades competitivas a través de la eliminación rigurosa y sistemática de las deficiencias de los sistemas operativos. Es un sistema de organización donde la responsabilidad no recae solo en el departamento de mantenimiento sino en toda la estructura de la empresa.

El buen funcionamiento de todo el equipo y máquinas es responsabilidad de todos.

OBJETIVOS DEL TPM.

- Ayuda a construir capacidades competitivas desde las operaciones de la empresa, gracias a su contribución a la mejora de la efectividad de los sistemas productivos, flexibilidad y capacidad de respuesta, reducción de costos operativos y conservación del conocimiento industrial.
- Tiene como propósito en las acciones cotidianas que los equipos operen sin averías y fallas, eliminar toda clase de pérdidas, mejorar la fiabilidad de los equipos y emplea verdaderamente la capacidad industrial instalada. Cuando esto se ha logrado, el período de operación mejora, los costos son reducidos, el inventario puede ser minimizado y en consecuencia la productividad se incrementa.
- Busca fortalecer el trabajo en equipo, incremento en la moral del trabajador, crear un espacio donde cada persona pueda aportar lo mejor de sí; todo esto con el propósito de hacer del sitio de trabajo un entorno creativo, seguro, productivo y donde trabajar sea realmente grato.

Pilares del TPM:

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) se fundamenta sobre seis pilares:

- Mejoras enfocadas.
- Mantenimiento autónomo.
- Mantenimiento planificado.
- Mantenimiento de calidad.
- Educación y entrenamiento.
- Seguridad y medio ambiente.

5. *Mantenimiento Basado en la Confiabilidad*. También llamado Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (RCM, por las siglas en inglés de **Reliability Centred Maintenance**) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial y presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde no se obtenían los resultados más adecuados para la seguridad de la navegación aérea. Posteriormente fue trasladada al campo militar y mucho después al industrial, tras comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Fiabilidad o RCM en una planta industrial es aumentar la fiabilidad de la instalación, es decir, disminuir el tiempo de parada de planta por averías imprevistas que impidan cumplir con los planes de producción. Los objetivos secundarios pero igualmente importantes son aumentar la disponibilidad, es decir, la proporción del tiempo que la planta está en disposición de producir y disminuir al mismo tiempo los costos de mantenimiento. El análisis de los fallos potenciales de una instalación industrial según ésta metodología aporta una serie de resultados como los que siguen:

- Mejora el funcionamiento de los equipos.
- Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.

RCM se basa en la puesta de manifiesto de todos los fallos potenciales que puede tener una instalación, en la identificación de las causas que los provocan y en la determinación de una serie de medidas preventivas que eviten esos fallos, acorde con la importancia de cada uno de ellos. A lo largo del proceso se plantean siete preguntas claves que deben quedar resueltas tales como:

- ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?
- ¿Cómo falla cada equipo?
- ¿Cuál es la causa de cada fallo?
- ¿Qué parámetros monitorizan o alertan de un fallo?
- ¿Qué consecuencias tiene cada fallo?
- ¿Como puede evitarse cada fallo?
- ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?

La solución a éstas preguntas para cada uno de los sistemas que componen una instalación industrial conduce a la determinación de los fallos potenciales, las causas de éstos y las medidas preventivas que tendrán que adoptarse

2.2. Ventajas y Desventajas

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

VENTAJAS:

- Una mayor duración en la operación tanto de las máquinas, equipos como de las instalaciones.
- No se necesita una infraestructura excesiva, un grupo de operarios competentes será suficiente, por lo tanto el costo de mano de obra será mínimo.
- Es rentable en equipos o máquinas que no intervienen de manera directa en la producción.

DESVENTAJAS:

- Se producen paradas y daños imprevisibles en la producción que afectan a la planificación de manera incontrolada.
- Se suele producir una baja calidad en las reparaciones debido a la rapidez en la intervención y a la prioridad de reponer el servicio

antes que reparar definitivamente, por lo que se produce un hábito de trabajar de manera defectuosa y produce la sensación de insatisfacción e impotencia.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO

VENTAJAS:

- Se realiza correctamente, exige un conocimiento de la máquina y del historial de la misma.
- El cuidado es periódico y conlleva a un estudio óptimo de conservación con lo que es indispensable una aplicación más eficaz para contribuir a un mejor sistema de calidad y a la mejora continua.
- Reduce el correctivo y con esto la reducción de costos de producción y un aumento en la disponibilidad de las máquinas, esto posibilita una planificación de los trabajos del departamento, así como una previsión de los cambios de los elementos de fallas.
- Se realiza el mantenimiento de mutuo acuerdo con el departamento de producción y en el mejor momento.

DESVENTAJAS:

- Representa una inversión inicial en instrumentos de monitoreo y mano de obra calificada, así también en los planes de mantenimiento.
- Si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento, se puede sobrecargar el costo de éste sin mejoras sustanciales en la disponibilidad de los equipos.
- Los trabajos rutinarios cuando se prolongan en el tiempo produce falta de motivación en el personal.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO

VENTAJAS:

- Indudable de que en la mayoría de las ocasiones no es necesario realizar grandes desmontajes, y en muchos casos ni siquiera es necesario parar la máquina.
- Si tras la inspección se aprecia algo irregular se propone o se programa una intervención.
- Nos obliga a dominar el proceso y a tener datos técnicos precisos, así como a dominar métodos científicos de trabajo riguroso.
- Se puede pronosticar una falla de un elemento o máquina a partir de un historial o de una tendencia de valores de las variables.

DESVENTAJAS:

- La implantación de éste mantenimiento requiere de una inversión inicial importante de instrumentos analizadores y además de personal altamente calificado.

- Este sistema se implementa donde se justifica los equipos y máquinas que puedan ocasionar paros imprevistos y donde ocasionen grandes pérdidas o paradas innecesarias de grandes costos.

MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

VENTAJAS:

- Al responsabilizar a toda la organización en los trabajos de mantenimiento se consigue un resultado final más enriquecido y participativo.
- El sistema está unido con la idea de calidad total y mejora continua.

DESVENTAJAS:

- Se requiere un cambio de cultura general para que tenga éxito, no puede ser introducido por imposición, requiere el convencimiento por parte de todos los componentes de la organización de que es un beneficio para todos.
- La inversión en formación y cambios generales en la organización es costosa, por lo tanto el proceso de implementación requiere de varios años.

MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD

VENTAJAS:

- La mejora de la seguridad de las máquinas.
- La mejora del impacto ambiental.
- El aumento en la producción.
- El aumento de fiabilidad de las instalaciones.
- La disminución de costos de mantenimiento.
- El aumento en el conocimiento de las instalaciones.
- La disminución de la dependencia de los fabricantes.

DESVENTAJAS:

- Los posibles fracasos en los proyectos de implantación de RCM.
- Requiere de instrumentos sofisticado necesario para realizar un estudio RCM.
- El RCM se aplica a equipos críticos y/o a toda la planta.
- El gran nivel de profundidad con el que se desea abordar el estudio.

2.3. Programación

La Programación del mantenimiento nos permite calendarizar los proyectos a mediano y largo plazo de las acciones que dan la dirección a la industria.

Muchos son los beneficios alcanzados al llevar un programa establecido de modelos de mantenimiento, programación y control de las áreas. Enseguida se citan algunos:

- Menor utilización de horas hombre.
- Disminución de inventarios.
- Menor tiempo de parada de equipos.
- Mejora el clima laboral en el personal de mantenimiento.
- Mejora la productividad.
- Ahorro en los costos de producción.

La confiabilidad de la industria dependerá de la planeación y programación que se realice con un enfoque eficiente (*si usted no sabe a donde va, posiblemente terminará en otro lugar*).

La planeación del mantenimiento esta centrada en la producción, teniendo al trabajo para limitar, evitar y corregir fallas. Por lo tanto, ésta debe estar centrada en los procesos, todo mantenimiento debe seguir un proceso preestablecido y planificado según el manual de mantenimiento de la empresa. El mejoramiento continuo y la planificación ayuda a evaluar y mejorar la ejecución del mantenimiento, así como la producción en la industria. Por lo tanto:

¿Qué es planear?

Es trazar un proyecto que contengan los puntos siguientes:

- El Qué: Alcance del trabajo o proyecto.
En éste punto se plantea una lista de órdenes de trabajo a efectuarse, incluyendo solo las necesarias.
- El Cómo: Normas, procesos, etc. Forma a efectuar el trabajo, incluye documentación técnica, procedimientos y maniobras.
- Los Recursos: Humanos horas hombre necesarias según especialidades, equipos, herramientas, materiales, etc. . .
- La Duración: Tiempo del proyecto o trabajo. En el mantenimiento básicamente se plantea éstos puntos que estarán en concordancia con los objetivos generales de la empresa.
Todo tipo de trabajo de mantenimiento debe ser evaluado y documentado llevando una descripción de los procesos que siguen los equipos.
- Cronograma. Es una programación específica de las actividades de mantenimiento en el tiempo. Se puede trazar cronogramas a mediano y largo plazo, proyectando una visión para el desarrollo de la industria en forma efectiva.
- Programación. Se fundamenta en el orden de realización de las actividades de mantenimiento según los modelos planteados y tomando en cuenta la periodicidad, se basa en el orden en que se deben realizar los mantenimientos según su urgencia, disponibilidad del equipo de mantenimiento y del material necesario.

La programación del mantenimiento esta dada según el equipo y la inspección que se realicen en la industria: ésta es diaria, semanal, quincenal, mensual, etc.

- Administración de repuestos y materiales.
Se debe tomar en cuenta varios aspectos para una administración efectiva de repuestos y materiales:
 - Repuestos. Estos al ser almacenados hay que considerar la vida útil y el alto costo.
 - Materiales. Se considera consumibles y partes de uso general.
Para una gestión efectiva del mantenimiento se considera un buen control de inventarios y una actualización continua. Además del almacenamiento de los mismos que debe ser en un lugar de fácil acceso, con una buena distribución y centralizado con el fin de movilizar en el menor tiempo posible, en caso de mantenimientos emergentes conviene tener en cuenta el beneficio y el valor potencial del repuesto para no asumir riesgos ni un inútil almacenamiento.
- Presupuestos. Es de suma importancia elaborarlos para la obtención de los recursos que el mantenimiento necesita. En éste punto se deben calcular, elaborar y controlar los presupuestos.
- Información. Los equipos de la planta deben estar estrictamente con una información detallada; cada uno de los elementos debe tomar en cuenta los aspectos siguientes:
 - Documento informativo básico y fundamental que contiene las características de fabricación de cada equipo o elemento de la industria, éste debe contener la siguiente información:
 - Instalación de la que forma parte.
 - Ubicación dentro de la instalación.
 - Tipo de máquina.
 - Datos específicos (datos de placa).
 - Proveedor y fecha de la compra.
 - Planos de conjunto y piezas.
 - Lista y codificaciones de las piezas de repuestos.
 - Su respectiva ubicación.
 - Ficha historial de cada máquina o equipo, que contenga la información de la intervención de los mantenimientos de la máquina y sus elementos ordenados cronológicamente.
 - Orden de trabajo que contenga la descripción del trabajo a realizar, recursos, aprobaciones y tiempo programado para la ejecución como mínimo.
 - Reportes son documentos que informan el desempeño de los equipos o máquinas dentro de la industria y el modelo de mantenimiento que se le aplica, es decir, un informe que se presenta periódicamente y según la cronología en que se aplique el mantenimiento a dicho elemento, permite evaluar y analizar las posibles averías, predecir y controlar periódicamente el comportamiento de los equipos y maquinaria.
Ahora la preparación del mantenimiento es asegurar la calidad de trabajo en el área que se aplica éste y por ende incide en la confiabilidad

de la industria. Por lo tanto, es un plan en donde se detalla el trabajo a realizar, se verifica órdenes de trabajo, herramientas, búsqueda de información y preparación del recurso humano que intervendrá en el mantenimiento. El supervisor de mantenimiento juega un papel importante ya que el verificará con anticipación todos los recursos para el desempeño efectivo y la aplicación del mismo; buscará al personal idóneo y calificado y lo incluirá en la preparación.

UNIDAD 3

LUBRICACIÓN

3.1. Principios básicos de la lubricación

La lubricación es de extremo interés para el ingeniero de mantenimiento, porque tiene una marcada influencia en los costos que tiene que cargar al servicio de mantenimiento. Cualquier máquina trabajará con mayor seguridad si está correctamente lubricada, bajo tales condiciones, el ingeniero de mantenimiento (de acuerdo con el ingeniero de operación), solamente tendrá que controlar que el lubricante sea aplicado apropiadamente y que se utilicen los más adecuados para las condiciones de trabajo y operación de la maquinaria.

Esto conducirá a la obtención del costo mínimo del mantenimiento, menos dolores de cabeza para el ingeniero de mantenimiento y costos de producción bajos. El ingeniero de lubricación tiene que concentrarse primordialmente con el buen resultado que se pueda obtener de las características de los lubricantes como son: viscosidad, prueba de fluidez, contenido de residuos de carbón, penetración, punto de fusión, etc. , con el fin de obtener lubricantes que protejan totalmente la maquinaria y las partes de ésta, cuya responsabilidad le compete a él, para sostener un mantenimiento que esté dentro de límites razonables.

Los aceites minerales derivados del petróleo se obtienen por: destilación fraccionada de los petróleos crudos y son refinados por ácidos o disolventes y arcilla. Los petróleos crudos para lubricación son principalmente del tipo de Pensilvania o de parafina pura, a base de contenido mediano de parafina o semi-parafínico, de los campos de la costa del golfo y/o base de nafteno. La lubricación de todo equipo de operación es una función esencial de mantenimiento y constituye un factor importante en el sostenimiento de la producción, reducción de demoras y abatimiento de los costos de mantenimiento.

A todo el equipo se le exige producir enormes tonelajes y operar bajo cargas cada vez más pesadas. Al dar mantenimiento a éste equipo, nuestro objetivo es conservarlo en operación durante el mayor tiempo posible sin desgaste excesivo ni descomposturas. Así que, los hombres encargados de la lubricación juegan un papel clave en el logro de éste objetivo, por ello

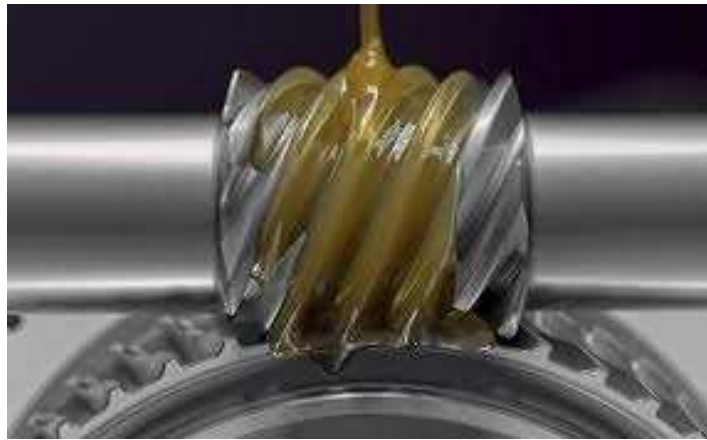


Figura 3.1: Importancia de la Lubricación

deberán estar capacitados y actualizados en lo referente a lubricantes, así como las diferentes formas de operación de las máquinas y equipos en la industria. En la figura 3.1 se aprecia ésta importancia.

3.1.1. Función de la Lubricación

En general podemos decir que las funciones de un lubricante son:

- Control de la fricción.
- Control del desgaste.
- Control de la temperatura.
- Control de la corrosión.
- Sirve como aislante eléctrico.
- Se usa como transmisión de potencia (hidráulica).
- Es utilizado como amortiguador.
- Sirve como removedor de contaminantes.
- Se utiliza como formación de sellos.

Para una buena lubricación se deben considerar los siguientes puntos:

- Usar el lubricante correcto.
- Usar la cantidad exacta.
- Usarse en el lugar apropiado.
- Usarse en el momento oportuno.

Deben tomarse en consideración el diseño de la máquina y condiciones de operación al seleccionar el lubricante adecuado. Por tal motivo es bueno hacerse las siguientes preguntas antes de lubricar una máquina:

- ¿Está diseñada para lubricación con aceite o grasa?.
- ¿Opera a baja velocidad y carga pesada, a alta velocidad y carga ligera, o ha cierta combinación intermedia de velocidad y carga?.

- ¿Son los cojinetes del tipo simple o del tipo antifricción?
- ¿Van a operar los cojinetes bajo presión extremadamente alta?
- ¿A qué temperatura trabajará la máquina?
- ¿Cómo ha de aplicarse el lubricante?
- ¿Qué contaminantes pueden entrar o ponerse en contacto con el lubricante?
- ¿Cuánto tiempo se supone que debe permanecer el lubricante en la máquina?

NOTA: No hay una solución fácil al problema de la selección de un lubricante apropiado.

Para adecuar aún más los lubricantes a los servicios industriales tan variados que se requieren en la actualidad, se recurre al uso de aditivos especiales que se aplican a mayor o menor medida de acuerdo al tipo de servicio que se van a destinar.

Podemos resumir las razones básicas por las que son agregados aditivos:

- Para proteger las superficies lubricadas.
- Para proteger el aceite durante su servicio.
- Para darle características especiales al aceite lubricante.

Entre los aditivos mayormente utilizados podemos mencionar los siguientes:

- Detergentes.
- Dispersantes.
- Inhibidores de corrosión.
- Inhibidores de herrumbre.
- Agentes de presión extrema.
- Agente anti-desgaste.
- Antioxidante.
- Anti-espumante.
- Reactivadores metálicos.
- Anti-odorantes.
- Elevadores de índice de viscosidad.
- Depresionantes del punto de congelación.
- Emulsificantes.

Cabe mencionar que los aditivos proporcionan al lubricante algunas propiedades deseadas, pero el efecto puede revertirse si el lubricante no es utilizado en el servicio para el cual es fabricado y esto puede ocasionar un fallo prematuro en rodamientos o chumaceras.

3.2. Clasificación de los lubricantes.

Los lubricantes por su origen pueden clasificarse en:

- Derivados del petróleo (minerales).
- Tipo animal.
- Tipo vegetal.
- Tipo sintético.
- Tipo sólido.

LUBRICANTES DERIVADOS DEL PETRÓLEO. Los aceites minerales derivados del petróleo se obtienen por: destilación fraccionada de los petróleos crudos y son refinados por ácidos o disolventes y arcilla. Los petróleos crudos para lubricación son principalmente del tipo de Pensilvania o de parafina pura, a base de contenido mediano de parafina o semi-parafínico, de los campos de la costa del golfo y/o base de nafteno.

Así podemos tener lubricantes tales como: PEMEX-sol Super SAE 10 W,20W, 30W, 40W, 50W. etc. NOTA: Estos aceites se encuentran dentro de la clase internacional de aceites de máxima calidad.

Se pueden usar éstos criterios para el uso de aceites industriales en maquinaria. Así que, los aceites ligeros se usan en: Altas velocidades, bajas temperaturas y bajas presiones; mientras que los aceites gruesos son utilizados en: Bajas velocidades, altas temperaturas y altas presiones.

Los aceites de baja viscosidad, denominados aceites ligeros, fluyen libremente, los de alta viscosidad o aceites pesados fluyen lentamente, podría decirse que contra su voluntad, los aceites que tienen viscosidades entre éstos extremos son llamados aceites de viscosidad media. En general los aceites pesados se usan en partes que se mueven a bajas velocidades bajo extremas presiones, ya que el aceite pesado resiste mejor a ser expulsado por la presión de entre las partes rodantes. Los aceites ligeros se usan en los casos en que se presentan velocidades más altas y presiones más bajas, ya que éstos aceites no imponen un frenado excesivo a las piezas y la alta velocidad permite la formación de una buena cuña de aceite aún cuando éste sea ligero. Las bajas temperaturas demandan aceites ligeros y las altas aceites más pesados. Esto se debe a que la viscosidad de los aceites aumenta a medida que bajan las temperaturas y disminuyen cuando suben.

LUBRICANTES TIPO ANIMAL Y VEGETAL. Los aceites y grasas de tipo animal y vegetal se distinguen de los minerales, porque se saponifican con álcalis cáusticas. Estos aceites orgánicos se oxidan, volviéndose rancios y dejando libres ácidos grasos. La oxidación causa también consistencia de goma, particularmente con aceites de semilla de algodón y de maíz. Al someterse a temperaturas elevadas tienden a decomponerse en ácidos corrosivos. Debido a éstas propiedades muy poco son utilizados en la industria; sin embargo su uso está más enfocado a la industria alimenticia. *SAPONIFICACIÓN.* Es el proceso en el cuál una grasa o aceite compuesto de un ácido con un alcohol, reacciona con un álcali, para formar un jabón y glicerina u otro alcohol.

Así podemos tener aceite de:

- Ricino hidrogenado.

- Semilla de algodón.
- Aceite de grasa de cerdo.
- Sebo sin ácidos.
- Maíz.
- Castor.
- Tiburón.Etc.

LUBRICANTES SINTETICOS. Éstos tienen estrechamente reguladas sus propiedades físicas, por ejemplo: punto de fluidez o derrame, la volatilidad (punto de inflamación), la relación baja viscosidad, cambio de temperatura y las propiedades límites de lubricación. Estos lubricantes se utilizan en aplicaciones específicas que no son satisfactorias para los aceites a base del petróleo. Sus aplicaciones están limitadas por los precios de las siliconas (muy caro). Así tenemos:

- Hidrocarburos sintéticos.
- Poliglicoles (líquidos para frenos hidráulicos).
- Esteres de fosfatos (resistentes al fuego).
- Esteres de ácidos (aceites para aviación).
- Siliconas.
- Esteres polifenílicos (usos especiales).

LUBRICANTES SÓLIDOS.-Un lubricante sólido es una película delgada constituida por un sólido o una combinación de éstos introducida entre dos superficies en rozamiento con el fin de modificar la fricción y el desgaste. El funcionamiento de ciertos mecanismos sometidos a temperaturas, presiones y ambientes severos, en los cuales los lubricantes orgánicos no son adecuados, ha promovido el perfeccionamiento de lubricantes sólidos. Los más comunes en ésta clase son:

- Grafito.
- Bisulfuro de molibdeno.
- Politetrafluoretano.
- Talco.
- Metales.
- Óxidos metálicos.

LUBRICANTES TIPO GRASA. Una grasa lubricante es una sustancia semifluida formada por un agente espesante, un aceite base y normalmente una serie de aditivos. La naturaleza y porcentajes de los componentes de la grasa dependen mucho de las aplicaciones para las cuales deberá usarse. En ciertas aplicaciones las grasas se pueden utilizar en sustitución de los aceites lubricantes y su uso está normalmente limitado a aquellos puntos en los que no es posible ni cómoda la utilización de éstos o en los que desde el principio se presupone un conjunto de restricciones para un buen rendimiento del aceite.

Las principales propiedades o ventajas que tienen las grasas frente a un aceite son:

- Ser capaces de formar una película lubricante lo suficientemente resistente como para separar las superficies metálicas y evitar el contacto metal-metal (reduciendo la fricción y el desgaste).
- El lubricante debe permanecer retenido en el punto de engrase debido a que la frecuencia de relubricación por fluido lo hace económicamente injustificable.
- Protección contra la corrosión.
- En máquinas donde no es factible hacer llegar un fluido mediante un sistema de conducción o colocar un depósito debido a la configuración de la máquina.
- Tener propiedades sellantes (evitando la entrada de agua y otros contaminantes).
- Tener resistencia a cambios estructurales o de consistencia (Tenacidad).
- Resistir al centrifugado y a la pérdida de fluido.
- Poseer las características adecuadas para la aplicación requerida.
- Cuando el diseño del equipo especifica grasa.
- Cuando se presentan condiciones extremas tales como: temperatura, presión, carga, velocidad, etc.

Sin embargo, también posee una serie de desventajas que se deben tener muy en cuenta:

- Menor capacidad de enfriamiento.
- Limitaciones de velocidad en los rodamientos.
- Menor estabilidad al almacenamiento.
- Falta de uniformidad.
- Problemas de compatibilidad.
- Menor resistencia a la oxidación.
- Menor control de la contaminación.

Se debe tener en cuenta que una grasa no enfría el mecanismo como un fluido circulando y tampoco es capaz de arrastrar los contaminantes no deseados como lo hace un fluido. Un lubricante debe reducir el coeficiente de fricción y de éste modo reducir la cantidad de calor que genera y el desgaste. Las grasas poseen coeficientes de fricción más bajos que los aceites que se utilizan en su propia fabricación, por tanto, se consume menos energía con grasas que con aceites. En la figura 3.2, se puede observar la consistencia de una grasa lubricante.



Figura 3.2: Consistencia de una grasa lubricante

3.3. Sistemas de aplicación de lubricantes

La lubricación en cualquiera de sus formas, requiere de medios adecuados para su aplicación que puede ir de los más sencillos hasta los de control totalmente automatizados con integración de sistemas de alarmas y protecciones, muy completos que tienen como finalidad la operación segura de las máquinas o equipos. Es indudable que se requiere de un sistema de lubricación adecuado y de acuerdo a las condiciones de operación de los equipos a lubricar.

Cualquier sistema de distribución de aceite requiere un recipiente o depósito (cárter) para almacenarlo y una forma de hacerlo llegar hasta las partes en movimiento de la máquina o equipo, aún cuando el aceite se aplique directamente al punto de lubricación, el metal poroso o una pieza de fieltro hacen las veces de recipiente y el aceite se distribuye por contacto directo entre las partes. De nada sirve mantener aceitado el equipo si el sistema de distribución no está funcionando en forma satisfactoria. El saber cómo opera el sistema que se encuentra bajo su cuidado y cuándo necesita mantenimiento, es parte esencial de la técnica de un buen sistema de lubricación

3.3.1. Métodos de aplicación de lubricantes con aceite

Es importante conocer los diversos métodos de aplicar el aceite a las máquinas, ya que cada una de ellas funciona de manera diferente, por lo cuál éstos son:

- Lubricación por salpicadura.
- Lubricación por goteo.
- Lubricación por niebla.
- Lubricación por anillos levantadores de aceite.
- Lubricación por cadena.
- Lubricación por presión.
- Etc.

Lubricación por salpicadura.-Esta se encuentra principalmente en juegos de engranajes, en compresores o cárter en máquinas de vapor. Las proyecciones sobre bielas o cigüeñales permiten salpicar de aceite a las partes a lubricar o/a las paredes de la carcasa donde se prestan los bolsillos y canales para recoger el aceite y conducirlo a los rodamientos. El aceite está contenido en el interior de un depósito, donde se sumergen partes de las piezas móviles que se han de lubricar las cuales lo proyectan sobre las partes interesadas. En la figura 3.3 tenemos éste método.



Figura 3.3: Lubricación por salpicadura

Lubricación por goteo.-También llamadas aceiteras por gravedad, el aceite baja desde un recipiente al rodamiento o al punto de lubricación. Por lo regular hay un orificio cuenta gotas (gotero) o elemento de medición que no deja salir el aceite con demasiada rapidez. La velocidad de alimentación es ajustada por éste tornillo de aguja que va dosificando la salida del lubricante de acuerdo como se vaya consumiendo. Este sistema es usado comúnmente en máquinas de velocidad media y aceites con viscosidad delgada. Se puede mencionar también que una vez que se consuma el lubricante se puede volver a recuperar el nivel de la aceitera. Ver la figura 3.4.

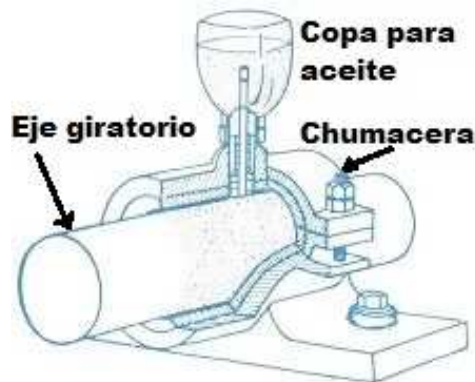


Figura 3.4: Lubricación por goteo

Lubricación por niebla.-Suministro de niebla de aceite es una mezcla de pequeñas partículas de aceite (de 1 a 5 micrones) suspendidas en el aire con apariencia de humo. Esta niebla se genera haciendo pasar el aire comprimido seco a través de un Venturi de aceite desde un pequeño depósito central, posteriormente ésta niebla es arrastrada hasta los lugares donde se van a lubricar las piezas de ahí es llevada hasta un contenedor donde nuevamente la toma el venturi. Este método de generación de niebla de aceite Venturi es ampliamente aceptado por la industria petroquímica y refinación. En la figura 3.5, tenemos éste método.

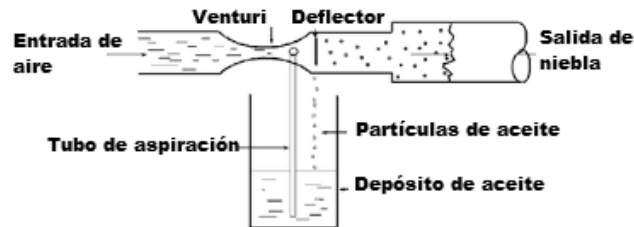


Figura 3.5: Lubricación por niebla

Lubricación por anillos levantadores de aceite. -Este método consiste en que uno o mas anillos giran alrededor del árbol a lubricar, arrastrando el aceite desde un depósito o cárter y llevarlo a las partes que se tienen que lubricar. Por la función que desempeñan éstos anillos el aceite no debe ser muy viscoso. Generalmente pueden usarse uno o dos anillos en ejes de tipo horizontal, en máquinas que no sean de alta velocidad ya que esto provocaría que él o los anillos se patinaran causando una falla en la lubricación. Esto se puede ver en la figura 3.6.

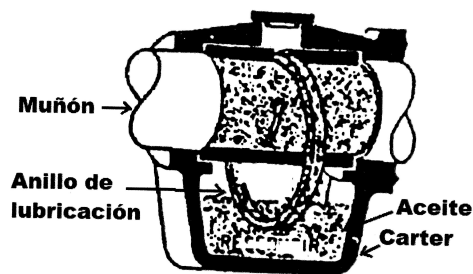


Figura 3.6: Lubricación por anillo

Lubricación por cadena.-Este método es parecido al de los anillos levantadores de aceite, únicamente que aquí se usa una cadena considerando mayor arrastre de lubricante; es aplicado para maquinaria de baja velocidad, económico y mantenimiento regular por lo tanto, el aceite es de mayor viscosidad que el de anillos. Generalmente consta de: depósito, cadena, eje y rodamientos. Ver la figura 3.7.

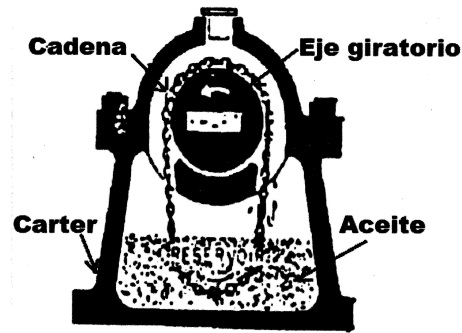


Figura 3.7: Lubricación por cadena

Lubricación a presión.-Este método es uno de los mejores usados en la lubricación a maquinaria pesada, en virtud del aprovechamiento del aceite y la alta eficiencia de su consumo, ya que permite alcanzar las partes más sofisticadas de la máquina y disminuir el desgaste a las partes rodantes. Consiste de varios elementos entre ellos tenemos: una bomba de desplazamiento positivo auxiliar para suministrar el aceite a todas las partes a lubricar antes del inicio de arranque de la máquina, ésta bomba succiona el lubricante de un depósito de almacenamiento y es enviado a presión a través de tuberías a un sistema de filtrado y elementos como válvulas de seguridad y enfriadores de aceite, enseguida fluye a través de los conductos de entrada a rodamientos o chumaceras para hacer su función de disminuir el desgaste y facilitar el deslizamientos de ambas partes tanto estáticas como móviles y continuar su camino a los conductos de drene para enviar el aceite de nuevo al depósito. Una vez que el aceite ha alcanzado su temperatura y presión adecuada, la máquina inicia su arranque, para que cuando alcance una velocidad adecuada otra bomba (principal) acoplada al eje de la misma, tome en ese momento la función de la lubricación, mientras que la bomba auxiliar deja de funcionar. Este sistema tiene elementos permisivos(alarmas y protecciones) para monitorear constantemente que la lubricación sea la adecuada y segura. Esto se puede ver en la figura 3.8.

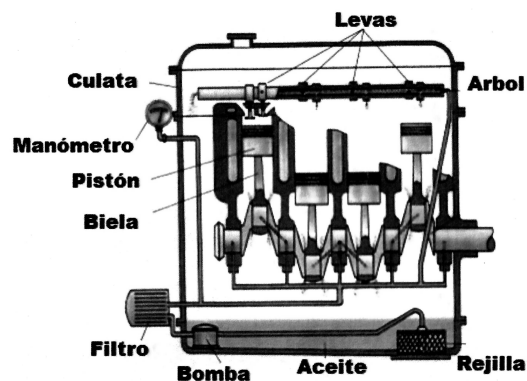


Figura 3.8: Lubricación a presión

3.3.2. Métodos de lubricación con grasa

La lubricación de las máquinas ha cambiado mucho en los últimos años, no sólo por la evolución de los lubricantes sino también por la utilización de los sistemas de engrase, cada vez más sofisticados. El mercado de grasas lubricantes no queda exento de cambios. Aparecen necesidades de lubricación más exigentes, y se requieren grasas de mayor calidad para períodos de lubricación más largos.

Las grasas se aplican en función de la velocidad de los cojinetes u otras partes en movimiento implicadas y en las condiciones bajo las cuales la máquina funciona. Estos son algunos métodos mas usados en la industria en la aplicación de las grasas lubricantes.

Engrase a mano.-Aplicar la grasa antes de ensamblar las partes para su puesta en marcha. Este tipo de engrasado utiliza mucha grasa que no se aprovecha y permite la entrada de partículas extrañas y suciedad al sistema.

Llenado con copa de grasa por compresión.-La grasa se introduce en un depósito con un pistón y éste se coloca en el lugar de engrase, a continuación se bombea para que vaya saliendo un hilo de grasa y se introduzca en el elemento a engrasar; de ésta manera se puede ir engrasando poco a poco hasta cubrir lo necesario. En la figura 3.9, tenemos un inyector de éste tipo.



Figura 3.9: Inyector de grasa

Llenado con copa de grasa automática.-Es un método más evolucionado que el anterior. Posee un depósito de grasa con un dispositivo ON-OFF. De ésta manera se controla el flujo de grasa que entra en el sistema. Tanto éste sistema como el anterior no son recomendables para condiciones de trabajo con amplias variaciones de temperatura donde la consistencia de la grasa puede verse afectada.

Aplicación a presión.- Es el método más usado para la aplicación de la grasa, se ejerce una presión adecuada donde la grasa se introduce al sistema mediante una válvula de retención. Cuando se deja de aplicar presión, la válvula se cierra para impedir que la grasa se regrese, además evita que entre suciedad y que no se produzcan fugas. Se elige éste método frente a la copa de grasa por diferentes motivos: Con lubricación a presión, es posible lavar los cojinetes eliminando la grasa vieja y contaminantes, una presión adecuada protege más efectivamente los cojinetes frente a la entrada de partículas extrañas y es más efectivo porque la grasa usada se reduce al mínimo en el sistema.

3.4. Selección de lubricantes

Este es uno de los procesos más importantes para la elaboración de un plan de lubricación por que de la correcta selección de lubricante depende que los trabajos de lubricación se realicen de manera óptima, siempre que se vaya a seleccionar el aceite para un equipo industrial se debe tener presente que se debe utilizar un aceite con especificación ISO y que cualquier recomendación que se dé se debe llevar a éste sistema. Los siguientes son los pasos que es necesario tener en cuenta para seleccionar el aceite para un equipo industrial:

- Consultar en el catálogo del fabricante del equipo, las recomendaciones del aceite a utilizar.
- Selección del grado ISO del aceite a la temperatura de operación en el equipo.
- Selección del aceite industrial de la misma marca de los lubricantes que se están utilizando en la industria y su aplicación en el equipo.

3.4.1. Propiedades más importantes para seleccionar aceites lubricantes

Viscosidad.- Es la propiedad más importante de un lubricante, la que determina su fluidez o grosor según las condiciones de temperatura y presión. Los aceites de baja viscosidad, denominados aceites ligeros, fluyen libremente. Los de alta viscosidad o aceites pesados fluyen lentamente, podría decirse que contra su voluntad. Los aceites que tienen viscosidades entre estos extremos son llamados aceites de viscosidad media. En general los aceites pesados se usan en partes que se mueven a bajas velocidades bajo extremas presiones, ya que el aceite pesado resiste mejor ser expulsado por la presión de entre las partes rodantes. Los aceites ligeros se usan en los casos en que se presentan velocidades más altas y presiones más bajas, ya que estos aceites no imponen un frenado excesivo a las piezas; y la alta velocidad permite la formación de una buena cuña de aceite aún cuando éste sea ligero. Las bajas temperaturas demandan aceites ligeros y las altas

aceites más pesados. Esto se debe a que la viscosidad de los aceites aumenta a medida que bajan las temperaturas y disminuyen a medida que suben.

Gravedad específica.-Es una comparación de la densidad de una sustancia con la densidad del agua.

Índice de viscosidad.-Es la medida más indicativa de la variación de la viscosidad de un aceite lubricante al variar la temperatura.

Punto de inflamación.-Es la temperatura mínima, a la cual la evaporación del lubricante origina una mezcla inflamable de vapores y aire.

Punto de ignición.-Se alcanza el punto de ignición si prolongamos el calentamiento hasta sobrepasar el punto de inflamación. Notaremos que el aceite se incendia de un modo más o menos permanente, ardiendo durante unos segundos.

Punto de fluidez.-Se define como la temperatura más baja a la cual un lubricante fluirá.

La selección del lubricante se basaba típicamente en la experiencia y el conocimiento. Hoy día, este modo de selección no es viable debido a los actuales requerimientos de los diferentes ambientes que operan más rápido, más caliente y por más tiempo. Los lubricantes de hoy día deben satisfacer requerimientos extremos que son específicos para cada equipo en particular. Por lo cual el Ingeniero de lubricación debe tener conocimientos de tribología.

Tribología – Estudio de la fricción, la lubricación y el desgaste ha llegado a ser la base para la selección de los lubricantes. Los requerimientos de lubricación para una determinada aplicación pueden ser identificados si examinamos el efecto de los parámetros del sistema tribológico sobre la química de los lubricantes.

3.4.2. Parámetros importantes para seleccionar un lubricante

Movimiento de la máquina.-El primer parámetro involucra el tipo de movimiento, éste puede ser deslizante, el cual requiere de la teoría de la lubricación hidrodinámica para su análisis, o por rodadura, en cuyo caso se debe aplicar la teoría de la lubricación EHD (Elastohidrodinámica) para su análisis. En ciertos rodamientos de rodillos cónicos se puede presentar una combinación de rodamiento y deslizamiento como una forma de movimiento. El deslizamiento puede ocurrir en el área del alojamiento, mientras que en la superficie de la pista ocurre el rodamiento de los rodillos. La protección del lubricante para estos tipos de movimientos puede ser optimizada con químicas específicas. Algunas químicas pueden ser efectivas en contactos deslizantes pero no desempeñarse tan bien en contactos de rodadura.

Velocidad de rotación.- La velocidad de los elementos rodantes se puede dividir en los siguientes rangos: alta, moderada y baja. Los rangos específicos

para cada categoría de velocidad pueden ser determinados utilizando el factor de velocidad. Conociendo la velocidad del contacto, se puede seleccionar un lubricante con los óptimos atributos físicos para minimizar la fricción.

Temperatura.-Muchos lubricantes tienen un amplio rango de temperatura de operación; sin embargo, algunos son más apropiados para bajas temperaturas, y otros están diseñados para aplicaciones a altas temperaturas. Conocer la temperatura de la máquina le permite al ingeniero seleccionar un lubricante que pueda proveer un óptimo desempeño y vida operacional a la temperatura de operación.

Carga de operación.-Es un factor importante que afecta los requerimientos de lubricación. Por tanto, una carga ligera puede indicar que la aplicación es sensible al par de torsional, y de ahí que el lubricante tenga que ser seleccionado para minimizar la fricción entre los elementos rodantes y al mismo tiempo proveer suficiente protección para reducir la fricción generada por el contacto metal-metal. Por otro lado, una aplicación de alta carga, puede requerir aditivos específicos para ayudar a proteger contra el picado, rayado y la extrema presión.

Ambiente de operación.-Si el ambiente incluye humedad o agua, el lubricante debe tener buenas propiedades anticorrosivas así como resistencia al lavado o contaminación con agua. Si el equipo opera en vacío total o parcial, la presión atmosférica del equipo debe estar entre los límites de operación del lubricante y por encima de su presión de vapor a la temperatura de operación.

¿Como seleccionar un aceite lubricante?

Ejemplo No. 1.-Un rodamiento gira a $n = 500$ rpm, sus diámetros son $d = 340$ mm y $D = 420$ mm; la temperatura de funcionamiento es de aproximadamente 70 °C. ¿Cuál será la viscosidad necesaria para obtener una lubricación satisfactoria, y que viscosidad representa esto a la temperatura de 40 °C?

1. Primero determinar el diámetro medio del rodamiento $= (D+d)/2$, en éste caso es de 380 mm.
2. Busque el $dm = 380$ mm en el eje horizontal del gráfico de la izquierda. Trace una perpendicular hasta cortar a la diagonal de 500 rpm.
3. Desde el punto de intersección, trace una horizontal hasta llegar al eje vertical, donde se puede leer la viscosidad cinemática necesaria, en éste caso 13 mm²/s. Ahora podemos determinar la viscosidad a la temperatura de referencia, esto es, el índice de viscosidad especificado para el aceite cuando se compre.
4. Sitúese en el gráfico de la derecha, y en el punto del eje horizontal correspondiente a la temperatura de funcionamiento (70 °C). Trace una perpendicular hasta cortar a la horizontal, correspondiente a 13 mm²/s del eje vertical. Desde ése punto trace una paralela a las líneas inclinadas del gráfico hasta cortar a la vertical correspondiente a 40 °C.

Desde ese nuevo punto trace la horizontal hasta cortar el eje vertical, que nos indicará una viscosidad de 39 mm²/s a 40 °C. Ver figura 3.10

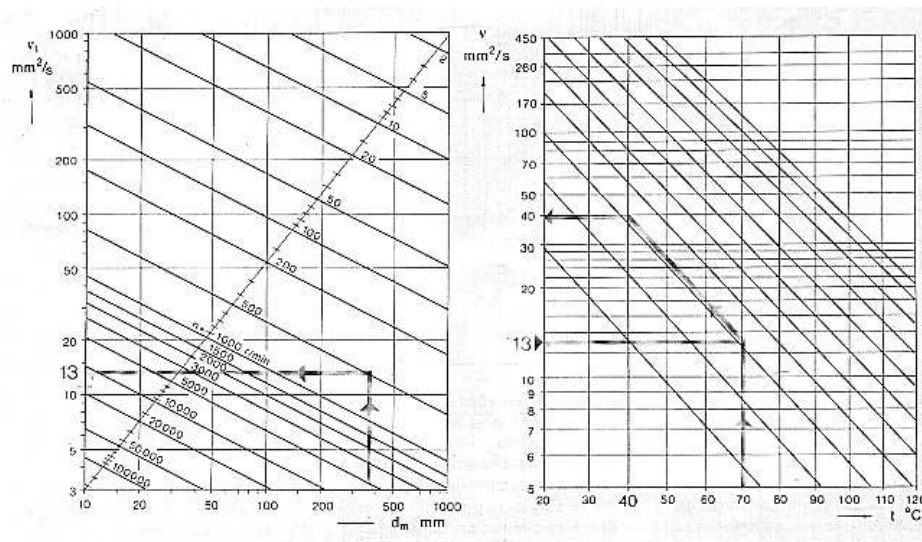


Figura 3.10: Nomograma para la selección del aceite

3.4.3. Selección de grasas lubricantes

De poco servirán todas las precauciones adoptadas para impedir que falle un elemento si se selecciona una grasa incorrecta. Es importante elegir una grasa que ofrezca la viscosidad del aceite base necesaria para proporcionar una lubricación suficiente a la temperatura de funcionamiento existente. La viscosidad depende en gran medida de la temperatura; disminuye cuando sube la temperatura y aumenta cuando esta baja. Por lo tanto, es importante conocer la viscosidad del aceite base a la temperatura de trabajo. Los fabricantes de maquinaria especifican generalmente un tipo determinado de grasa, la mayoría de las grasas estándar cubren una amplia gama de aplicaciones.

Enseguida se indican los factores más importantes a considerar cuando se selecciona una grasa lubricante.

- Tipo de máquina.
- Tipo y tamaño del rodamiento.
- Temperatura del funcionamiento.
- Condiciones de carga de trabajo.
- Gama de velocidades.
- Ambiente externo.

A continuación se tiene una serie de grasas del tipo SKF, comúnmente usadas en la industria.

GRASAS PARA BAJAS TEMPERATURAS (LT) Tienen una composición tal que ofrece poca resistencia, especialmente en el arranque, incluso a temperaturas tan bajas como $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. La viscosidad de éstas grasas es pequeña, de unos $15\text{ mm}^2/\text{s}$ a $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las grasas para bajas temperaturas se utilizan en condiciones normales de funcionamiento (de 0 a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$) en

rodamientos para instrumentos, otros rodamientos ligeramente cargados y en rodamientos para máquinas herramientas, textiles, etc.

GRASAS PARA TEMPERATURAS MEDIAS (MT) Son llamadas grasas multi-uso están en éste grupo. Se recomiendan para rodamientos con temperatura de -30 a $+110$ °C; por esto se pueden utilizar en la gran mayoría de los casos. Tienen una consistencia de 2 ó 3 NLGI (National Lubricating Grease Institute).

GRASAS PARA ALTAS TEMPERATURAS (HT) Las temperaturas de funcionamiento de los rodamientos en muchos motores eléctricos, bombas y ventiladores es muy alta En éstos aparatos, una grasa para alta temperatura puede ser la solución, éstas grasas permiten temperaturas de hasta $+150$ °C. Contienen aditivos que mejoran la estabilidad a la oxidación.

GRASAS EP (Extrema Presión). Contiene compuestos de azufre, cloro o fósforo, y en algunos casos jabones de plomo. Con ello se obtiene una mayor resistencia de película, esto es, aumenta la capacidad de carga de la película lubricante. Tales aditivos son necesarios en grasas para velocidades muy lentas y para rodamientos medianos y grandes sometidos a grandes tensiones. Estas grasas no se deben emplear a temperaturas menores de -30 y mayores de $+110$ °C.

GRASAS EM. Contienen bisulfuro de molibdeno y proporcionan una película más resistente que los aditivos EP.

Grasa LGMT 2. Es una grasa multi-uso para aplicaciones de ingeniería en general, especialmente adecuada para rodamientos. Esta grasa es resistente al agua, resiste bien la oxidación y es estable.

APLICACIONES. Motores eléctricos, máquinas agrícolas, ruedas de automóviles, cortadoras de césped y usos domésticos.

Grasa LGMT3. Es una grasa de multi-uso y es adecuada para rodamientos medianos y grandes. Es resistente al agua, tiene excelentes propiedades a la oxidación y es estable.

APLICACIONES. Motores eléctricos, bombas de agua, ejes de impulsión y ventiladores para temperaturas normales (70 °C).

Grasas LGEP 2. Es una grasa para rodamientos medianos y grandes fuertemente cargados. En particular, los rodamientos de rodillos a rótula se lubrican con ésta grasa. Es resistente al agua, tienen excelentes propiedades contra la oxidación y es estable.

APLICACIONES. Machacadoras, molinos de carbón, laminadoras, máquinas para pulpa y papel, motores de tracción y rodamientos de ruedas de vehículos pesados.

Grasas LGEM 2. Es una grasa de bisulfuro de molibdeno, válida para rodamientos de rodillos sometidos a muy fuertes cargas de choque, especialmente en movimientos lentos o de oscilación.

APLICACIONES. Cribas vibratorias, convertidores y laminadoras.

Grasas LGLT2. Es una grasa para rodamientos pequeños ligeramente cargados y rodamientos que trabajan a muy bajas temperaturas. También se recomienda para muy alta velocidad.

APLICACIONES. Instrumentos, dispositivos de control y observación, husillos de máquinas herramientas y máquinas textiles.

Grasas LGHT3. Es una grasa para rodamientos funcionando permanentemente a muy alta temperatura de 90 a 175 °C. La lubricación continua es necesaria a temperaturas de más de 150 °C.

APLICACIONES. Ventiladores para gases calientes, cubos de ruedas con frenos de disco para hornos y calderas.

3.5. Programas de lubricación

EL PLAN DE LUBRICACIÓN. Si consideramos la definición del mantenimiento como un conjunto de actividades encaminadas a restaurar/mantener todos los equipos en condiciones óptimas de funcionamiento, y a cambiar el entorno de trabajo para que dichas actividades tengan una alta eficiencia al menor costo posible, podemos observar que la *LUBRICACIÓN* es un pilar fundamental del mantenimiento. Si tenemos en cuenta además que todas las partes móviles de las máquinas y equipos están sujetas a frotamiento y consecuentemente a desgaste, la correcta lubricación de las mismas significará una importante reducción de los costos de mantenimiento necesarios para su conservación. En la organización de la lubricación significa mantener las condiciones de servicio de una máquina o equipo "Perfectamente atendida"; aplicando éste mismo concepto o parámetro a toda la maquinaria y equipos de una instalación, el resultado no podrá ser otro que la obtención de beneficios (la experiencia nos ha demostrado que la reducción en costos de lubricación puede llegar a ser de hasta un 50 %).

El objetivo inmediato cuando se habla de planificar la lubricación, es aplicar correctamente los medios existentes basados en el conocimiento de los lubricantes y de los mecanismos, su funcionamiento, su importancia en el proceso productivo, etc., todo ello para conseguir un óptimo servicio de funcionamiento de las instalaciones productivas en las condiciones requeridas en cada momento.

En éste estudio se le asigna a la *Limpieza y Lubricación*, la importancia que tiene como actividad en el mantenimiento mecánico, si se desarrolla empleando las técnicas adecuadas, obteniendo como resultado:

- Reducir los costos de mantenimiento.
- Mejorar la productividad de la planta.
- Reducir la tasa de defectos.
- Aumentar la disponibilidad de los equipos.

¿Por dónde Empezar? Es necesario conocer la planta, la maquinaria y los equipos que se lubrican, el plan de lubricación que se tiene, el conocimiento de lubricantes, el manejo de desechos, el inventario y sitio asignado para el manejo de lubricantes.

A continuación se dan algunos aspectos del plan de lubricación:

1.- *Ruta de Lubricación.* Se desarrolla con el personal de mantenimiento con el fin de averiguar que activos se lubrican y cuáles son sus puntos de lubricación. Con ésta inspección lo más seguro es encontrar e identificar los activos que se lubrican y aquellos que no. Las máquinas y equipos que se lubrican son los considerados importantes y críticos en el proceso de producción.

2.- *Ficha Técnica de Lubricantes.* El empleo de una sola marca de lubricantes es una recomendación, se deben buscar también la equivalencias entre marcas de éstos. Muchos equipos además de contar con el catálogo técnico, portan una placa metálica donde aparecen las recomendaciones del SAM (SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DEL MANTENIMIENTO) para la lubricación. Además hay que racionalizar el uso de los lubricantes y se deben cambiar dentro de los intervalos normales, hay que seguir las recomendaciones del fabricante. Gracias al desarrollo de las TIC (Técnicas de información de la comunicación) la denominada “nueva economía” o “economía a través de la red” (e-economy), tiene por objeto el negocio electrónico, el cual se ha convertido en la actualidad en una necesidad para el desarrollo de las industrias. Se introduce éste concepto porque a partir de aquí se puede obtener cualquier información de todas las empresas proveedoras de lubricantes, éstas tienen en su páginas web información sobre las características técnicas de los lubricantes, teléfono de contacto, capacitación, etc. Información como ésta se obtiene en la web, que es muy útil para el desarrollo de las fichas técnicas de los lubricantes.

3.- *Puntos de Limpieza y Lubricación.* En la inspección y desarrollo de la ruta de lubricación identificamos que muchos activos y puntos no estaban marcados dentro de la ruta, para la solución de éste problema se propone desarrollar un esquema de la maquinaria que sirva de supervisión de los puntos de limpieza y lubricación, para ésto el Autocad en cualquier versión nos sirve como herramienta para levantar los esquemas, éste trabajo lo puede realizar personal externo a la planta y se debe realizar activo por activo no hay otro camino. Los puntos se pueden localizar haciendo uso de los manuales del activo, así como de la experiencia del personal de mantenimiento y las empresas de servicios, sin olvidar nunca la comprobación e identificación visual en el propio activo. A éstas alturas ya están todos los puntos de lubricación de los activos de la planta.

4.- *Sistema de Administración del Mantenimiento.* (Software de Lubricación).- A medida que se va desarrollando el programa, indiscutiblemente tenemos que desarrollar un sistema de codificación de los activos, basado en la Gestión del Mantenimiento Asistido por Computadora, muchas industrias optan por comprar un software para administrar la gestión de mantenimiento, en éste caso la lubricación que es un programa específico se propone utilizar el Excel como herramienta eficaz para llevarlo a cabo.

5.- *Identificación de Anormalidades.* En la ruta de lubricación es común detectar problemas en las máquinas y/o equipos, por lo tanto, es necesario desarrollar un formato que reúna éstas anormalidades presentadas para poder procesar ésta información en el sistema. Las anormalidades las de-

be detectar siempre el operador porque él es el responsable del equipo, lo conoce mas que el personal de mantenimiento. Para éstas actividades al operario se le capacita, por lo cual en ésta parte se observa que éste pasa a ser parte activa del programa, es una característica del TPM (Mantenimiento Productivo Total) que involucra a producción. Este entrenamiento debe ser coordinado y se obtiene externamente con diversos proveedores, instituciones privadas y documentación extraída de la Internet.

6.-*Inspección de Fallas Identificadas.*- La anormalidad o falla se procesa de acuerdo a la codificación de éstas en máquinas y/o equipos establecida anteriormente y se procede a identificar la causa y la solución, para esto hay que entrenar a todo el personal de mantenimiento y producción sobre técnicas de resolución de problemas, análisis de causa y error y diagramas de Pareto, logrando con éstas actividades un mantenimiento proactivo, que es principio del Mantenimiento Autónomo.

7.- *Orden de Trabajo.* En la ruta de lubricación como se dijo anteriormente es una forma de inspeccionar la máquina y/o equipo, en ella vamos a encontrar fallas que ameritan una respuesta inmediata de mantenimiento, para ello se elabora una orden de trabajo para ejecutarse.

Para tener un control del plan de lubricación se debe considerar, las guías y el programa, éstos son documentos importantes que el ingeniero deberá darle seguimiento. A continuación en la figura 3.11, se puede ver una guía de lubricación.

GUIA PARA LA LUBRICACION DE EQUIPOS MECANICOS

PETROLEOS MEXICANOS						
SUPERINTENDENCIA DE MANTENIMIENTO						
COSOLEACAQUE. VER.			PLANTA:			
TAG:			EQUIPO:			
LOCALIZACION:						
PUNTOS A LUBRICAR	LUBRICANTE USADO	MODO DE APLICACION	FECHA DE LUBRICACION	PROXIMA LUBRICACION	LUBRICADOR	OBSERVACIONES

ELABORO: _____
 AUTORIZO: _____

Figura 3.11: Guía de lubricación

UNIDAD 4

APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE LAS VIBRACIONES

Antecedentes.

Las vibraciones en una máquina no son buenas, pueden causar desgaste, fisuras por fatiga, pérdida de efectividad de sellos, rotura de aislantes, ruido, etc. Pero al mismo tiempo las vibraciones son la mejor indicación de la condición mecánica de una maquinaria y pueden ser una herramienta de predicción muy sensible de la evolución de un defecto. Las fallas catastróficas en una maquinaria muchas veces son precedidas, a veces con meses de anticipación, por un cambio en las condiciones de vibración de la misma. Las vibraciones están directamente relacionadas con la vida útil de dos maneras: por un lado, un bajo nivel de vibraciones es una indicación de que la máquina funcionará correctamente durante un largo período de tiempo, mientras que un aumento en el nivel de vibraciones es una indicación de que la máquina se encamina hacia algún tipo de falla.

Una de las herramientas fundamentales con que se cuenta en la actualidad para el mantenimiento predictivo de una planta industrial o instalación es la medición y análisis de vibraciones, ya que cerca del 90 % de las fallas en maquinarias están precedidas por un cambio en las vibraciones de las mismas.

En general las mediciones de vibraciones globales se realizan en forma de velocidad (mm/seg), debido a que la experiencia ha demostrado que éstas son la mejor indicación para evaluar la severidad de las vibraciones en el rango normal de frecuencias de giro de las máquinas rotativas usuales (de 10 a 1000 Hz). El valor global de vibraciones obtenido, comparado con los valores recomendados por el Fabricante de la máquina, da una idea de la condición mecánica de la misma.

Ahora los sistemas mecánicos al ser sometidos a la acción de fuerzas variables con el tiempo, principalmente periódicas, responden variando sus estados de equilibrio y como consecuencia, presentan cambios de configuración que perturban su normal funcionamiento, presentando molestias al personal que los maneja y acortan la vida útil de las máquinas. Actualmente, el estudio y análisis de las vibraciones mecánicas ha adquirido

gran importancia en la supervisión de los sistemas mecánicos, sobre todo de elementos de tipo rotativo. Independientemente de los planes de mantenimiento correctivo y preventivo, el plan de mantenimiento predictivo se basa, principalmente en el estudio de las vibraciones mecánicas mediante la instalación de sensores que permiten detectar vibraciones fuera de rango.

Para esto, el monitoreo en maquinaria serán sistemas de tiempo real o control remoto que permiten vigilar, graficar la operación en rango de fechas definidas, detectar oportunamente fallas en maquinaria y generar alarmas cuando una variable se sale de su rango.

4.1. Medición de la vibración

Para empezar se puede dar una definición y características de la vibración. *La vibración es el movimiento de vaivén de una máquina o elemento de ella en cualquier dirección del espacio desde su posición de equilibrio.* Generalmente, la causa de la vibración reside en problemas mecánicos como son: desequilibrio de elementos rotativos, desalineación en acoplamientos, engranajes desgastados o dañados, rodamientos deteriorados, fuerzas aerodinámicas o hidráulicas, fuerzas reciprocantes, aflojamientos de piezas, descentrados de chumaceras, chicoteos de aceite, problemas eléctricos, etc. Estas causas como se puede suponer son fuerzas que cambian de dirección o de intensidad, éstas fuerzas son debidas al movimiento rotativo de las piezas de la máquina, aunque cada uno de los problemas se detecta estudiando las características de vibración. El modo más sencillo para demostrar la vibración es seguir el movimiento de una masa suspendida en el extremo de un resorte, tal como se ilustra en la figura 4.1. Esto es el típico de todas las máquinas puesto que también ellas tienen propiedades similares a masa y resorte.

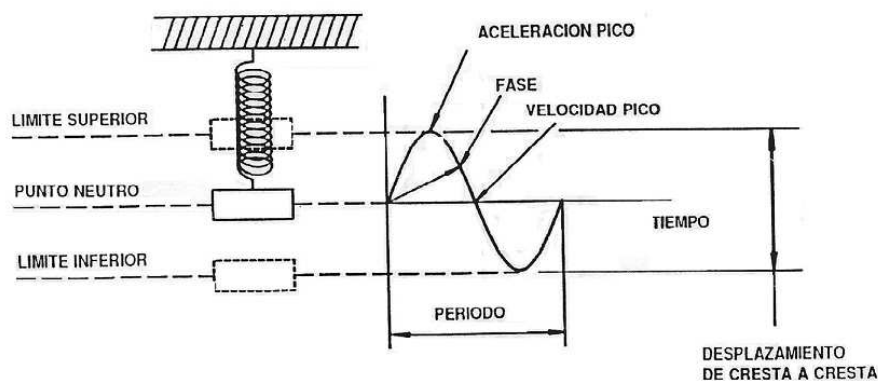


Figura 4.1: Vibración generada por el efecto masa-resorte

Ahora, hasta que no se aplique una fuerza a la masa para producir su movimiento no habrá vibración. Al aplicar una fuerza ascendente, la masa se moverá hacia arriba, comprimiendo el resorte. Al soltarlo, la masa caerá por debajo de su punto neutro hasta el límite inferior del recorrido en cuyo

punto el resorte detendrá a la masa. Esta emprenderá inmediatamente el recorrido hacia arriba pasando por el punto neutro hasta llegar al límite superior del movimiento y de vuelta otra vez por éste. El movimiento seguirá exactamente de la misma manera mientras quede aplicada la fuerza. Por lo tanto, la vibración es la reacción de un sistema de excitación ya sea de fuerza interna o externa aplicada a la misma.

4.1.1. Características de la vibración

Independientemente del tipo, la causa de la vibración es indudablemente la fuerza que cambia de dirección o de intensidad y las características consiguientes serán determinadas en base al modo en que se generan las fuerzas. Es por ello, cada causa de vibración tiene sus propias características individuales.

La condición de una máquina y sus problemas mecánicos, se determinan midiendo las características de su vibración, tales como:

- Frecuencia
- Desplazamiento
- Velocidad
- Aceleración
- Fase
- Energía de impulsos

- a). *Frecuencia de la vibración.* Es la medida de la cantidad de ciclos completos que acontecen en un período de tiempo específico. La relación entre la frecuencia y el período de un patrón de vibración es expresada mediante la siguiente fórmula. $Frecuencia = 1 / período$.

La frecuencia de vibración por lo general es expresada como cantidad de ciclos que acontecen cada minuto, de aquí la expresión ciclos por minuto, o sea (cpm).

El poder especificar la frecuencia de la vibración en términos de (cpm) facilita la relación entre dicha característica y otro dato importante de los equipos rotativos, las RPM es decir, la cantidad de revoluciones por minutos. Por lo cual, si se tiene una máquina que gira a una velocidad de 3600 rpm, es posible que ciertos problemas generen vibración a una frecuencia de 3600 cpm.

Lo que nos dice la frecuencia de vibración

Cuando se analiza la vibración de una máquina para localizar un problema en particular, es esencial saber la frecuencia de vibración. Esto permitirá identificar el problema y la pieza responsable, las fuerzas que provocan la vibración son generadas por el movimiento rotativo de las piezas de la máquina, debido a que dichas fuerzas cambian de dirección y amplitud de acuerdo a la velocidad de rotación de las piezas, se deduce que muchos problemas de vibración tengan frecuencias estrechamente relacionadas con la velocidad de rotación. Por lo tanto, será posible identificar con

precisión la pieza defectuosa tomando nota de la frecuencia de su vibración y relacionando dicha frecuencia con la velocidad de rotación de las piezas de la máquina.

No todos los problemas demuestran frecuencias exactamente iguales a la velocidad de rotación de las piezas de la máquina. Es importante recordar que diferentes problemas crean diferentes frecuencias de vibración.

A continuación se definen algunas frecuencias más importantes en el monitoreo de las máquinas:

Frecuencia armónica. Es un múltiplo exacto de la frecuencia fundamental o primaria, normalmente, la frecuencia fundamental se produce a 1xrpm. Por ejemplo es posible notar niveles de vibración significantes armónicas de 2xrpm, 3xrpm e incluso más altas. En éste caso la frecuencia 1xrpm se llama primera armónica.

Frecuencia dominante. Es aquella que tiene la mayor amplitud. Es importante que la frecuencia fundamental y la frecuencia dominante no sean siempre las mismas. Donde la frecuencia dominante difiere de 1xrpm (frecuencia fundamental), la frecuencia dominante es generalmente más indicativa de la presencia de un problema.

Frecuencia de inducción. Es la frecuencia de una vibración inducida.

Frecuencia natural. Es la frecuencia a la cuál vibrará una máquina o estructura cuando esté sometida a una vibración espontánea. Se trata de la frecuencia a la cual una máquina prefiere vibrar. Por ejemplo, cuando se toca una campana, ésta vibrará a la frecuencia para la cual fue diseñada. La mayoría de las máquinas y estructuras tienen muchas frecuencias naturales a las cuales vibran.

Frecuencia de resonancia. Es la frecuencia a la cual se produce la coincidencia entre una frecuencia natural y una frecuencia de inducción. Por lo general, la vibración aumenta a medida que la frecuencia de inducción se acerca a la frecuencia natural, alcanzando su punto máximo cuando ambas coinciden.

velocidad crítica. Se trata de un caso especial de frecuencia de resonancia que se produce cuando la velocidad de rotación (rpm), es decir la frecuencia de inducción, de una máquina coincide con una frecuencia natural del eje que causa su vencimiento con grandes amplitudes de vibración.

- b). *Desplazamiento de la vibración* . Es la distancia total recorrida por la pieza vibrante de uno a otro límite extremo del recorrido se conoce como “desplazamiento” de cresta a cresta y se expresa generalmente en milésimas de pulgadas ó milésimas de milímetros.

¿Cuándo se utiliza la característica de desplazamiento?

En condiciones de esfuerzos dinámicos, el desplazamiento de por si puede ser un mejor indicativo de la severidad de la situación, por ejemplo, consideremos una máquina de rotación lenta, como un tambor de izaje en uso en las minas que tenga una rotación de 60 rpm con vibración de desplazamiento de 20 milésimas de pulgada (20 mils.) de cresta a cresta generada por el desbalance del rotor. En términos de velocidad de vibración 20 milésimas a 60 rpm representa solamente 0.0585 pul/seg cresta, lo

que se consideraría BUENO para maquinaria en general (según la tabla de severidad de vibración), con poco motivo de preocupación inmediata. Sin embargo, hay que considerar que el rodamiento está sometido a una deflexión de 20 milésimas; en éstas condiciones puede ocurrir una rotura debida al esfuerzo (desplazamiento) más bien que fatiga (velocidad).

Generalmente es en las bajas frecuencias que el desplazamiento puede ser el mejor indicativo de la severidad de la vibración; típicamente en la gama de frecuencias por debajo de los 600 cpm.

- c). *Velocidad de vibración.* Está relacionada directamente con la severidad de vibración para la mayoría de los fines generales de medición, éste es el parámetro de medición preferido. En líneas generales las vibraciones que acontecen en la gama de frecuencias comprendidas entre 600 y 60,000 cpm se miden mejor utilizando la velocidad. Sus unidades son: milésimas de pulgadas/seg ó milésimas de milímetros/segundos. En la figura 4.2 se muestra la tabla de severidad de vibración, en ella se aprecia el desplazamiento y la velocidad de vibración a diferentes rpm de la máquina, a la vez indica los valores de los rangos de severidad.
- d). *Aceleración de vibración.* Está estrechamente relacionada con las fuerzas y pueden presentarse a altas frecuencias, aunque el desplazamiento y la velocidad sean mínimas. Esta se expresa en (ges). Por ejemplo, consideremos un desplazamiento de vibración medida de 1.5 milésimas a 6000 cpm. Esto corresponde a una lectura de velocidad de 0.471 pulgadas/seg (cresta), lo que puede ser considerado como RUDO para maquinaria en general. Esto equivale también a una lectura de aceleración de 0.7 ges.

A continuación, consideremos un desplazamiento de 0.015 pulgadas a una frecuencia de 600,000 cpm. Esta vibración también corresponde a una lectura de velocidad de 0.471 pulgadas/seg (cresta), pero con una lectura de aceleración de 70 ges a 6000 cpm la ruptura puede producirse debido a fatiga (velocidad), pero a la frecuencia mas elevada de 600,000 cpm la rotura ocurrirá con toda probabilidad a causa de la fuerza aplicada (aceleración). Por lo tanto, a altas frecuencias, es decir de 60,000 cpm y más, la aceleración puede ser el mejor indicador de la severidad de la vibración. En la tabla 4.3 se puede ver los diferentes valores de la velocidad y aceleración de vibración.

- e). *Fase.* La medición de ésta es esencial en el análisis de la vibración y se expresa en (grados) sirve para diagnosticar problemas específicos de las máquinas. Las mediciones comparativas de fase se usan como sigue:

Balanceo. La fase se usa para determinar el tipo de desbalance, estático o dinámico y para calcular la cantidad y la ubicación angular de los pesos de corrección. Se usa también para evaluar los efectos de temperatura, carga, fuerzas, etc.

Falta de alineamiento. Las mediciones comparativas de fases revelan el tipo de falta de alineamiento (angular o de descentramiento) y la ubicación del defecto.

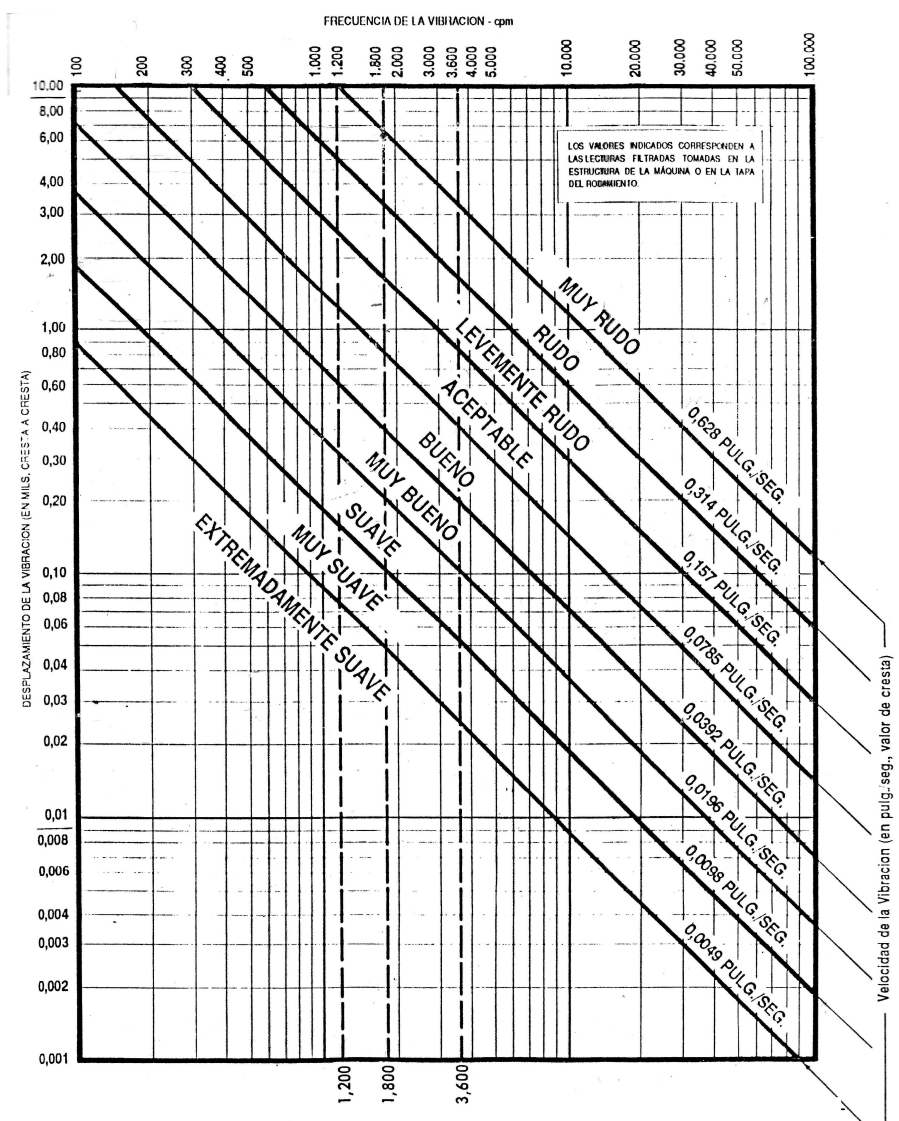


Figura 4.2: Tabla de severidad de vibración

Aflojamiento. Se usa la fase para detectar la existencia de movimiento relativo de los componentes de las máquinas causadas por un enlechado de mala calidad, por cimentaciones rotas o resquebrajadas, etc.

Estudios de modalidad. Las lecturas comparativas de fase pueden revelar formas de modalidad en todos los tipos de estructuras para maquinaria.

En la figura 4.4 puede apreciarse cuando la pieza (A) está en la posición superior la pieza (B) está en la posición contraria, esto demuestra que existe un desfase de 180° .

- f). *Energía de impulso.* Esta es abstracta (no tiene definición clara), su medición está dada en (g-SE) los parámetros incluyen impulsos de energía de vibración de muy breve duración, alta frecuencia y similares a picos que acontecen en una máquina como resultado de: defectos en la superficie de los elementos rodantes o engranajes, rozamiento, impacto, contacto entre metal y metal en máquinas rotativas, fugas de vapor o pérdidas de aire

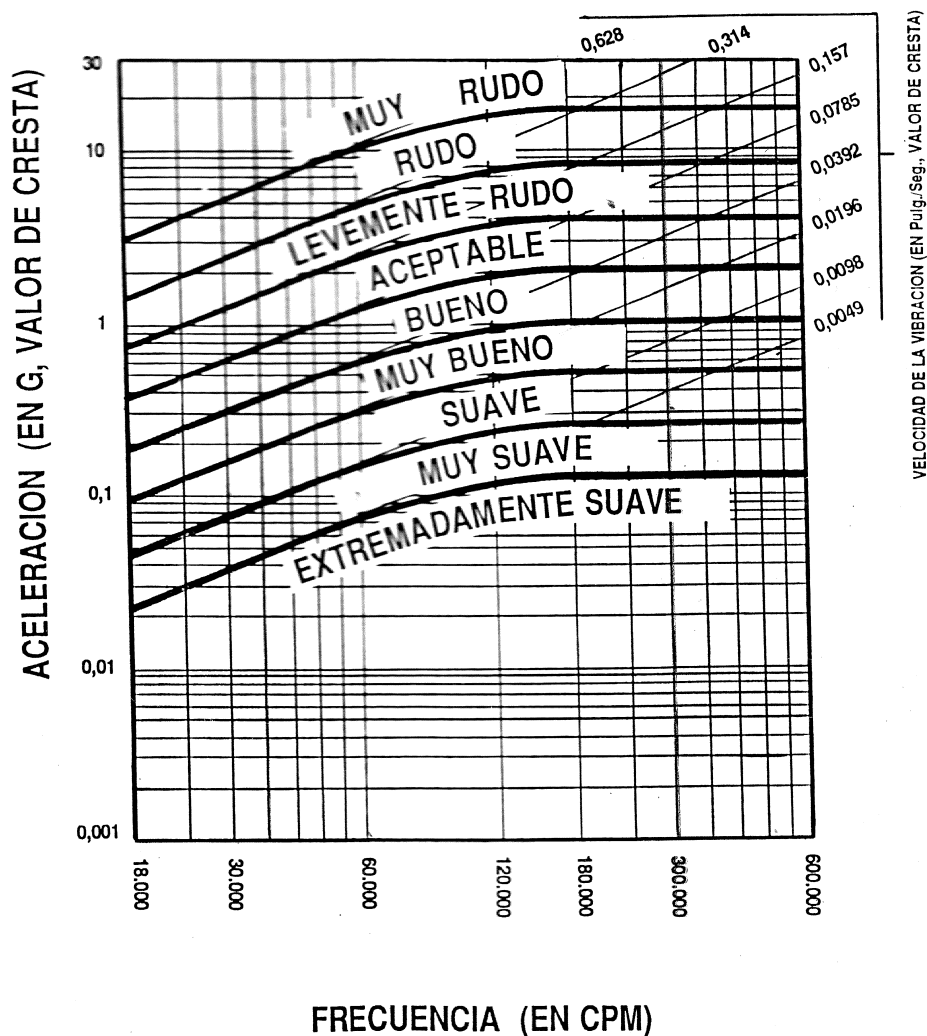


Figura 4.3: Tabla de severidad velocidad-aceleración

baja y alta presión y cavitación causada por turbulencia de flujo de fluidos. Características adicionales de la vibración.

Existen varias características adicionales tales como:

Vibración inducida. Es aquella causada por una fuerza vibratoria, como en el caso del desbalance, que obliga a la máquina o estructura a vibrar a la misma frecuencia de la fuerza vibratoria.

Vibración espontánea. Es la vibración que se genera cuando se deja que una máquina o estructura vibre sin la presencia de fuerzas externas (por ejemplo, después de haber eliminado la vibración inducida).

4.1.2. Instrumentos de medición de la vibración

Los instrumentos electrónicos utilizados para la medición de la vibración de las máquinas son clasificados, generalmente como: medidores, monitores y analizadores.

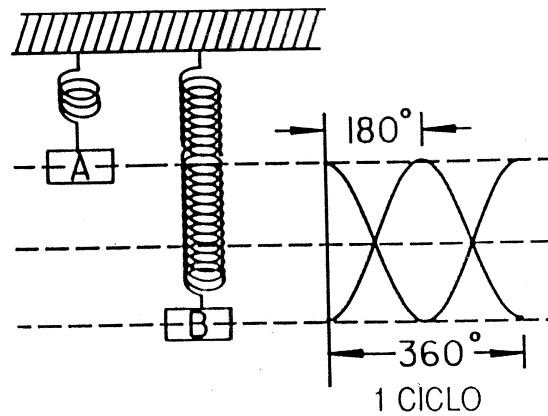


Figura 4.4: Dos piezas vibrando desfasadas 180°

Medidores. Sirve para determinar el nivel general de la vibración en diversos puntos de la máquina.

Monitores. Sirve de forma muy similar al anterior pero se instalan permanente o semi-permanente, para proporcionar un monitoreo constante de la vibración de la máquina.

Analizadores. Estos pueden realizar las mismas funciones de los medidores y monitores pero pueden llevar a cabo operaciones más complejas, ejemplo pueden separar las frecuencias individuales de una forma de onda vibratoria compleja, también incluyen una lámpara estroboscópica que es utilizada en el análisis de fase y en el balanceo dinámico.

Todos los medidores de vibración, monitores y analizadores de la marca IRD usan transductores de vibración, el cual a menudo es llamado *captador de vibración o sensor*.

Independientemente del tipo de instrumento que se use para medir la vibración, el corazón del sistema de medición es el transductor o sea el captador. Un transductor es un dispositivo sensible que convierte una energía mecánica en eléctrica. En la figura 4.5 se muestra un analizador de vibración con todas las funciones utilizadas para éste fin.

Para la toma de medición de las vibraciones en una máquina se puede seleccionar el captador mas adecuado en función al parámetro más significativo y a las frecuencias utilizadas, para ello se tiene que ver la posición en que gira la máquina ya sea horizontal o vertical, tal como se muestra en la figura 4.6. Enseguida se tomarán vibraciones en cada apoyo (rodamiento del eje) de la máquina y en tres puntos importantes como pueden ser: radial vertical/horizontal y axial.

4.2. Analisis de la vibración

El análisis de vibraciones espectral es una herramienta ampliamente utilizada en el mantenimiento predictivo y tiene como objetivo identificar las principales frecuencias de excitación del sistema, relacionando éstas con el



Figura 4.5: Analizador de vibraciones

tipo de defecto que la máquina tiene. Los defectos inherentes a la rotación de la máquina son presentados a través de las frecuencias de rotación y sus armónicos.

Cada componente vibra de un modo diferente y genera un ruido característico dejando en el espectro una huella típica en forma de patrón de líneas. Si hay un deterioro de éste lo muestra a partir de los ruidos de fondo. El especialista detecta si se trata, por ejemplo, de un desequilibrio, de un fallo de alineación o de daños de rodamientos. Además de un diagnóstico preciso, por regla general, también se puede especificar si es necesario actuar de inmediato o puede esperar hasta la próxima revisión programada.

Este análisis es un procedimiento en dos etapas que consiste en: *adquisición de datos e interpretación de los mismos*.

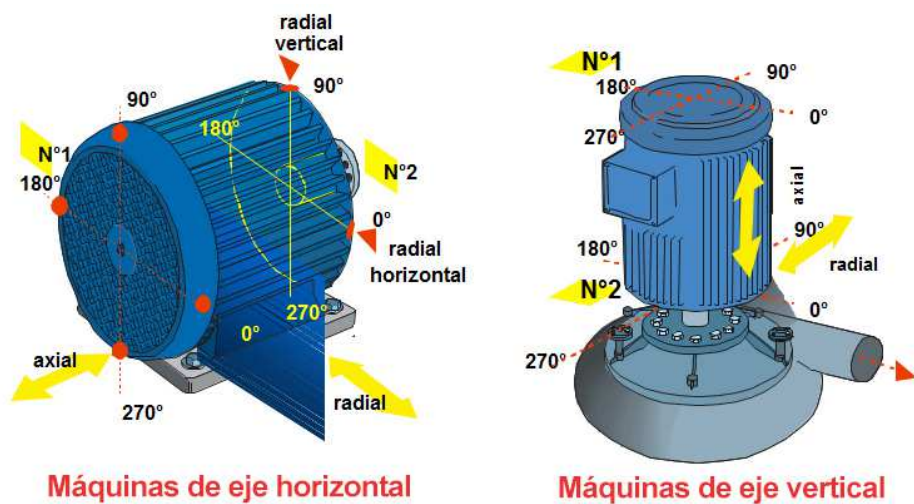


Figura 4.6: Apoyos para toma de lecturas de vibración

1). *Adquisición de datos*. En éste punto es necesario obtener toda la información posible de la máquina, cuando esta operando para ser mas precisos

en el análisis, para ello, se selecciona el captador adecuado así como su fijación, la proximidad en los apoyos del eje de rotación, las frecuencias dominantes y el párametro más significativo.

Los datos se anotarán en una hoja de registro como se muestra en la figura 4.7; para su análisis ,interpretación y corrección.

La adquisición de datos requiere que se lleve a cabo los siguientes pasos:

a). *Determinación de las características de diseño y funcionamiento de la máquina.* Ejemplo: velocidad de rotación (rpm), tipos de rodamientos, tipos de engranajes, historial de mantenimiento (problemas registrados) y sus condiciones físicas tales como: cimentación, ruidos, temperatura, carga, etc.

TECNOLOGIA DE VIBRACIONES Y ULTRASONIDO, S.A. DE C.V.						FECHA					
DEPARTAMENTO DE SERVICIO						DIA MES AÑO					
ANALISIS DE VIBRACION						CROQUIS DEL EQUIPO					
COMPANIA VISITADA:											
EQUIPO UTILIZADO:											
METODO DE FIJACION:											
TIPO DE DETECTOR:											
CONDICIONES DEL ANALISIS:											
FRECUENCIAS PREDOMINANTES:						R.P.M.			R.P.M.		
ANALISTA:											
PICKUP		FILTRO FUERA				FILTRO DENTRO					
Puntos	POS.	Aceleración g	RPM	DISPL MILS	RPM	Velocidad Pulg. Seg.	RPM				
	H										
	V										
	A										
	H										
	V										
	A										
	H										
	V										
	A										
	H										
	V										
	A										
	H										
	V										
	A										
DETALLES OBSERVADOS EN EL EQUIPO:						3-					
1-						4-					
2-						5-					
RESULTADOS DEL ANALISIS:											
RECOMENDACIONES:											

Figura 4.7: Hoja de registro de vibraciones

b). *Determinación de la finalidad de la medición,* éstas son: verificación periódica rápida de las condiciones de la máquina, identificación y eliminación de un problema del cual se sospecha la existencia, adquisición de datos para establecer la línea de bae, etc.

c). *Selección del parámetro de medición,* tales como: desplazamiento, velocidad, aceleración, energía de impulsos y fase.

d). *Determinación de posición y sentido de medición para los transductores.*

e). *Selección de los instrumentos de medición.*

f). *Selección de los transductores para la medición.* Captadores de velocidad, acelerómetros, captadores de proximidad.

g). *Determinación del tipo de datos requeridos.* Banda ancha,, amplitud contra frecuencia, amplitud contra tiempo, energía de impulsos y fase.

h). *Toma de mediciones.* Hay que determinar el orden mas eficiente para la toma de mediciones, vigilar la aparición de resultados inesperados, estar preparados para tomar datos adicionales, revisar los datos obtenidos para asegurar su válidez.

2). *Interpretación de datos.* Esta exposición comienza con algunas notas generales sobre el análisis de vibración, basadas en los registros de los datos recopilados de la máquina.

Hay que tener presente que la interpretación de datos involucra exámen e interpretación detallado de:

- Mediciones de amplitud de vibración (totales).
- Mediciones de amplitud vs frecuencia.
- Mediciones de amplitud vs tiempo.
- Mediciones de fase.
- Observaciones de las formas de onda.

La amplitud mas alta de la vibración se encuentra normalmente cerca de la pieza de la máquina en la cual se localiza el problema. Por tanto, si un estudio inicial de los datos revela que hay amplitudes predominantes que acontecen a una frecuencia particular, es muy probable que el problema esté radicando en la posición de la máquina en la cual se verifica la amplitud predominante a esa frecuencia.

En la figura 4.8 se observa un equipo compuesto por un motor eléctrico y un ventilador movido por bandas, eso provoca problemas de vibración a tres frecuencias diferentes y aún más si se consideran las frecuencias relacionadas con las armónicas y otras más; es probable que cuando comience a presentarse un problema debido a vibración, se notará una amplitud predominante que ocurrirá a una o más de las frecuencias indicadas en la figura.

Ahora en la figura 4.9, se tiene una tabla de registro o barrido de vibraciones que se han obtenido de un equipo motor eléctrico-ventilador que se ha tomado con un analizador-balanceador IRD modelo 350 y con un sensor de velocidad pico modelo 544 para determinar el responsable y la causa de vibración excesiva que se genera.

Observando los valores de la tabla se puede notar que la vibración es más alta en los apoyos A y B que son los rodamientos del motor. La frecuencia es de 1800 rpm, o sea 1xrpm de la máquina. La indicación inicial es que las fuerzas ocasionadas por la vibración están localizadas en el extremo del accionamiento del motor. También se puede apreciar que la vibración a 1800 rpm se verifica en los rodamientos C y D, los cuales se encuentran en el lado accionado que es el ventilador. La amplitud de vibración en esos rodamientos es menor que los rodamientos A y B, por lo tanto; la vibración

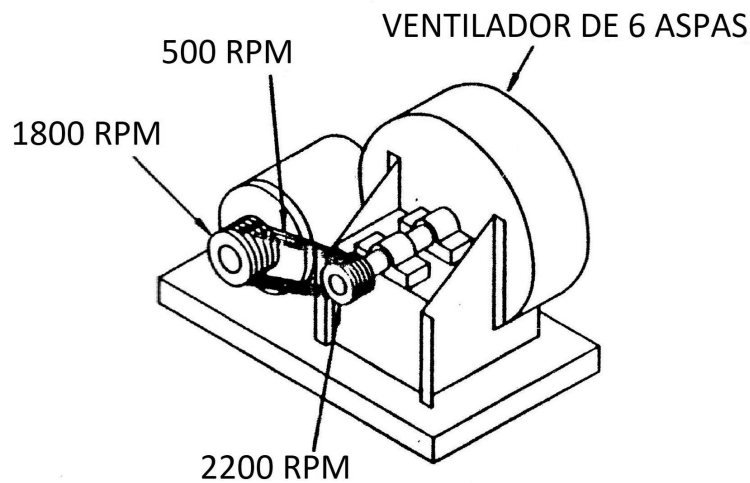


Figura 4.8: Equipo mecánico con varias fuentes de vibración

que ocurre en éstos apoyos se propaga por el eje y llega a los radamientos antes mencionado. Este es un ejemplo de identificación de la ubicación del problema basada en el hecho que la amplitud de la vibración es mayor cerca del punto del origen del problema.

Por otro lado, buscando la causa del problema se observa que los valores mas altos de vibración tanto en desplazamiento como velocidad se manifiestan en el sentido radial como son: horizontal y vertical lo que nos indica la gran probabilidad de un *desbalance*, solo quedaría confirmarlo con un barrido de la firma o FFT (transformada de Fourier) a esa frecuencia de 1xrpm.

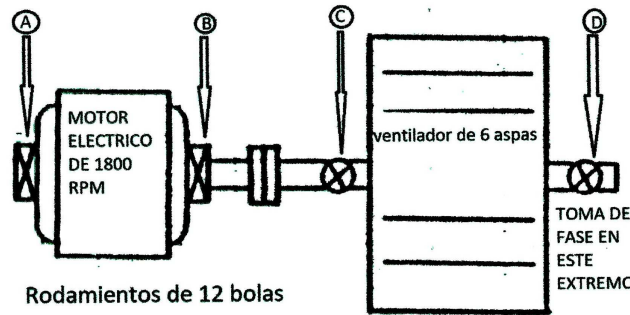
La razón principal para analizar y diagnosticar el estado de una máquina es determinar las medidas necesarias para corregir la condición de vibración y reducir el nivel de las fuerzas vibratorias no deseadas.

4.3. Diagnóstico de vibraciones

Todas las vibraciones que se verifican en la maquinaria tienen una causa y un efecto, por lo tanto, cada falla emite señales de características muy propias, algunas de éstas el diagnóstico es muy parecido pero en algo difieren; he ahí la importancia de ser lo más preciso posible para resolver el problema. A continuación se mencionan los diagnósticos de fallas mas comunes en elementos de máquinas:

a). *Vibración debida a un desbalance*. Esta es una de las causas más comunes de la vibración, teniendo las siguientes características:

- La frecuencia de vibración se manifiesta a 1xrpm de la pieza de desbalance.
- La amplitud es proporcional a la cantidad de desbalance.



PUNTOS DE APOYO		FILTRO FUERA DESPLAZAM.		FILTRO FUERA VELOCIDAD		FILTRO DENTRO VELOCIDAD (CPM)			ANGULO DE FASE 1XRPM
		mils	cpm	Pulg/seg	cpm	1800	3600	10,800	
A	H	0.2	1800	0.54	1800	0.09	0.10	0.06	2:00
	V	2.3	1800	0.27	1800	0.21	0.06	0.03	5:00
	A	0.9	1800	0.12	1800	0.09	0.03	0.01	8:30
B	H	0.5	1800	0.45	1800	0.45	0.10	0.04	2:30
	V	1.9	1800	0.22	1800	0.21	0.09	0.02	6:30
	A	0.13	1800	0.14	1800	0.11	0.04	0.01	8:30
C	H	1.9	1800	0.48	1800	0.16	0.10	0.02	2:40
	V	1.5	1800	0.36	1800	0.11	0.09	0.02	5:00
	A	0.9	1800	0.22	1800	0.09	0.05	0.01	2:00
D	H	1.0	1800	0.13	1800	0.10	0.04	0.02	2:30
	V	0.8	1800	0.09	1800	0.07	0.03	0.01	5:00
	A	0.4	1800	0.06	1800	0.04	0.02	0.01	2:00

Figura 4.9: Tabla de barrido de vibración

- La amplitud de la vibración es normalmente mayor en el sentido de la medición radial, horizontal o vertical (en máquinas de ejes horizontales).
- El análisis de fase indica lecturas de fase estable.
- La fase se desplazará 90° si se desplaza el captador ese mismo ángulo.

Estos cinco signos son una buena guía, pero deben ser interpretados con cuidado y con sentido común.

b). *Vibración debida a falta de alineamiento.* A pesar de la existencia de rodamientos autoalineables y acoplamientos flexibles, es difícil alinear dos ejes y sus rodamientos de manera que no se originen fuerzas que puedan crear vibración. A continuación se presenta su diagnóstico:

- La frecuencia de vibración es de 1rpm, también 2xrpm y 3rpm en los casos de un desalineamiento severo.
- La amplitud de la vibración es proporcional a la falta de alineamiento.
- La amplitud de la vibración puede ser alta también en sentido axial, además de radial.
- El análisis de fase muestra lecturas de fase inestable.

La falta de alineamiento aún con acoplamientos flexibles, produce fuerzas tanto radiales como axiales que a su vez, producen vibraciones en ambos sentidos. Cuanto mayor es la cantidad de vibración, así será el desalineamiento.

En la figura 4.10 se muestra un espectro de vibraciones, para desbalance, desalineamiento, holguras y ejes doblados.

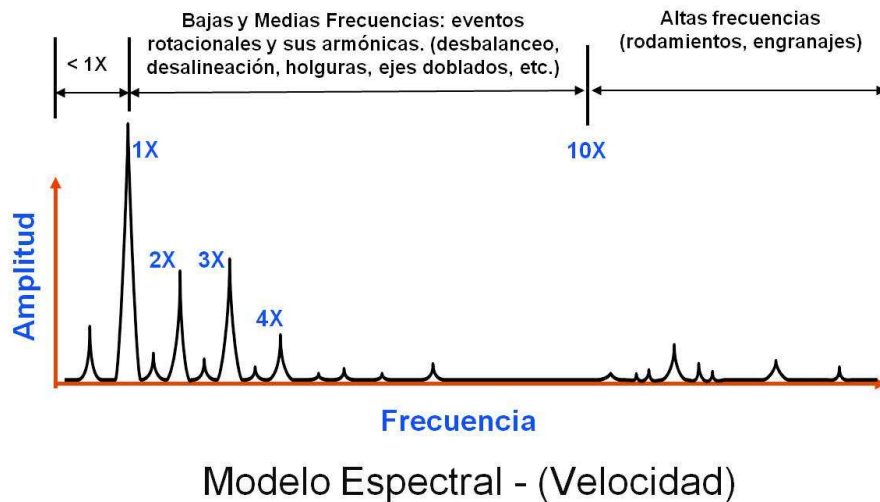


Figura 4.10: Espectro de vibración para desbalance y desalineamiento

c). Vibración debida a rodamientos defectuosos. Defectos en las pistas, en las bolas o rodillos de elementos rodantes ocasionan vibración de alta frecuencia y lo que es más, ésta no es necesariamente un múltiplo integral de la velocidad de rotación del eje. La amplitud de la vibración dependerá de la gravedad de la falla del rodamiento, los impactos momentáneos pueden excitar frecuencias de vibración natural similar a la que produce un diapasón. Esta vibración de frecuencia natural ocurre típicamente cuando llega a su pico, en la gama entre 10,000 y 100,000 cpm.

Los rodamientos no fallan prematuramente a menos que alguna otra fuerza actúe sobre ellos y éstas son generalmente las que ocasionan vibración, de manera que cuando un análisis indica síntomas de problemas; no se debe eliminar la posibilidad de que la causa principal sea algo diferente. Enseguida se tiene una serie de fallas en éstos:

- Carga excesiva
- Falta de alineamiento
- Montaje defectuoso
- Ajuste incorrecto
- Lubricación inadecuada o incorrecta
- Sellado deficiente
- Falsa brinelación (deformación bajo carga)
- Corriente eléctrica

En la figura 4.11 se muestra el espectro para un rodamiento de bolas en mal estado, se aprecia que los valores mas altos de vibración de velocidad es 0.57 pulgadas/seg en horizontal-vertical y a una frecuencia de 1800 CPM, sin embargo el siguiente pico se da a 3600 CPM y se vuelve a repetir los picos más adelante a una frecuencia de 30 Kilociclos aproximadamente.

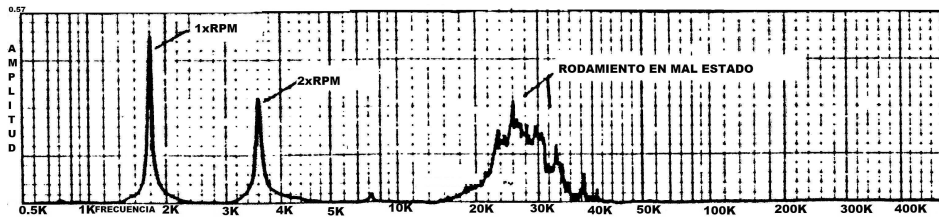


Figura 4.11: Espectro de un rodamiento defectuoso

d). Vibración debida a excentricidad. Es otra causa común de vibración en máquinas rotativas, donde el eje central no es el mismo que la línea central del rotor, o sea el centro de rotación verdadero difiere de la línea central geométrica. La excentricidad es en realidad una fuente común de desbalance y se debe a un mayor peso de un lado del centro de rotación que del otro; los síntomas son idénticos al que se maneja anteriormente para un desbalance y puede ser corregida con técnicas de la misma manera.

e). Vibración debida a aflojamiento mecánico. También llamado golpeo (machacado) su acción produce vibración a una frecuencia que a menudo es $2x$ o múltiplos de las rpm, el resultado puede ser: pernos de montajes sueltos, holguras excesivas en los rodamientos, fisuras en las estructuras o en el pedestal de soporte. La vibración característica de un aflojamiento mecánico es generada por alguna otra fuerza de excitación, como un desbalance o una falta de alineamiento.

En teoría entonces, la vibración por ésta falla mecánica podría ser corregida eliminando la causa primordial. Sin embargo, es mucho mejor identificar y corregir primeramente el problema de aflojamiento, luego si se requiere una mayor reducción de los niveles de vibración se puede proceder ya sea balanceando y alineando la máquina. En la figura 4.12, se observa el espectro de un aflojamiento mecánico visto desde un osciloscopio.

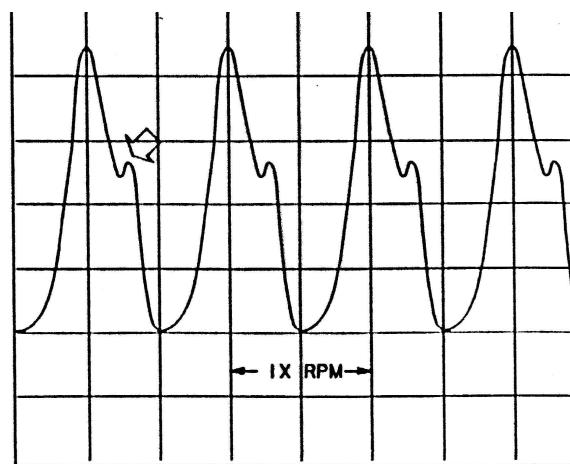


Figura 4.12: Espectro de un aflojamiento mecánico

4.4. Balanceo de rotores

Una de las causas más comunes de vibración en maquinaria es el desbalance de piezas rotativas. El desbalance se produce cuando el centro de gravedad de una pieza no coincide con su eje de rotación, produciendo por lo tanto, fuerzas y/o momentos que hacen vibrar la máquina.

El desbalance puede ser producido por:

- Falta de simetría en las partes rotativas de las máquinas, debidas a la fundición, forjado y maquinado.
- Falta de homogeneidad causada por soldaduras.
- Variaciones en la estructura química y cristalina del material, causadas por el vaciado o tratamiento térmico.
- Variaciones en el tamaño de tornillos, tuercas, y otros sujetadores.

Los problemas más comunes causados por la vibración debida al desbalance son:

- Excesivo desgaste en los puntos de apoyo o chumaceras.
- Ruidos adicionales en la operación de las máquinas.
- Desajuste de tornillos, tuercas, arandelas, etc.
- Fallas por fatiga en elementos de la estructura.

4.4.1. Tipos de desbalance

Los tipos de desbalance pueden ser clasificados según la relación geométrica entre el eje de alineamiento del árbol y el eje de alineamiento principal de un rotor. A éste respecto existen cuatro tipos.

a). Desbalance estático. Es un estado en el cual el eje de alineamiento principal está desplazado en un alineamiento paralelo al eje del árbol y puede ser identificado colocando el rotor sobre un soporte de rieles paralelos y viendo como la fuerza de gravedad hace que el lado más pesado de la pieza se coloque hacia abajo. Con el rotor en movimiento giratorio se notará que el ángulo de fase es igual en ambos extremos del rotor. Este tipo de desbalance se puede ver en la figura 4.13.

b). Desbalance de par Es una condición en la cual el eje de alineamiento central principal intercepta el eje de alineamiento del árbol en el centro de gravedad del rotor, los puntos pesados iguales en ambos extremos del rotor crean un par de fuerzas, a diferencia del anterior no puede ser identificado positivamente mediante la colocación de la pieza sobre los rieles paralelos, sin embargo se torna evidente solamente cuando se hace girar la pieza y se nota una diferencia 180° en el ángulo de la fase entre los extremos del rotor, como se puede ver en la figura 4.14.

c). Desbalance cuasi-estático Un rotor solamente en muy pocos casos tendrá desbalance estático o de par, normalmente tiene un poco de ambos. Entonces el eje central principal intercepta el eje del árbol, pero no en el centro de

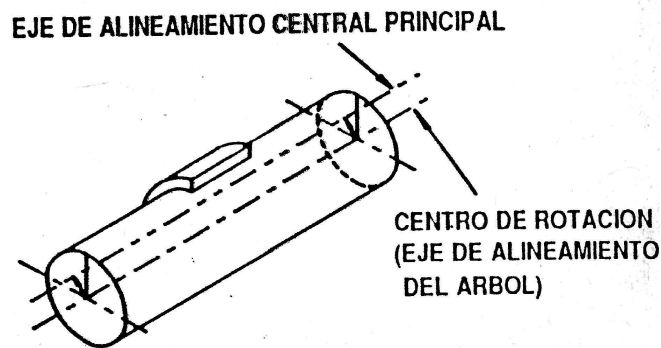


Figura 4.13: Desbalance estático

gravedad del rotor; es decir, pesos desbalanceados en los extremos opuestos del árbol y en los lados opuestos de la línea central. La diferencia es que los pesos no son iguales y es evidente al hacer rotar la pieza se puede ver una comparación entre la amplitud de vibración y fase en el extremo del rotor, por lo tanto, las amplitudes serán notablemente diferentes y el ángulo de fase entre ellas podrá llegar hasta 180° . Se aprecia éste desbalance en la figura 4.15.

d). Desbalance dinámico Es el tipo más común de desbalance y es definido como un caso en el cuál el eje central principal y el árbol no se intersectan ni están alineados paralelamente el uno con el otro, generalmente revela lecturas de fase que no son iguales ni están a 180° fuera de fase, por lo cuál en adelante se describirá el balanceo dinámico de rotores. En la figura 4.16 se aprecia éste tipo de desbalance.

4.4.2. Planos para balanceo

No todos los problemas de balanceo pueden ser resueltos balanceando en un solo plano de corrección. Como guía para determinar si se requiere proceder al balanceo en un solo plano o en dos, una fuente declara que

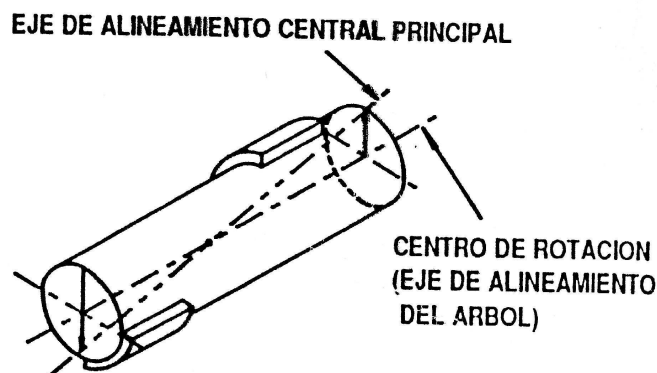


Figura 4.14: Desbalance de par

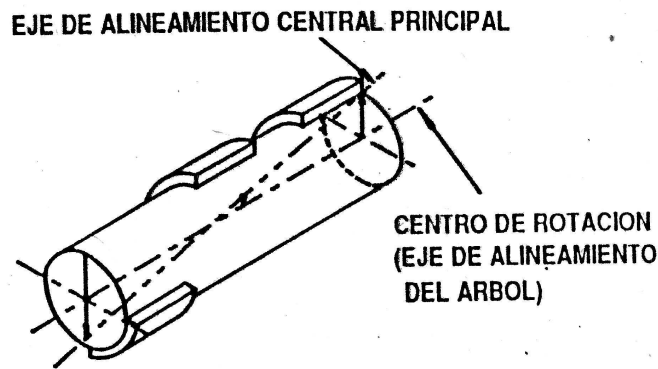


Figura 4.15: Desbalance quasi-estático

la cantidad de planos de corrección deberá estar basada en la relación existente entre longitud y diámetro del rotor, o sea la longitud de la pieza rotativa dividida por su diámetro. La relación (L/D) se calcula en base a las dimensiones del rotor, excluyendo el eje de soporte.

El balanceo en dos planos se lleva a cabo prácticamente de la misma manera que el de un solo plano. Sin embargo, éste balanceo requiere especial atención debido al efecto cruzado, o sea la interferencia de planos de corrección. En la tabla de la figura 4.17 es una guía para balancear a diferentes planos de corrección.

4.4.3. Métodos para balanceo de rotores

Existen varios métodos de balanceo de rotores tales como:

- Gráfico o del paralelogramo
- Midiendo amplitud y fase de vibración
- De los coeficientes de influencia
- Siebert gráfico
- Etc.

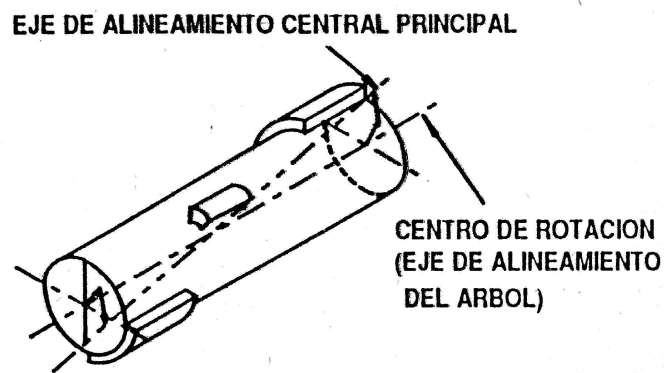
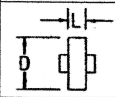
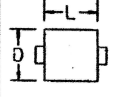
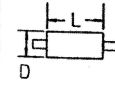


Figura 4.16: Desbalance dinámico

Figura	Relación L/D Excluyendo el eje	Corrección del balance		
		En un solo plano	En dos planos	En planos múltiples
	Menor de 0.5	0-1000 rpm	Arriba de 1000 rpm	No aplica
	Más de 0.5 pero menos de 2	0-150 rpm	Entre 150 y 2000 rpm ó por arriba del 70% de la 1ª. Velocidad. crítica	Por arriba de 2000 rpm ó por arriba del 70% de la 1ª. Velocidad. crítica
	Más de 2	0-100 rpm	Por arriba de 100 rpm hasta el 70% de la 1ª velocidad. crítica	Por arriba del 70% de la 1ª. Velocidad. Crítica.

L=Longitud D= Diámetro rpm= Revoluciones por minutos

Figura 4.17: Planos de corrección para balanceo

En ésta unidad se explica el método vectorial del paralelogramo, pero antes de eso es necesario entender algunos conceptos básicos.

El balanceo es el proceso mediante el cual se determina la cantidad y la posición del punto pesado, de manera que sea entonces posible agregar un peso de igual cantidad del lado opuesto del rotor, o quitar peso en el punto pesado. Se sabe que a mayor cantidad de desbalance, mayor será la fuerza generada y por ende, la amplitud de vibración. Por ésta razón se usa ésta para ayudar en la determinación de la cantidad de desbalance. Además se usa la posición de una marca de referencia en el rotor para localizarla con la luz estroboscópica del analizador y ubicar el desbalance.

4.4.4. Requisitos para el balanceo

Antes de empezar a balancear un rotor usando el analizador de vibración habrá que satisfacer algunas condiciones, como éstas:

- Se debe analizar cuidadosamente la vibración para asegurarse que verdaderamente el problema sea debido a un desbalance.
- Se debe revisar la máquina con atención para asegurarse que no hay señales de daños, tales como: fisuras, acumulación de suciedad o depósitos de materias extrañas, elementos sueltos, aflojaduras, etc en el eje.
- De los datos de vibración, se deberá tomar nota de las lecturas radial (sentido horizontal y vertical) más alta, fijando los transductores de vibración en el sentido de la mayor amplitud.
- Antes de anotar las lecturas de desbalance, asegúrese de que la máquina se haya estabilizado.
- Asegúrese de que el filtro del analizador esté sintonizado correctamente con la velocidad de rotación de la máquina, antes de registrar los valores de desbalance.
- Después de haber tomado las lecturas originales y apagado la máquina, coloque el sintonizador en filtro fuera, observando la vibración

durante el descenso de la velocidad de rotación para ver si no esta en alguna velocidad critica.

- Una vez se haya detenido la máquina observe si no existe una vibración circunvecina.
- Asegúrese de que los pesos de prueba esten bien sujetos.

4.4.5. Método vectorial para balanceo en un plano

Este método reduce al mínimo la cantidad de arranques de prueba requeridos, eliminando todas las conjeturas.

Paso 1. Observe y registre los valores de desbalance originales. Por ejemplo 5.0 milésimas de pulgadas a 120°.

Paso 2. Seleccione un peso de prueba y fíjelo en una posición arbitraria en el rotor, y tome nota de los nuevos valores de vibración, los cuáles representan el desbalance causado por una combinación del punto pesado original y del peso de prueba añadido. Por ejemplo, peso de prueba 10 gramos, que dé un nuevo resultado de desbalance de 8.0 milésimas de pulgadas a 30°.

Paso 3. Dibuje un vector que represente el desbalance original, a éste llamaremos "O" (original), enseguida se traza un vector que represente el desbalance combinado del punto pesado original más el peso de prueba, a éste vector le llamaremos "O+T"; al final una los extremos de éstos dos vectores, trazando un tercer vector llamado "T" que deberá apuntar hacia el vector "O+T".

Para poder encontrar el peso correcto para el balanceo se empezará por medir la longitud del vector "T", utilizando la misma escala para trazar los vectores "O" y "O+T". El ejemplo muestra que "T" tiene una longitud de 9.4 milésimas de pulgadas (indicando la cantidad de desbalance que el peso de prueba agregó al sistema). Con éstos datos, calculamos el peso de corrección, de la siguiente manera:

$$\text{Peso de corrección} = \text{Peso de prueba} \times \frac{\text{"O"}}{\text{"T"}}$$

En éste ejemplo se fijó un peso de prueba de 10 gramos, un desbalance original("O") de 5.0 milésimas de pulgadas y se midió el desbalance de prueba "T" que resultó de 9.4 milésimas de pulgadas. Así que:

$$\text{Peso de corrección} = 10 \text{ grs} \times 0.005 \text{ mil} / 0.0094 \text{ mil} = 5.3 \text{ grs.}$$

El peso de corrección será de 5.3 grs.

Una vez que se conoce el peso de corrección, el paso siguiente es ubicar donde éste peso se colocará en el rotor. Matemáticamente hablando, el objetivo es ajustar el vector "T" de manera que tenga la misma longitud del vector "O" pero apuntando en la dirección opuesta, lo que anularía el vector "O" y permitiría obtener un balanceo perfecto del rotor.

El ángulo entre los vectores "O" y "T" es igual a la cantidad de ajuste que se deberá aportar. En la figura se aprecia un ángulo de 58°; esto quiere decir que el peso de prueba deberá ser desplazado 58° en el sentido opuesto al de la rotación del reloj, para hacerlo igual y opuesto al vector "O". Teniendo

en cuenta que el ángulo de fase se desplaza siempre en sentido contrario al desplazamiento de la ubicación del peso, se puede concluir que se debe desplazar éste peso a 58° en el sentido de rotación del reloj. Los esquemas se representan en la figura 4.18.

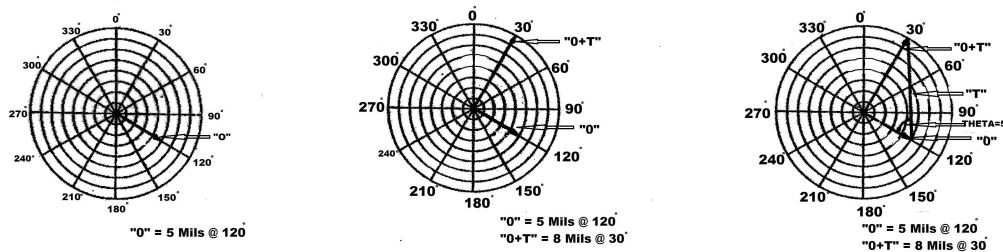


Figura 4.18: Método vectorial del paralelogramo para balanceo

Paso 4. Aunque éste método vectorial de balanceo en un solo plano permite calcular el peso exacto y la ubicación para el peso de desbalance, es siempre una buena idea confirmar los resultados del trabajo de corrección hecho antes de darlo por terminado. Una de las razones es que errores muy a menudo en la lectura de los ángulos de fase y/o en la colocación del peso prueba pueden ocasionar que permanezca un poquito dicho desbalance. Ocasionalmente se verá que, una vez terminados los cálculos y hechos los ajustes, será necesario afinar un poco más el balanceo. El procedimiento es el mismo, pero se reemplazarán los parámetros de prueba con los nuevos valores de desbalance.

4.5. Registro y análisis de vibraciones

Como se ha venido mencionando, la detección de la vibración consiste en encontrar un problema en la máquina, para ello es necesario un seguimiento y control constante del nivel de vibraciones. El intervalo entre mediciones depende de cada equipo y puede variar desde horas hasta meses o una medición continua, según el tipo e importancia en el proceso. Los puntos elegidos para tomar vibraciones son aquellos donde puede ser posible encontrar una falla que afecte al buen funcionamiento de la máquina, serán lugares en los que se ubiquen rodamientos, chumaceras, engranajes o uniones entre ejes.

En los puntos a medir se tomarán lecturas de velocidad, aceleración o desplazamiento, en función de la situación del punto y de las características de la máquina. El instrumento utilizado será un colector de datos junto con un programa informático que almacene los valores recogidos en las revisiones rutinarias de los equipos de la planta. A partir de datos históricos de los puntos de cada máquina es posible detectar una falla cuando la tendencia de valores aumenta o varía notablemente.

El siguiente paso es analizar el problema detectado, una vez que se ha encontrado éste, se identifican sus posibles causas. Este estudio es complicado, depende en cada caso del punto donde aparece el defecto, la posición y el entorno de la máquina. No existen rasgos que caractericen de una forma inequívoca una causa de exceso de vibración, si no que la experiencia, el sentido común y el conocimiento de cada máquina son puntos esenciales. Por último, el paso a seguir es la corrección de la falla detectada y analizar las causas, es necesario estudiar las acciones a realizar para solucionarlas a la vez que programar el momento adecuado para su reparación, intentando que ésta sea lo más eficiente posible y que afecte de forma mínima el proceso de producción, aprovechando para ello una parada o una situación en la que la carga de trabajo para la máquina sea menor.

En la figura 4.19, se puede ver un colector de datos, éste instrumento tiene un programa informático que almacena los valores de vibración de las rutinas programadas en planta, así también, puede realizar una grafica de tendencia de vibraciones anunciando aquellos valores que son riesgosos para la operación de la máquina.



Figura 4.19: Colector de datos de vibración

UNIDAD 5

Montaje y técnicas de alineación

Un mantenimiento efectivo a maquinaria empieza con el buen montaje y alineración de la misma.

Montaje. Es el proceso mediante el cual se coloca una pieza o máquina en su posición definitiva dentro de una estructura, ésta pueden ser de diferentes materiales pero las preferidas son las estructuras metálicas y de hormigón. Estas se adaptan a las concepciones de las nuevas arquitecturas y las necesidades de la industria de hoy, se emplean cada día más ampliamente; con ambos sistemas se pueden alcanzar obras de grandes magnitudes, todo esto se realiza con diferentes equipos de trabajo y maquinaria. El montaje de maquinaria industrial es un desafío permanente para el ingeniero, suele desarrollarse en condiciones geográficas complejas o debe adaptarse a una nueva estructura ya existente.

Por otro lado, la alineación es una técnica que busca la calidad en el montaje de las máquinas rotativas para un funcionamiento efectivo. Ambas partes están correlacionadas y deben realizarse de manera secuencial, buscando alargar la vida productiva de la maquinaria de una empresa.

5.1. Cimentación

La cimentación es el conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de la maquinaria o elementos apoyados al suelo distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales. Debido a que la resistencia del suelo es generalmente menor que la de los equipos mecánicos que soportará, el área de contacto entre el suelo y la cimentación será proporcionalmente más grande que los elementos soportados.

Propósitos:

- Ser suficientemente resistentes para no romper por cortante.
- Soportar esfuerzos de flexión que produce el terreno, para lo cual se dispondrán armaduras ó herrajes en su interior.
- Acomodarse a posibles movimientos del terreno.
- Soportar las agresiones del terreno, del agua y su presión.

5.1.1. Requerimientos de cimentación

La elección del tipo de cimentación depende especialmente de las características mecánicas del terreno, como su cohesión, su ángulo de rozamiento interno, posición del nivel freático y también de la magnitud de las cargas existentes. A partir de todos esos datos se calcula la capacidad portante, que junto con la homogeneidad del terreno aconsejan usar un tipo u otro diferente de cimentación. Pero un aspecto muy importante es que de acuerdo a los estándares, una cimentación debe ser lo suficientemente robusta para absorber la vibración y formar un soporte rígido para la máquina, ésto es lo más importante a fin de mantener alineadas las máquinas (tanto el elemento motriz como el conducido). Durante la construcción de una cimentación de concreto, se deben coordinar los trabajos del topógrafo, del Ingeniero Civil y del ingeniero mecánico. Este último debe observar los detalles que se enlistan a continuación.

- Verificar que las coordenadas de la cimentación coincidan con las coordenadas del proyecto (ésto es, el centrado de la máquina en sus respectivas coordenadas).
- Que la elevación de la cimentación estén de acuerdo al tamaño y modelo de la máquina.
- Verificar que los orificios de la base metálica del equipo estén como lo marca el plano certificado, o en su defecto a la máquina si se cuenta con ella; además deben coincidir con el anclaje y su distribución.
- Verificar el modelo, cantidad, diámetro y material de las anclas, tolerancias, así como su proyección antes de hacer el montaje de la máquina.
- Verificar el picado de la cimentación y que esté libre de polvo, aceite y grasa.

En el caso de que no coincidan, proceder a fabricar agujeros nuevos en la base metálica sin dañar los esfuerzos de ésta, o en caso contrario abocardar hasta el diámetro requerido, antes de realizar el montaje. Las anclas o pernos para la cimentación deben adquirirse exactamente del tamaño descrito en el plano de instalación y montaje.

Un método muy práctico para distribuir el anclaje, consiste en construir una plantilla de madera con las dimensiones de la base metálica de la máquina (si ésta se encuentra en campo), así también se deben usar tramos de tubería que sirvan como casquillos para que en el interior se coloque el ancla; por lo tanto se requiere que ésta no sobresalga por encima de la cimentación, pues de lo contrario no se podría nivelar la máquina.

5.1.2. Tipos de anclajes

Existen muchos tipos de anclajes, cada uno tiene una función específica que va de acuerdo a la potencia de la máquina, el tipo de fijación, tolerancias debido a la temperatura de operación, etc. En la figura 5.1 puede apreciarse éstos tipos de herrajes.

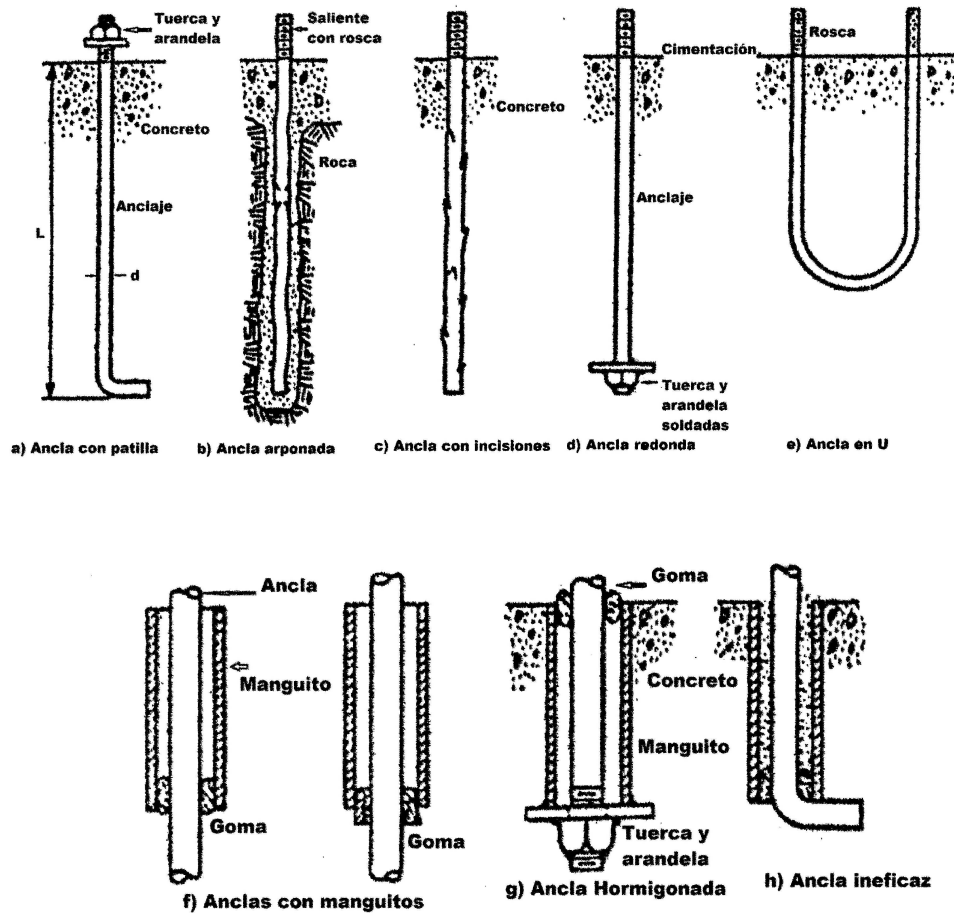


Figura 5.1: Tipos de anclajes para maquinaria

5.2. Procedimiento de montaje

Ahora con las verificaciones mencionadas con anterioridad, se montan las máquinas con la ayuda de una cuadrilla de maniobristas, mientras que el Ingeniero mecánico debe vigilar que el procedimiento de montaje sea el adecuado. Se debe utilizar equipos de apoyo, tales como: grúas hidráulicas, camión winche, montacargas, grilletes, cables de acero, perros de arrastre, brazaletes de acero, cables de polipropileno, tirfor, etc. Es muy importante saber de dónde se va a lincar la máquina, por lo tanto se deben colocar cáncamos u orejas de lingado, para evitar que las bridas, boquillas, ejes, etc., puedan flexionarse o dañarse a la hora del montaje.

Durante el procedimiento para el montaje de la placa base sobre la cimentación, se deben cortar pequeñas placas metálicas de acero y cuñas previamente para poder nivelar debidamente la máquina. Se necesitan placas metálicas cuadradas de 5 pulgadas y un espesor de $\frac{1}{2}$ pulgada, así también, cuñas de acero de 7 pulgadas de largo x 4 pulgadas de alto y 2 pulgadas de espesor para cada juego de placa, posteriormente se coloca éste juego y cuña en cada anclaje tan cerca como sea posible para poder nivelarla. Enseguida se coloca la cuña de manera que descansa en la placa base, y se empieza a nivelar, colocando un nivel de precisión en superficies totalmente maquinadas y lisas de la máquina, dicho nivel deberá marcar al centro de la gota del mismo, de ésta manera se hace en las cuatro esquinas y centro del bastidor, según la potencia de la misma. Una vez que se encuentra nivelada se procede a torquiar los pernos de anclajes cuidadosamente y verificando la altura y centro de coordenadas según se marcan en los planos de instalación.

Es necesario verificar la altura del bastidor de la máquina y la superficie de concreto sea lo que marca el plano, en ésta posición se procede a colocar el relleno (grout) según el tamaño del equipo. Este relleno se prepara con cemento gris y arena un poco humedecido y se va colocando en ese espacio de manera que pueda penetrar hasta los rincones y no queden burbujas de aire atrapadas, por lo cual se golpea con una madera y un mazo hasta quedar firme, hay máquinas que requieren resinas (Fester), ésto es para equipo sumamente pesado.

Después de dos o tres días de secado del grout se procede a retirar las cuñas de acero que sirvieron para la nivelación; dando el torque final a las tuercas del anclaje y perfilar la cimentación con cemento. En la figura 5.2 se ve el procedimiento de montaje de la máquina.

Cuando se trate del montaje a un equipo de mayor potencia, es bueno que el ingeniero mecánico se apoye con personal del departamento de maniobras para mayor seguridad tanto del personal como de la propia máquina. En la figura 5.3 se ve el procedimiento de montaje de una bomba centrífuga tipo vertical.

Este montaje se hace muy parecido al montaje de una máquina tipo horizontal, se dejan las tolerancias debidas entre la cimentación y las placas de nivelación de acuerdo al plano certificado, no olvidarse la verticalidad del

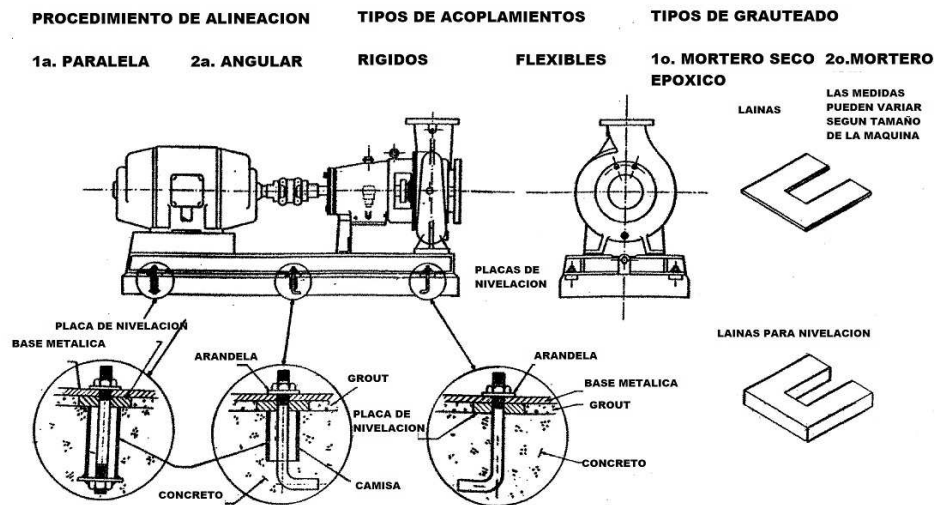


Figura 5.2: Procedimiento de montaje de maquinaria

equipo sea la correcta, enseguida se torquean las tuercas del anclaje y se procede a grautear la cimentación para que dentro de 72 horas se retiren las cuñas de nivelación y se perfilen las aristas de la base de concreto.

5.3. Nivelación y alineación de equipos

Volviendo a lo anterior, el ingeniero de Obra Civil colocará los calzos de nivelación, siendo responsabilidad del montador de la máquina su comprobación y conservación. En máquinas provistas con tornillos de nivelación se usarán éstos para tal fin. Las bases de las máquinas se nivelarán usando reglas paralelas y niveles de precisión mecánica. La nivelación debe comprender:

- Nivelación según el eje longitudinal o paralelo a dicho eje.
- Nivelación según el eje transversal o paralelo a dicho eje.
- Nivelación diagonal (ambas diagonales).

Una vez nivelada la máquina al 100% y estando su base bien torqueada se comprobará la calidad del trabajo efectuado mediante un certificado de aceptación.

Por otro lado, el desalineamiento entre ejes es uno de los problemas de vibraciones más frecuentes en máquinas rotativas después del desbalanceo, y se debe a la dificultad que presenta mantener la colinealidad entre sus ejes. Puede tener su origen en causas muy diversas como: excesiva confianza en la utilización de acoplamientos elásticos y rodamientos autoalineables, distorsiones en la máquina durante su operación que producen desplazamientos del sistema conductor o conducido, etc. La desalineación puede producir niveles de vibración muy elevados en las máquinas, principalmente en las proximidades del acoplamiento, precipitando la degra-

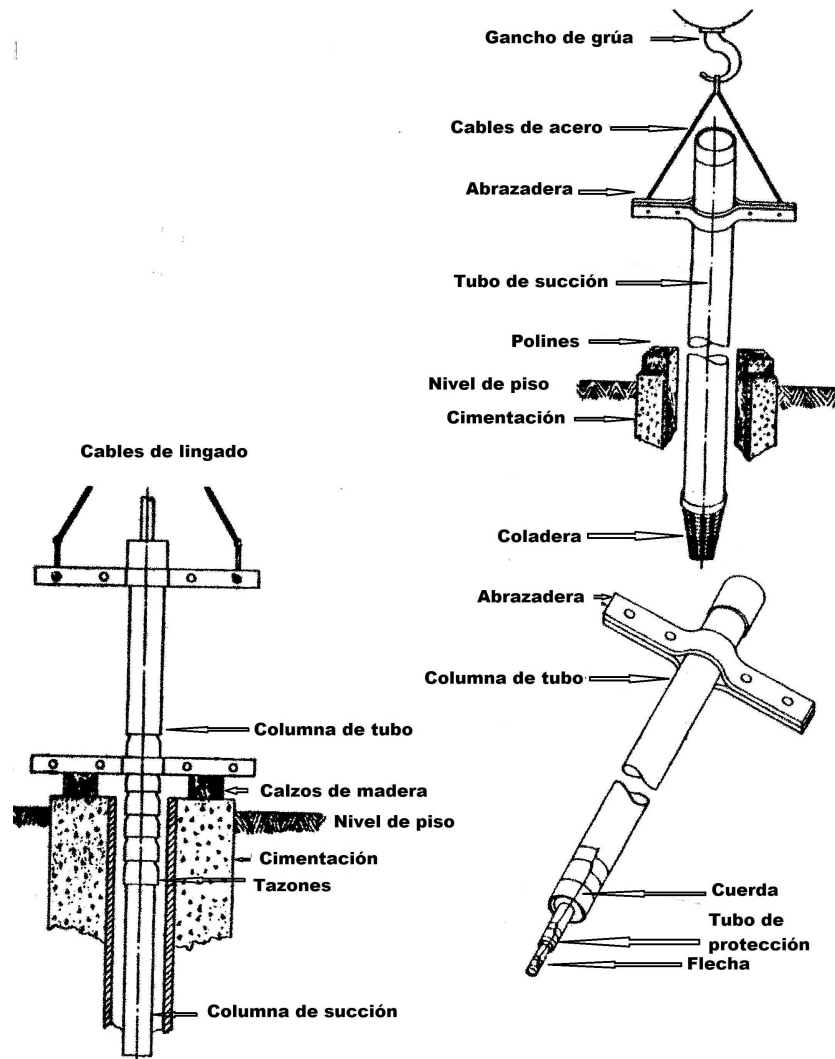


Figura 5.3: Montaje de bomba centrífuga vertical

dación de los rodamientos, acoplamientos, el sobrecalentamiento excesivo del sistema conductor por un aumento del consumo eléctrico, etc., siendo las razones por las cuales lo encargados de mantenimiento industrial aumentan sus esfuerzos por corregirlo antes de que produzca daños aún más drásticos que pueden llegar a producir detenciones de emergencia o fallos catastróficos. A continuación se tienen los beneficios de tener las máquinas bien alineadas:

- Mayor vida útil de la máquina.
- Menor consumo de energía.
- Baja frecuencia de mantenimiento.
- Reducción de vibraciones.
- Menor desgaste de las piezas.
- Menor tiempo de inactividad.
- Menor costo de mantenimiento.
- Reducción de temperaturas en rodamientos y acoplamientos.
- Reducción del riesgo de rotura de ejes.
- Asegura los pernos de la cimentación.

Antes de alinear un equipo mecánico es necesario comprender los diferentes tipos de desalineamiento que existen y sus características para ser más precisos en su corrección. Enseguida se presentan éstos:

Desalineamiento angular. Existe cuando las líneas centrales de dos ejes se cortan formando un ángulo. La presencia de fuerte vibración axial a 1x RPM caracteriza éste tipo de desalineamiento, que puede estar acompañado de armónicos de la velocidad de giro del eje con bajas amplitudes. Ver la figura 5.4 (a).

Desalineamiento paralelo o radial. Se presenta cuando las líneas centrales de ambos acoplamientos están separadas de manera paralela o sea un cople está más arriba que el otro; produciendo principalmente vibración radial con una frecuencia igual al doble de la velocidad de rotación del eje. Ver la figura 5.4 (b).

Desalineamiento combinado. Para éste caso es una combinación de los dos anteriores, o sea, sus líneas centrales de los dos coples se cortan formando un ángulo a la vez están separadas de manera paralela. Ver la figura 5.4 (c).

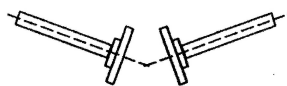


Fig.5.4 (a) Desalineamiento angular

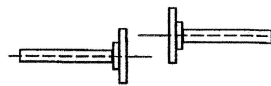


Fig.5.4 (b) Desalineamiento radial

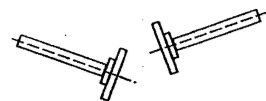


Fig.5.4 (c) Desalineamiento combinado

Figura 5.4: Tipos de desalineamiento de ejes

5.3.1. Procedimientos y técnicas de alineación

Los métodos convencionales para la alineación de ejes rotativos como la regla biselada, el calibre sonda o el indicador de carátula (ver la figura 5.5), requieren mucho tiempo y la calidad de los resultados de éstos métodos depende de la experiencia y habilidad del operador. Ahora con la tecnología puntera única, los aparatos de medición por láser garantizan mayor precisión y un manejo sencillo durante la alineación de ejes. En éste texto se abordará los dos métodos más utilizados en la industria como son: indicador de carátula y alineamiento por rayos láser.



Figura 5.5: Accesorios de un indicador de carátula

Antes de iniciar el alineamiento de los acoplamientos, es necesario entender ciertos factores que pueden provocar errores para corregir los desalineamientos, entre ellos tenemos:

- La temperatura del fluido a manejar.
- La temperatura de operación del elemento motriz.
- Rodamientos en mal estado o desalineados.
- Las tuberías de conexión como son acopladas a la máquina.
- Medios coples con mucho huelgo u ovalados.
- La temperatura del entorno.

Procedimiento para realizar un buen alineamiento.

- Limpiar muy bien los diámetros exteriores de los medios coples que estén libres de óxidos, rebabas (lijar si es preciso), socavados, grasa y checar si están totalmente circulares.
- Limpiar la base donde descansa tanto el elemento motriz como el conducido.
- En una bomba, se debe dejar libre tanto la succión como la descarga (aflojar los tornillos de sujeción).

Alineamiento con la técnica del indicador de carátula. Al iniciar éste alineamiento se debe tener a la mano las herramientas siguientes:

- Llaves para apretar o aflojar los tornillos de sujeción de las zapatas del elemento conducido y conductor, así también de los coples.
- Regla o escuadra de acero.
- Calibrador de hojas.
- Micrómetro de exteriores de 0- 1 pulgadas.
- Lainas de latón o acero inoxidable diversos espesores.
- Indicador de carátula de 0-1 pulgadas con sus accesorios.

Cuando se ensambla un equipo completo en la fábrica, la placa base se coloca sobre una superficie plana y lisa, se montan tanto el elemento conductor como conducido en un solo bastidor y se pre-alinean los coples; por lo general el elemento conducido se fija con pernos cónicos (guías) en la placa base y el elemento motriz se fija después de la instalación en el sitio.

Los tornillos de los acoplamientos se deben retirar antes de nivelar la unidad y de pre-alinearlos, posteriormente se debe colocar una regla recta de acero en la parte superior y a los costados de los coples (cada 90°), al mismo tiempo se deben comprobar con un calibrador de hojas el claro entre ellos para asegurarse de su paralelismo. Enseguida tomar lecturas con el dial de indicador cada cuarto de vuelta tanto del radial como axial. Para todas las comprobaciones de alineación, incluso el paralelismo de las caras de los acoplamientos, ambos ejes deben girarse y tomar las lecturas, ahora cuando las periferias de las mitades del acoplamiento sean círculos reales del diámetro igual y las caras estén planas y perpendiculares con el eje geométrico de los ejes, habrá alineación exacta o cuando la distancia entre las caras es la misma en todos los puntos. Si las caras no están paralelas, el calibrador de espesor o de hojas mostrará una variación en diferentes puntos, si un acoplamiento está más alto que otro la altura se puede determinar con la regla de acero o el calibrador de hojas. A veces las mitades del acoplamiento no son círculos reales o no son del diámetro idéntico, debido a las tolerancias de fabricación; en esos casos se tendrá que corregirlos. Ver la figura 5.6.

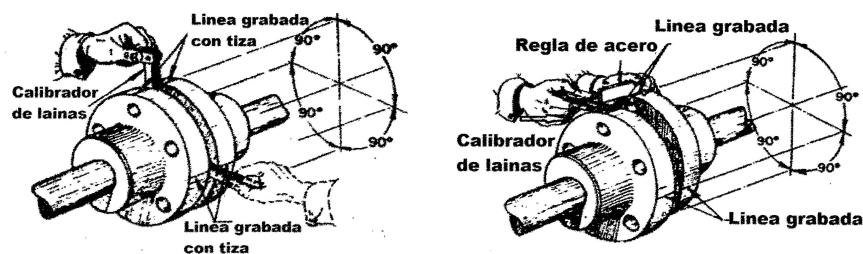


Figura 5.6: Pre-alineación de ejes rotativos

Para comprobar la alineación y paralelismo de cualquier mitad del acoplamiento, gírelo mientras mantiene estacionaria la otra mitad y compruebe la alineación en cada cuarto de vuelta y anótela. El dial del indicador sujeto

en la mitad del cople del elemento conducido, se puede utilizar para comprobar la alineación radial y axial. Con el botón apoyado sobre la periferia de la otra mitad del acoplamiento, se coloca una marca con tiza en el punto donde descansa el botón.

Enseguida para cualquier comprobación se deben girar ambos ejes la misma cantidad de vuelta, es decir, todas las lecturas del micrómetro se deben tomar con el botón colocado en la marca de tiza, las lecturas indicarán si es necesario subir o bajar o mover hacia un lado o el otro la máquina motriz. Después de cualquier movimiento es necesario comprobar que las caras del acoplamiento permanezcan paralelas entre sí. Por ejemplo si se coloca el dial en cero en el punto de partida y la lectura diametralmente opuesta en la parte inferior es de + 0.020 pulgadas hay que quitar suplementos para bajar la máquina motriz, la mitad de esa lectura; de igual forma se hará cuando la lectura sea lateralmente y así sucesivamente hasta que las lecturas sean cero, esto indicará que la máquina está perfectamente alineada. Sin embargo se debe tomar en cuenta el perfil térmico de ambas máquinas si están sujetas a una diferencia muy considerable de temperatura, para saber cual de ellas quedará más abajo, tomando en cuenta que cuando alcancen la temperatura de operación estarán alineadas. En la figura 5.7 se muestra la colocación del dial del indicador de carátula en el cople del elemento conducido para tomar las lecturas del alineamiento.

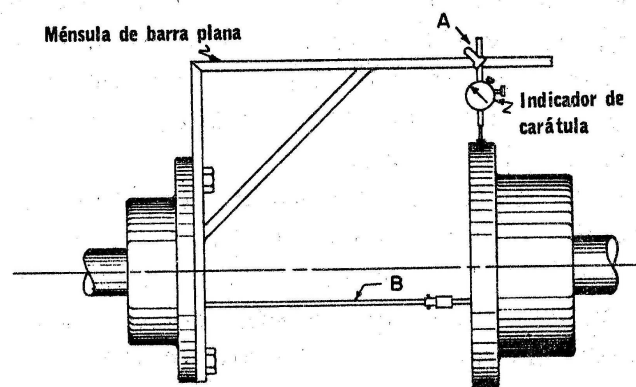


Figura 5.7: Colocación del dial del indicador de carátula

Alineamiento con la técnica de rayo Láser. La última solución para la alineación de ejes rotativos la representan los alineadores láser, que logran una gran precisión, velocidad y automatización, a pesar de lo cuál el operador debe tener la experiencia y la habilidad necesaria para su manejo. Estos alineadores cuentan con una pantalla digital que permite ver las lecturas de medición; cuenta con un emisor de rayo láser, un prisma que recibe el rayo y un detector digital, el operador obtiene la información correcta para la alineación de los ejes. El detector electrónico permite el ingreso de las medidas de los ejes y detecta la inclinación de los mismos, de tal manera que observa en la pantalla la diferencia paralela y angular de los ejes así como los valores de desplazamiento que deben aplicarse para conseguir

la alineación correcta. Ver la figura 5.8.



Figura 5.8: Alineación de ejes rotativos con láser

A continuación se tiene los pasos para la alineación con láser:

1.-Introducción de las dimensiones:

- Identificación de la máquina.
- Montaje del sistema de medición.
- Ajuste del rayo láser.
- Carga de dimensiones al aparato láser.

2.-Medir.

- Medir cada cuarto de giro del eje.
- Usar la medición para la alineación radial y axial.
- Alineamiento de la máquina (la pantalla de medición muestra toda la información).

3.-Alineación.

- Corrección de alineación radial y axial.
- La pantalla muestra dónde necesita calzos para alinear la máquina.
- Colocación de calzos para la alineación radial y axial.

4.-Resultados.

- La máquina está perfectamente alineada.
- Aceptación de los valores de vibración final.
- Respaldo de resultados de medición.

Esta técnica de alineación con láser, está sustituyendo por completo al indicador de carátula debido al avance de la tecnología y a las exigencias de ser más precisos en la operación de las máquinas que resulta un beneficio de menos paros imprevistos.

Bibliografía

- [1] Enrique Dounce Villanueva. La productividad en el mantenimiento industrial. México. 2004. Editorial CECSA. 6a Edición.
- [2] E. T. Newbrough, Administración del Mantenimiento Industrial, México. 1974. Editorial DIANA. 11a. Edición.
- [3] Enrique Dounce Villanueva, Administración de Mantenimiento, Editorial CECSA.
- [4] Robert C. Rosaler James O. Rice. Manual de mantenimiento industrial. México. 1997. Editorial Mc.Graw Hill.
- [5] L.C. Morrow. Manual de mantenimiento industrial. México. 1973. Editorial CECSA. 3a. Edición.
- [6] Julio Andrés Acuña Correa. <https://prezi.com/ltyind4qjdjp/criterios-para-la-selección-de-lubricantes/>. 13 de mayo-2013.
- [7] Nain Aguado Quintero. Implementación de un programa de lubricación en TPM. www.mantenimientoplanificado.com/articulos-archivos/. 2016.
- [8] Estibaliz Aranzabe, Adolfo Málaga. Grasas lubricantes pdf. <https://google.com.mx/ik4-tekniker>.
- [9] Singiresu S. Rao Addison- Wesley, Mechanical Vibrations Segunda Edición, 1990.
- [10] Cyril M Harris, Shock Vibration Handbook, 3a. Edición, 1987.
- [11] Lindley R. Higgins, Maintenance Engineering Handbook, 5a Edición, 1995.