

T-UES
1503
H557a
2000
Ej.3

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**



**"ANALISIS DE LOS LUBRICANTES, COMO HERRAMIENTAS
PARA EVALUAR EL ESTADO DE LA MAQUINARIA Y
PARA LA DETECCION DE FALLAS; EN APOYO A UN PROGRAMA
DE MANTENIMIENTO MECANICO EN
MAQUINARIA INDUSTRIAL"**



PRESENTADO POR:

HERNANDEZ GONZALEZ, RICARDO ANTONIO

RAMIREZ ZELAYA, WERNER ARMANDO *Le Recibido*

15100841

PARA OPTAR AL TITULO DE :

INGENIERO MECANICO



4731

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO DEL 2000

Recibido el 12 de enero 2000

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA

:

DRA. MARIA ISABEL RODRÍGUEZ

SECRETARIO GENERAL :

LICDA. LIDIA MARGARITA MUÑOZ VELA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO

:

ING. ALVARO ANTONIO AGUILAR ORANTES

SECRETARIO

:

ING. SAUL ALFONZO GRANADOS



ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

DIRECTOR

:

ING. JOSE FRANCISCO ZULETA MORATAYA



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA**

**Trabajo de graduación previo a la opción de:
INGENIERO MECÁNICO**

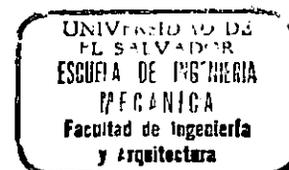
Título :

**"ANALISIS DE LOS LUBRICANTES, COMO HERRAMIENTAS
PARA EVALUAR EL ESTADO DE LA MAQUINARIA Y
PARA LA DETECCION DE FALLAS; EN APOYO A UN PROGRAMA
DE MANTENIMIENTO MECANICO EN
MAQUINARIA INDUSTRIAL"**

Presentado por :

**HERNANDEZ GONZALEZ, RICARDO ANTONIO
RAMREZ ZELAYA , WERNER ARMANDO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:



Coordinador :

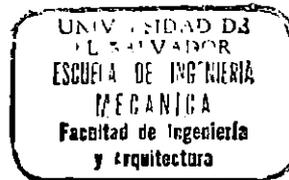
ING. FRANCISCO ALFREDO DELEON TORRES

Asesor :

ING. LUIS HUMBERTO GUIDOS SERRANO

San Salvador, Enero del 2000

Trabajo de graduación aprobado por:

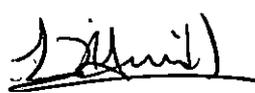


Coordinador

: 

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEON TORRES

Asesor

: 

ING. LUIS HUMBERTO GUIDOS SERRANO

AGRADECIMIENTOS:

- **A la UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR y en especial al personal de la ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA, por habernos formado profesionalmente.**
- **A los ingenieros FRANCISCO ALFREDO DE LEON TORRES y LUIS HUMBERTO GUIDOS SERRANO, por el apoyo, la guía y la experiencia que aportaron durante el desarrollo de este trabajo.**
- **AI ING. RIGOBERTO VELÁZQUEZ PAZ por la confianza y apoyo que nos brindo para la consecución de este trabajo.**
- **AI ING. ENRIQUE CAMPOS SUSTTER y HERIBERTO PEREZ ORELLANA, por haber compartidos sus conocimientos especializados que enriquecieron el contenido de este trabajo.**

DEDICATORIA:

A todos mis familiares y amigos que me dieron su apoyo, en todo momento para la culminación de mi carrera y el desarrollo de este trabajo.

RICARDO.

DEDICATORIA:

Es una tentación, hacer de una dedicatoria un discurso de agradecimiento, pero por lo estrecho que resulta una pagina, el agradecimiento resultaría tan escueto y simple que solo logra cubrir a las personas que me han influido más en forma moral, espiritual, sentimental, académica y por que no decirlo económicamente, durante el transcurso de mis años de estudio y en la consecución de este trabajo, en conclusión la dedicatoria que podría escribir resultaría con un tono tal de formalismo..... como reflejando meramente un requisito. Por eso hay que tener presente la anterior especificación al leer la siguiente dedicatoria:

A todos mis seres queridos.

WERNER.

I N D I C E

	pagina
INTRODUCCION	a
CAPITULO I	
1.0.- GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	1
1.1.- OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO	1
1.2.- ADMINISTRACION DEL MANTENIMIENTO	3
1.2.1.- Clasificación del mantenimiento	5
1.2.2.- Técnicas del mantenimiento	6
1.2.2.1.- La inspección	8
1.2.2.1.1.- Métodos de inspección	10
1.2.2.2.- La conservación	12
1.2.2.3.- La intervención	14
1.2.2.4.- El monitoreo	16
CAPITULO II.	
2.0.- FUNDAMENTOS DE TRIBOLOGIA	17
2.1.- LA FRICCION	17
2.2.- DESGASTE DE LOS METALES.....	19
2.2.1.- Mecanismos de desgaste	20
2.2.2.- Factores que influyen en el desgaste	21
2.2.3.- Mecanismos de protección contra el desgaste	22
2.3.- CORROSION DE LOS METALES	23
2.3.1.- Principios electro químicos de la corrosión	23
2.3.2.- Factores que influyen en la corrosión	25
2.3.3.- Tipos de corrosión	28
2.3.- INDICE DE FALLAS	32

CAPITULO III

3.0.- LOS LUBRICANTES	35
3.1.- GENERALIDADES	35
3.2.- LA LUBRICACION	35
3.3.- TIPOS DE LUBRICANTE	35
3.4.- ACEITES LUBRICANTES	37
3.4.1.- Propiedades de los aceites lubricantes	37
3.4.1.1.- La viscosidad	38
3.4.1.2.- Indice de viscosidad	40
3.4.1.3.- Adherencia	42
3.4.1.4.- Densidad	42
3.4.1.5.- Punto de fluidez y congelación	42
3.4.1.6.- Punto de inflamación	43
3.4.1.7.- Punto de combustión	43
3.4.1.8.- Volatilidad	43
3.4.1.9.- Color	43
3.4.1.10.- Acidez y alcalinidad	44
3.4.1.11.- Indice de acidez	44
3.4.1.12.- Porcentaje de cenizas	44
3.4.1.13.- Porcentaje de carbón	45
3.4.1.14.- Oxidación	45
3.5.- LAS GRASAS LUBRICANTES	46
3.5.1.- Clasificación de las grasas	46
3.6.- LUBRICANTES SINTETICOS	48
3.7.- LUBRICANTES DE PELICULA SOLIDA	49
3.8.- LOS ADITIVOS LUBRICANTES	52
3.8.1.- Aditivos para aceites lubricantes	52

3.8.1.1.- Aditivos detergentes dispersantes	53
3.8.1.2.- Mejoradores del índice de viscosidad	53
3.8.1.3.- Productos depresores del punto de fluidez	53
3.8.1.4.- Antioxidantes	53
3.8.1.5.- Aditivos anticorrosivos y preventivos contra la herrumbre	54
3.8.1.6.- Aditivos para presión extrema	54
3.9.- SISTEMAS DE LUBRICACIÓN	55
3.9.1.- Sistemas De Pérdida Completa	55
3.9.1.1.- lubricación manual	56
3.9.1.2.- Sistema manual de aceite a plena pérdida	56
3.9.1.3.- Sistema de lubricación por mecha	56
3.9.1.4.- Lubricación Gota - Gota	58
3.9.1.5.- Lubricador térmico	58
3.9.1.6.- Lubricación por botella	58
3.9.1.7.- Lubricador mecánico	59
3.9.1.8.- Lubricador mecánico gota - gota	59
3.9.1.9.- Lubricación por rodillo	60
3.9.1.10.- Lubricación de copa	60
3.9.1.11.- Lubricación por resorte de pistón	60
3.9.1.12.- Lubricación por SPRAY	61
3.9.1.13.- Pulverizador de aceite con resorte	61
3.9.1.14.- Sistema automático de lubricación por niebla de aceite	61
3.9.2.- Sistema de recipiente de aceite	63
3.9.2.1.- Lubricación por salpique	64
3.9.2.2.- Lubricación por baño	66
3.9.2.3.- Sistema de lubricación por collar	66
3.9.2.4.- Sistema de lubricación por cadena	66

3.9.3.- Sistema centralizado	67
------------------------------------	----

CAPITULO IV

4.0.- GENERALIDADES DEL ANALISIS DE ACEITE	71
4.1.- OBJETIVOS DEL ANALISIS DE ACEITE	72
4.2.- PRUEBAS DEL MONITOREO TRIBOLOGICO	74
4.3.- ANALISIS SENSORIAL DEL ACEITE	78
4.3.1.- Prueba para determinar el color del lubricante. METODO ASTM D-1500	78
4.4.- ANÁLISIS FISICO DEL ACEITE	78
4.4.1.- Determinación de la Gravedad Especifica y API. METODO ASTM D-287	79
4.4.2.- Determinación de la Viscosidad. METODO ASTM D-88 y ASTM D-445	81
4.4.3.- Determinación del índice de Viscosidad (IV). METODO ASTM D-2270	83
4.4.4.- Determinación del Punto de Inflamación o De Chispa y API. METODO ASTM D-92 y ASTM D - 93	84
4.4.5.- Determinación del punto de Fluidéz. METODO ASTM D-97	87
4.4.6.- Determinación de Residuos de Carbón CO RADSON . METODO ASTM D-189 Y RAMSBOTTO, ASTM D - 524	89
4.4.7.- Determinación de la Dilución por combustible. METODO ASTM D- 322	89
4.4.8.- Determinación de la Demusibilidad. METODO ASTM D-1401 y ASTM D -2771	93
4.4.9.- Prueba de Resistencia a la formación de espuma. METODO ASTM D- 892	94
4.4.10.- Determinación de la Herrumbre. METODO ASTM D-287	96
4.4.11.- Determinación del contenido de cenizas. METODO ASTM D-482 y ASTM D-874	96
4.4.12.- Determinación del contenido de Azufre. METODO ASTM D-1266, d-1662	98
4.4.13.- Prueba cualitativa de la mancha de aceite detergente.	98
4.5.- ANALISIS QUIMICO DEL ACEITE	100
4.5.1.- Numero de Neutralización (NN) o TAN. METODO ASTM D-664 y ASTM D-974	100
4.5.2.- Numero Básico Total (TBN) METODO ASTM D-664 y ASTM D-2896	104

4.6.- PRUEBAS QUIMICO ANALITICAS PARA EL MONITOREO TRIBOLOGICO Y PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL ACEITE	105
4.6.1.- Análisis Espectroscópico	106
4.6.1.1.- Fundamentos de Espectroscópia por Absorción Atómica	107
4.6.1.2.- Fundamentos de Espectroscópia por Emisión Atómica	109
4.6.2.- Fundamentos de Espectroscópia por fluorescencia de Rayos X	114
4.6.3.- Métodos Espectroscópicos para análisis de aceite.....	116
4.6.4.- Aplicación de la absorción Atómica en el análisis de lubricantes	118
4.6.5.- Aplicación de la emisión Atómica en el análisis de lubricantes.....	119
4.6.6.- Aplicación de la fluorescencia de Rayos X en el análisis de lubricantes.....	120
4.6.7.- Espectrografía por Absorción Atómica en aceites industriales	122
4.6.7.1.- Ventajas de la Espectrografía por Absorción Atómica	122
4.6.7.2.- Análisis de los aditivos de Aceite	123
4.7.- PRUEBAS ESPECIALES EMPLEADAS EN EL MONITOREO TRIBOLOGICO	123
4.7.1.- Análisis Infrarrojo Diferencia (DIR)	123
4.7.2.- Análisis por Ferrografía	124
4.7.2.1.- Componentes del equipo de Ferrografía	125
4.7.2.2.- Método de evaluación	127
4.7.2.3.- Espectrometría vrs Ferrografía	128
4.7.3.- Conteo de Partículas	129
4.7.4.- Medición del tamaño de las Partículas	129

CAPITULO V

5.0.- EL ANALISIS DE ACEITE COMO APOYO AL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	131
5.0.1.- Errores conceptuales en le programa de lubricación	131
5.0.2.- Programa de mantenimiento una responsabilidad integral	132
5.0.3.- Personal optimo para las tareas de lubricación	133

5.0.4.- La calidad de la lubricación	133
5.0.4.1. – Identificación y definición de los requisitos de clientes internos	134
5.0.4.2.- La utilidad de los métodos estadísticos para garantizar la calidad en el trabajo de mantenimiento	134
5.0.4.3.- Garantizar la calidad de un sistema de lubricación, con la prevención	135
5.0.4.4.- El proceso de calidad total de la lubricación	136
5.0.4.5.- Que exista un plan de acción para mejoramiento continuo de la lubricación en la planta	138
5.1.- APLICACIONES DEL ANALISIS DE ACEITE EN EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	138
5.2.- EL ANALISIS DE ACEITE COMO TECNICA DE MONITOREO	141
5.2.1.- Característica del Programa de Monitoreo Tribologico	141
5.2.1.1.- El PMT como una opción para Producción Más Limpia	143
5.3.- OBJETIVOS Y METAS PARA EL PROGRAMA DE MONITOREO TRIBOLOGICO EN UNA PLANTA	147
5.3.1.- Mejorar la imagen de la empresa	147
5.3.2.- Cumplir con reglamentos de descargas al ambiente	148
5.3.3.- Incrementar la disponibilidad de los equipos	148
5.3.4.- Reducir los costos de mantenimiento y energía	149
5.3.5.- Cumplir con un sistema de calidad total, lubricando con calidad	150
5.3.6.- Aumentar la seguridad del personal	151
5.3.7.- Establecimiento de metas	151
5.4.- ETAPAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL MONITOREO	152
5.4.1.- Etapa de Revisión Inicial	153
5.4.1.1.- Declaración de los alcances acordados para el programa, decididos por la alta dirección de la empresa	154
5.4.1.2.- Inventario de lubricantes	154
5.4.1.3.- Inventario de métodos de lubricación	154

5.4.1.4.- Volúmenes y costos de lubricante	155
5.4.1.5.- Factibilidad	155
5.4.1.6.- Antecedentes de fallos anteriores	156
5.4.2.- Etapa de diagnostico	156
5.4.2.1.- Validación inicial de los lubricantes en uso	157
5.4.2.2.- Condición de la lubricación en general	157
5.4.2.3.- Clasificación de los equipos.....	165
5.4.2.4.- Calidad del personal encargado de la lubricación	165
5.4.3.- Establecimiento del PMT	167
5.4.3.1.- Planificación	167
5.4.3.2.- Establecimiento de medidas administrativas y técnicas	168
5.4.3.2.1.- Asignación de Responsabilidades	168
5.4.3.2.2.- Estructura administrativa requerida	169
5.4.3.2.3.- Programas de capacitación	171
5.4.3.2.4.- Canales	173
5.4.3.3.- Operación, revisión y evaluación	175
5.4.3.4.- Mejoramiento Continuo	180
5.5.- METODOS	181
5.5.1.- Método para validación de lubricante	182
5.5.2.- Método para el inventario lubricantes y métodos de lubricación	186
5.5.3.- Métodos de la etapa de diagnostico	188
5.5.3.1.- Métodos para el diagnostico de la condición del personal	188
5.5.3.2.- Métodos para el diagnostico de la condición de la lubricación en general	189
5.5.4.- Métodos para la obtención de muestras	192
5.5.5.- Métodos de interpretación de resultados	194
5.5.6.- Métodos básico para el diseño del laboratorio interno	198
5.5.7.- Métodos para la evaluación de nuevos aceites o en servicio	200

5.6.- GUIA PRACTICA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UN PMT.....	205
5.6.1.-Pasos de guía práctica	205
5.6.2.-Perfil del personal básico para el establecimiento del PMT.....	208
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	b
BIBLIOGRAFIA	d
ANEXOS	

INTRODUCCION

Hoy en día en la industria salvadoreña, el ingeniero encargado del mantenimiento industrial enfrenta un gran reto, el cual es, el de incrementar la confiabilidad de sus equipos al mas alto nivel; con los menores costos de operación. En la actualidad todas las empresas buscan la reducción de sus costos de operación para volverse mas competitivas, y sabiendo que dentro de los costos de operación, el mantenimiento de sus equipos consume un alto porcentaje de los costos totales (en algunos casos el 50 %); se tiene que buscar evidentemente ahorros en esta área.

No cabe duda que la lubricación en el mantenimiento industrial, juega un papel determinante en la confiabilidad de la operación de los equipos, aun así, muchas empresas le prestan poca atención; conllevando a que se tengan elevados costos por mantenimiento; que por el contrario si se le prestara la atención que se merece, se obtendrían ahorros considerables y lo mejor aun, la confiabilidad y disponibilidad de los equipos se volvería mayor.

En respuesta a lo anteriormente expuesto, en este informe se presenta una alternativa, para poder incrementar la confiabilidad de la operación de los equipos en la industria, a través de la implementación de un programa de análisis de aceite en operación, con el cual, al mismo tiempo de obtener ahorros significativos de costos de operación, se disminuirá el impacto ambiental; que producen las empresas que hacen uso de los aceites lubricantes.

En el informe se presentan las bases para poder implementar un programa de análisis de aceite, desde la conceptualización teórica que se aborda en los primeros cuatro capítulos, es decir generalidades del mantenimiento industrial, de la tribología, de los lubricantes y del análisis de aceite respectivamente; en el capítulo cinco se expone un modelo para el establecimiento y operación de un programa de monitoreo basado en el análisis de aceite, para poder así diagnosticar la condición de la maquinaria y el estado del lubricante. Cabe mencionar que se hace mucho énfasis, en la calidad del personal con que se cuente, ya que el mecánico capacitado en el área de la lubricación, puede representar a cualquier empresa el ahorro de cuantiosas sumas de dinero por menor consumo de repuestos, lubricantes y paros de la maquinaria.

1.0.- GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Con el crecimiento de la industria y la introducción a gran escala de la maquinaria en la actividad humana, surge la necesidad de reparar, como un aspecto básico de la labor realizada por dichas máquinas. A medida que se da el progreso de la automatización, el mantenimiento adquiere mayor importancia, ya que una avería basta para que se detenga el flujo normal de las piezas ó materiales en proceso.

El proceso industrial tiene por meta la inversión mínima, en el empleo de capital para instalaciones, maquinaria, equipo, herramientas y mano de obra, incorporando además la calidad y nivel de producción requeridas, se puede aspirar de esa manera, a conseguir los mayores beneficios deseados. Es así, como la más alta productividad se consigue con el empleo racional, eficaz y económico del personal de una planta industrial, tanto de producción como de mantenimiento.

Entre los factores que intervienen en el logro de este objetivo general está el de "mantener la maquinaria e instalaciones en perfectas condiciones de funcionamiento"; el término "Mantenimiento Industrial" se emplea para designar las técnicas que aseguren la correcta utilización de edificios e instalaciones, recursos humanos y materiales en el continuo funcionamiento de la maquinaria.

Por razones de costo y productividad, lo conveniente es mantener en constante funcionamiento los recursos físicos, actuando en forma preventiva por medio de un mantenimiento sistemático planificado, antes de que se den averías.

El mantenimiento sistemático tiende a lograr la máxima capacidad de funcionamiento y disposición del servicio en las instalaciones y maquinaria, con el objetivo de cumplir el programa de producción; pero limitado a un campo de acción específico, según los procesos, varía en cada industria, así como el tamaño y actividad de ésta.

1.1.- OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

En términos generales, los objetivos del mantenimiento industrial se dividen en :

a) Objetivos Primarios

Son aquellos que comprenden los objetivos propiamente dichos del mantenimiento. Entre estos se pueden mencionar :

- Conservación de las instalaciones y maquinaria para incrementar la capacidad de producción.
- Realizar modificaciones necesarias de la maquinaria e instalaciones, sugeridas por la experiencia de trabajo.
- Racionalización de los insumos, tales como energía, agua, etc..
- Disminución de los costos de mano de obra y materiales.
- Inspección del estado de los equipos.

b) Objetivos Secundarios.

Son los que se establecen en base a los antecedentes, experiencia, conocimientos técnicos y otros factores, ó bien cuando no hay otra división de la planta a la que pueden asignarse estas responsabilidades. Se pueden citar:

- Prevenir incendios para dar seguridad al personal y recursos físicos.
- Elaborar programas para proporcionar seguridad a los almacenes y resto del patrimonio de la empresa.
- Elaborar programas para evacuación y control de desperdicios y desechos industriales.
- Elaborar programas para cualquier otra misión delegada al servicio de mantenimiento (como por ejemplo la selección de nuevos y mejores equipos así como realizar labores de índole ambiental).

Cualquiera que sea el campo de acción del mantenimiento, es importante precisar responsabilidades y límites de autoridad, así como también, se defina la trascendencia que representa, el hecho que el personal esté capacitado y concientizado, sobre su papel en los trabajos de mantenimiento, por tal razón al personal que se dedica a esta actividad se le deben de dar los medios para que este disponga de un crecimiento profesional que redunde en el mejoramiento del cumplimiento de sus funciones.

1.2.- ADMINISTRACION DEL MANTENIMIENTO.

El mantenimiento industrial como en toda actividad de ingeniería, en una planta, que conlleve la participación de una diversidad de recursos y actividades, se debe planificar sistemáticamente para realizarla en forma eficiente y además debe ser efectuado con calidad tal, que asegure, que una vez realizado, se haya reducido al mínimo la posibilidad de sufrir averías. La forma en que se planifica el mantenimiento en una planta, dependerá de su tamaño, tipo de maquinarias y la forma de producción (continua, por temporada, por intervalos etc.). El mantenimiento puede estar a cargo de un departamento o sección, o bien no estar definido claramente, este ultimo caso es propio de plantas pequeñas y no bien organizadas.

En forma general la administración del mantenimiento se sistematiza considerando aspectos como los que se menciona a continuación.

Aspectos de la maquinaria: Si se parte de que toda nueva máquina ó instalación está diseñada con las características propias del trabajo a desarrollar, la acción del mantenimiento incluirá todas las actividades necesarias que aseguren en lo posible la continuidad en las actividades de la empresa.

Esta característica de origen, supuesta perfecta ó ideal, se modifica con el trabajo debido a desgastes, mal uso y suciedad, por lo que el departamento de mantenimiento se encargará de recuperar, reparar y restaurar los equipos que hayan perdido alguna de sus características.

Aspecto de Prioridad: este aspecto a considerar por el mantenimiento se refiere a la prioridad que representa la evaluación de la máxima rentabilidad que una máquina ó equipo tendría que dar, trabajando ininterrumpidamente las horas asignadas todos los días laborables. Y como la actividad de una empresa, es el resultado de un conjunto de aportaciones que tienen su procedencia en los equipos, mano de obra, etc.; se observa que la pérdida de producción provocada por una avería, producirá repercusiones económicas graves.

Aspecto Humano: para la ejecución eficaz del mantenimiento los encargados deben disponer de los recursos humanos y materiales necesarios, y de la información que los fabricantes de maquinaria y la experiencia aportan para disminución de los daños y sus consecuencias.

En síntesis, las condiciones primordiales que se le exigen a la administración del mantenimiento son : evitar averías y que los trabajos de mantenimiento no absorban el tiempo de producción de las máquinas e instalaciones ó en todo caso, en la mínima proporción posible.

La planificación del mantenimiento se basa en la elaboración y asignación de tareas o labores de mantenimiento que conlleven a evitar y/o suprimir cualquier daño en los recursos físicos de la maquinaria, para lograr mantener la capacidad y rendimiento, obteniendo así, un alto valor de recuperación. Entendiéndose que "los daños" se definen como las modificaciones desventajosas en los recursos físicos producidos por deformación, corrosión, aflojamiento, desgaste, rotura, intervención de agentes fortuitos (como desastres naturales), etc.

Los daños más frecuentes son los que se producen por defectos de fabricación, fallas de operación, deterioro normal, envejecimiento, falta ó ausencia total de mantenimiento, teniendo como consecuencia la interrupción de la producción, el empeoramiento en la calidad de los productos, la depreciación acelerada de los recursos físicos, el riesgo de accidente y daños, el aumento de costos en mantenimiento.

En cuanto al aspecto humano, una de las primeras funciones que debe proponerse el encargado de mantenimiento, es la utilización y operatividad de las instalaciones en forma adecuada, tomando las medidas necesarias para evitar las fallas. Las principales tareas de mantenimiento son:

- a) Eliminación de los defectos de fabricación.
- b) Acciones correctivas debidas a fallas de operación.
- c) Prevención del deterioro normal.
- d) Reducción del proceso normal de envejecimiento.

El personal de mantenimiento debe saber como se operan las máquinas e instalaciones, por esta razón se hace necesario dar la información y la formación adecuada en la misma empresa. Este personal debe estar también en condiciones de poder solucionar, por sí mismos, algunas averías leves, que al no ser atendidas a tiempo, lleguen a producir daños mayores.

1.2.1.- Clasificación del Mantenimiento.

En la actualidad las tareas del mantenimiento han sufrido grandes cambios, con la aparición de la computación no solamente la administración del mantenimiento a mejorado, sino también han surgidos nuevas y más complejas formas de mantenimiento, basados en la incorporación de nuevos recursos tecnológicos, que han hecho replantear la lógica tradicional del mantenimiento.

La lógica del mantenimiento mayormente aceptada en la ingeniería, consiste en asegurar que la continuidad de la operaciones, se consigue corrigiendo antes de que los desgastes puedan producir averías, realizando las reparaciones en forma planeada y en horas determinadas, este es el llamado "**Mantenimiento Preventivo**" pero, a pesar de aplicarse éste, no se podrán evitar averías imprevistas, producidas por deficiencias no aparentes y por tanto, no detectadas en inspecciones preventivas ó bien por posibles errores ó negligencias del personal, poca preparación, etc.. Si esto ocurre, el personal de mantenimiento ha de intervenir en una reparación de emergencia, recibiendo ésta actividad el nombre de "**Mantenimiento Correctivo ó de Rotura**", el cual no puede ser planificado.

Ahora bien, ya sea que se trate de una acción de mantenimiento preventiva y/o de rotura, la reparación puede efectuarse conservando en la máquina ó equipo las características originales ó a la vista de las anomalías encontradas se puede efectuar determinadas modificaciones que tengan por finalidad, aumentar la eficiencia de la reparación, obteniendo una vida más prolongada del equipo. Asimismo, la modificación puede referirse a la seguridad, higiene ó automatización de la máquina ó instalación para el logro de una mayor rentabilidad; esto constituye un tercer tipo llamado "**Mantenimiento de Mejoras**"; como ejemplo se pueden mencionar la sustitución de cojinetes de fricción por rodamientos, mejorando las condiciones de engrase óptimas.

Es de pensar que, dentro del mantenimiento, pueden darse modos opuestos de realizar las labores, que pueden ir desde reparar tan pronto se inicie un desgaste; antes de llegar a un riesgo de parada ó baja calidad (mantenimiento extremadamente preventivo); hasta el extremo opuesto, esperar a que el desgaste ó anomalía traiga consigo la paralización total del equipo y repercuta en la calidad del producto fabricado (mantenimiento meramente correctivo). Además es de mencionar que los intervalos entre revisiones (mantenimiento preventivo) se suelen establecer estadísticamente como el periodo desde que la maquinaria son nuevas, o han sido revisadas escrupulosamente hasta que el fabricante supone que fallen no más del 2% del total, realizando

revisiones congruentes con estos intervalos se admite que, puesto que el 98% de las maquinas los supera, las averías deben ser un hecho raro.

La experiencia ha probado que, los extremos de cada caso, son antieconómicos. Además el régimen de averías de muchas máquinas no se mejora sustituyendo de forma regular las piezas desgastadas. Al contrario, con frecuencia se reduce la fiabilidad de las máquinas recién revisadas, debido a la interferencia humana, como no se puede prever el régimen real de averías de cada máquina, el mantenimiento preventivo no se puede aplicar con total eficacia. Es decir, se necesita un método particular que solucione el problema de conocer si los ajustes y reparaciones son requeridos o no por la maquina, o bien si la maquina fallara antes de lo programado, las técnicas del "**Mantenimiento predictivo o Según Estado**" permiten solucionar el problema empleando la Vigilancia como una técnica innovadora, que hace posible la detección e identificación de problemas y anomalías en el funcionamiento de los equipos que sean indicativos de una próxima falla.

La nueva concepción del mantenimiento conjuga los cuatro tipos de mantenimientos mencionados, complementándose uno con el otro y sistematizados a través de un programa de mantenimiento industrial.

1.2.2.- Técnicas de mantenimiento.

La realización de las labores de mantenimiento requieren de diferentes técnicas o instrumentos, que cada tipo de mantenimiento aplicará convenientemente, las cuatro técnicas básicas se observan en la figura 1.1.



Figura 1.1 Técnicas del Mantenimiento

Para la explicación de estos cuatro instrumentos es necesario recurrir a los conceptos de Estado Real y Estado Teórico.

Por Estado Real se entiende, como el estado en que verdaderamente se encuentran, en un momento determinado, las instalaciones, los edificios, los equipos de producción y demás instrumentos técnicos de trabajo. Por Estado Teórico se entiende, el estado en que según se ha establecido y exigido, tienen que encontrarse en un caso determinado los instrumentos de trabajo. Tal como se observa en la figura 1.2.

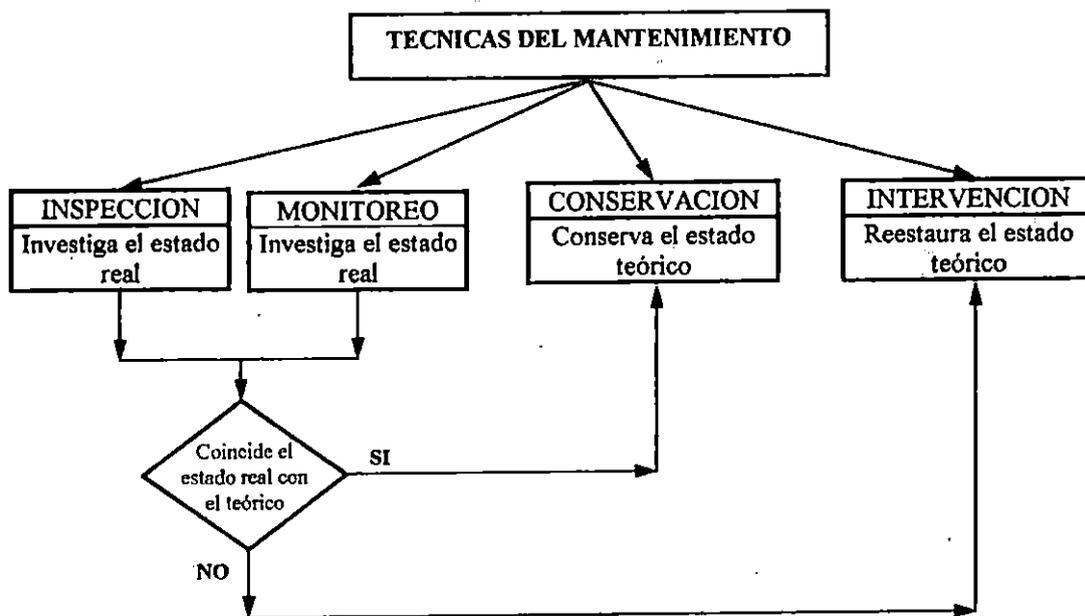


Figura 1.2 Relación entre las técnicas del mantenimiento y los estados de las maquinaria.

Dentro del área del mantenimiento, la inspección permite investigar y evaluar el "Estado Real". En la misma figura puede observarse que con los trabajos de conservación se pretende conservar el "Estado Teórico" y por último con la función de los trabajos de reparación se logra restaurar el "Estado Teórico".

Entre estas tres técnicas del mantenimiento la Inspección, tiene una importancia particular, ya que si en ésta se constata que el Estado Real corresponde al Estado Teórico debe mantenerse ese estado por medio de trabajos de conservación, caso contrario si la Inspección determina que el Estado Real diverge del Estado Teórico, el paso siguiente consistirá en efectuar trabajos de reparación que permitan restaurar el Estado Teórico, ver figura 1.3.

El conjunto total de las actividades de mantenimiento, conllevan a cualquiera de las técnicas en estudio antes mencionadas de acuerdo a la aplicación, de medidas de tipo preventivas que permitan impedir las averías ó medidas de reparación que logren restaurar las averías.

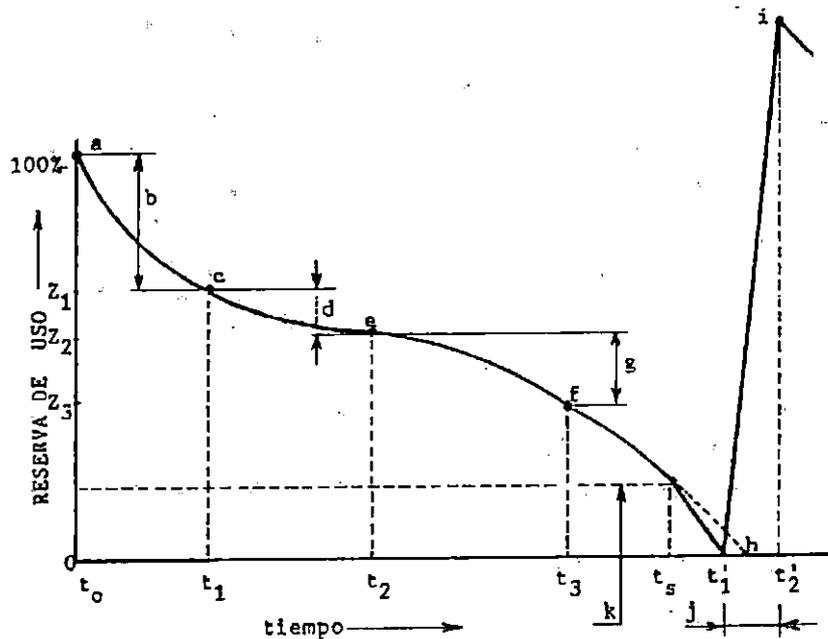


Figura 1.3 Curva característica determinada por la actividad de inspección para una sola pieza .

Nomenclatura de la figura 1.3:

Z1, Z2 y Z3 : son los estados efectivos determinados por la inspección.

- a : Estado teórico Z0 (primera puesta en servicio)
- b : Diferencia del estado efectivo Z0 – Z1
- c : Estado efectivo Z1
- d : Diferencia del estado efectivo Z1 – Z2
- e : Estado efectivo Z2
- f : Estado efectivo Z3
- g : Diferencia del estado efectivo Z2 – Z3
- h : Avería
- i : Estado teórico (después del reacondicionamiento)
- j : Duración del reacondicionamiento
- k : Límite de daño

1.2.2.1.- La Inspección

Forman parte de la inspección todas las medidas que permitan determinar y cuantificar el estado efectivo de los medios técnicos de un sistema; por lo que la inspección consiste en examinar si los equipos ó instrumentos están en buen estado y funcionan correctamente. De lo anterior, se

deduce que el primer paso de la inspección es la formación para el departamento de mantenimiento, de un juicio acerca de un sistema técnico, comparando su estado efectivo ó real con su estado teórico.

La inspección es una de las medidas preventivas propias del mantenimiento. Su carácter preventivo se manifiesta en el hecho de que las inspecciones se realizan a intervalos prefijados; pudiéndose determinar con diversas unidades de medida el tiempo entre dos inspecciones.

Por ejemplo, se puede repetir una inspección después de dos semanas ó después de una determinada cantidad de días (en ambos casos se trata de unidades de tiempo). Pero también se puede fijar el intervalo con una determinada cantidad de unidades de productos fabricados ó tiempos de operación de los equipos.

Según sea el tipo y alcance de la divergencia entre el estado teórico y el real, el encargado de mantenimiento tendrá que tomar las medidas adecuadas de reparación para restaurar el estado teórico.

Cuando el estado real coincida con el estado teórico, hay que llevar a cabo trabajos de conservación para mantenerlo. Si por el contrario, la capacidad de funcionamiento no fuera óptima, habrá que restablecerlas con otros trabajos de reparación.

En la inspección se efectúan también controles en materia de seguridad. Todas las instalaciones de la empresa tienen que cumplir las normas vigentes de seguridad. Ni el personal ni los bienes materiales tienen que correr peligro.

El registro de datos característicos es el primer paso en las inspecciones de cualquier clase. La inspección no se podrá realizar hasta haberse fijado todas las características individuales de una instalación como objeto de la inspección.

Para el técnico encargado de la conservación, es imprescindible que conozca y disponga de un amplio catálogo de datos del cual podrá extraer los factores ó magnitudes relevantes para la inspección de determinada instalación a fin de anotarlos como base para la inspección a realizar.

Todos los datos registrados se refieren, tanto a las instalaciones propiamente dichas, como también a la estrategia de la conservación y a la finalidad de la inspección.

Según los valores prácticos, se distinguen seis grupos de datos:

- a) Datos funcionales: describen la respuesta de determinados elementos de la instalación (por ejemplo rendimiento).
- b) Datos técnicos: caracterizan la respuesta de determinados elementos de la instalación (por ejemplo sistema hidráulico).
- c) Datos físicos: Pueden medirse e interpretarse, sobre todo, como indicios de un cambio de estado (por ejemplo temperatura, presión del aceite).
- d) Datos de puntos débiles: Caracterizan la respuesta de una instalación en cuanto a puntos débiles (por ejemplo tiempos de parada, fallos con su tipo y origen, etc.). Los datos referentes a los puntos débiles deben registrarse más bien con vistas a un mantenimiento preventivo y no para posibles subsanamientos de los daños.
- e) Datos de mantenimiento: Son de suma importancia para la planificación de las medidas del mantenimiento, como también para modificar la planificación al variar las circunstancias ó necesidades, para así determinar el tipo de mantenimiento y su efectividad (por ejemplo consumo de piezas de repuestos, despliegue de medios para las medidas de conservación, etc.).
- f) Datos de costos: Los datos referentes a costos son de importancia preferentemente para la rentabilidad de las medidas de mantenimiento. Como valores empíricos, permiten calcular los gastos, sopesar la importancia de ciertas medidas y evaluar los resultados de las medidas del mantenimiento.

Otros datos de suma importancia en el mantenimiento del sector industrial son : los de personal, de piezas de repuestos, de encargos, de pedido, etc..

1.2.2.1.1.- Métodos de inspección.

La inspección consiste, principalmente, en las operaciones de medir y verificar, de acuerdo a algunos sistemas de normalización, resulta que medir es "la operación experimental a través de la cual se determina el valor especial de una magnitud física como múltiplo de una unidad ó de un valor de referencia".

Para esta operación es condición previa que se tenga suficiente conocimiento del significado de los términos ó conceptos siguientes:

- a) Principio de la medición
- b) Procedimiento de medición
- c) Equipo de medición
- d) Magnitud de medición
- e) Valor de medición
- f) Resultado de la medición

Conforme a la misma norma, la verificación se refiere a si el objeto cumple una ó varias condiciones acordadas, prescritas ó esperadas, en especial si mantiene los límites de error ó tolerancia preestablecidas. Por lo tanto, la verificación incluye siempre una decisión.

La verificación puede hacerse en forma subjetiva, por percepción sensorial sin medios auxiliares ó bien en forma objetiva con ayuda de aparatos de medida ó de ensayo, que pueden tener, también, un funcionamiento automático.

Las medidas encaminadas a determinar y evaluar el "estado efectivo" resultan ineficaces sin planificación. Un plan de este tipo, que elaboraría el Ingeniero de Mantenimiento como responsable directo, posee un carácter individual, referido a las instalaciones de la planta ó a una sección ó taller específico. Este plan debe comprender datos acerca de: lugar, fecha, método, aparatos y medidas.

Las bases de esta planificación pueden ser por ejemplo:

- a) Recomendaciones del fabricante
- b) Normas legales
- c) Conocimientos técnicos
- d) Inventario de la empresa
- e) Estudios de costos

Reconocer un estado de conservación significa fijar ó comparar magnitudes.

El estado efectivo se averigua coordinando determinados datos de una instalación dentro de un sistema de medición válido, cuantitativamente, con parámetros específicos de la instalación; expresado más sencillamente, quiere decir, que se miden determinadas características de la instalación.

En la mayoría de los casos será suficiente emitir entonces el juicio cualitativo "bien – mal " ó bien, " en condiciones de funcionamiento – no en condiciones de funcionamiento".

Una valorización aproximada no tendría sentido sin una escala de comparación, puesto que la documentación no permite repetir la operación.

En la planificación de la inspección se toman como base, cinco factores, que deben especificarse para la realización de la inspección:

- a) Lugar de la Inspección
- b) Fecha de la realización de la Inspección
- c) Métodos empleados
- d) Equipos inspeccionados
- e) Medidas resultantes de la Inspección

1.2.2.2.- La Conservación.

La conservación abarca todas las actividades que contribuyen a mantener el estado teórico de los recursos físicos.

Los objetivos de los trabajos de conservación son:

- a) Mantener la capacidad de funcionamiento de las instalaciones, evitando que sufran daños.
- b) Disminuir la frecuencia de los daños, eliminando el desgaste.

Las medidas de conservación tienen un carácter preventivo. Al igual que los trabajos de inspección deben realizarse a intervalos regulares, que pueden ser también calculados de acuerdo al tiempo calendario, a la cantidad de horas de funcionamiento, ó la cantidad de piezas ó unidades elaboradas, etc..

Además de los encargados del mantenimiento y del personal del área de producción, también los operadores de los distintos equipos y aparatos participan en los trabajos de conservación. Al cuidar los recursos físicos se están ejecutando medidas decisivas de conservación. Unas medidas de conservación son, por ejemplo, lubricar y limpiar los equipos de producción.

Conforme a la recomendación de las normas internacionales, los trabajos de conservación se dividen en los que se realizan en servicio y los que se llevan a cabo con la máquina parada.

Además, se distingue entre conservación continua y discontinua. Las medidas de conservación se realizan con determinados intervalos de tiempo ó en dependencia del estado en que se encuentra el elemento en cuestión. La división descrita rige sobre todo para limpieza y engrase y en menor medida, para proteger, completar, cambiar y reajustar, se distingue entre trabajos de conservación ejecutados a mano y a máquina, sobre todo en la limpieza y el desgaste, en la figura 1.4, se muestra un esquema de la relación de las tareas de conservación.

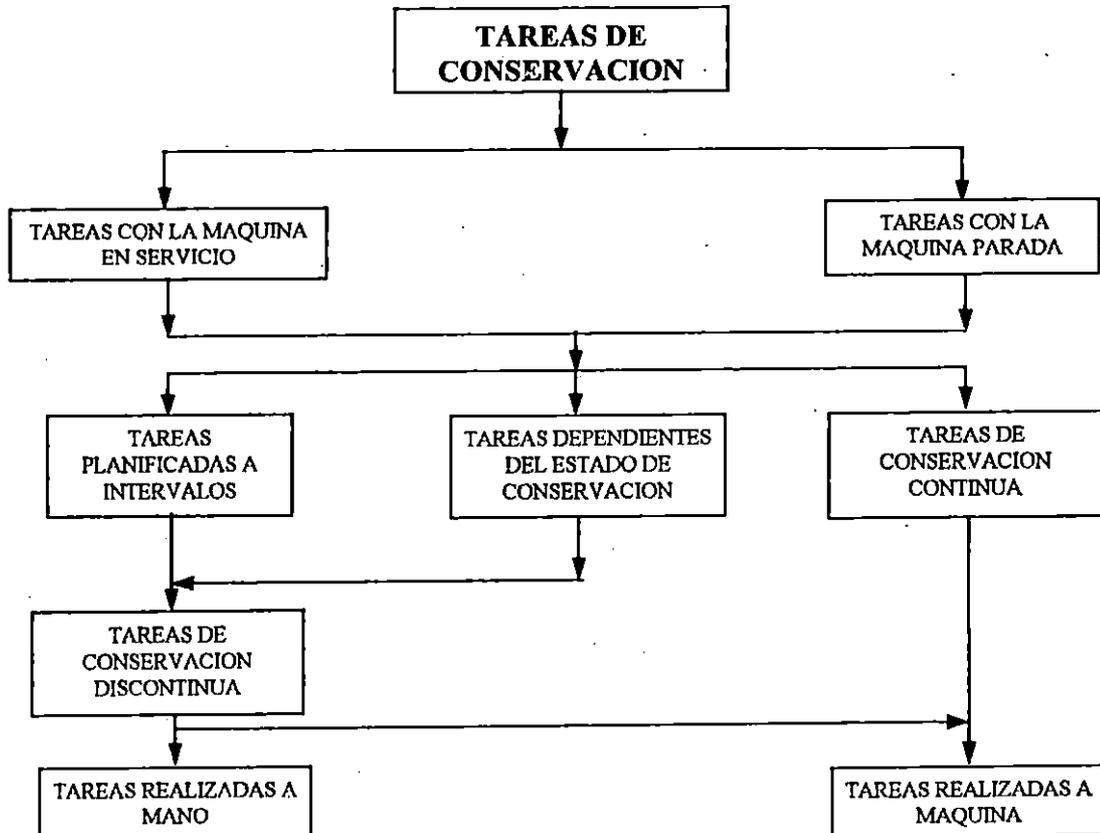


Figura 1.4 Tareas de conservación

Todas las medidas de conservación adoptadas deben registrarse por escrito, archivando y almacenando los datos respectivos. Un control y una vigilancia a intervalos regulares, llevados a cabo por los responsables, es una condición natural, si se desean obtener resultados óptimos.

La efectividad de las medidas de conservación se demuestra con la inspección ó con un análisis de los puntos débiles. Además, el control ofrece la ventaja de que las deficiencias podrán visualizarse y subsanarse sin pérdida de tiempo. Un plan de conservación elaborado por un experto es una base excelente para el control.

1.2.2.3.- La Intervención.

Por trabajos de intervención se entienden como todas las medidas que contribuyen a restaurar el estado teórico y que involucren un trabajo considerable de ensamble y desensamble de los elementos de la maquinaria. La Intervención puede ser de dos tipos:

1. Intervención planificada o de reacondicionamiento.
2. Intervención no planificada o reparación.

La intervención planificada se lleva a cabo cuando en la inspección se han constatado un estado real que permita suponer que pronto va a producirse un daño. En tales casos se dispone generalmente de tiempo suficiente para planificar y preparar las medidas necesarias de mantenimiento; éste mantenimiento tiene la ventaja de que la reparación se puede efectuar en forma rápida y racional.

Por su parte la intervención no planificada resulta necesaria cuando se produce un daño repentino que no se había previsto. La causa de este tipo de daños puede radicar, por ejemplo, en fallas de material ó de operación.

Es de suma importancia de que el encargado de mantenimiento, tome conciencia de la necesidad de examinar el tipo y la causa del daño antes de ejecutarse la reparación propiamente dicha. Esto es lo que suele llamarse comprobación del daño. Esta constatación permite ver cuales son concretamente, las reparaciones que hay que efectuar.

En el programa de mantenimiento el reacondicionamiento es parte importante, a la hora de presupuestar el mantenimiento y equipar la bodega con repuestos, el reacondicionamiento se aplica de dos formas diferentes:

- a) El reacondicionamiento por sustitución
- b) El reacondicionamiento por tratamiento

El reacondicionamiento por sustitución se da mediante el cambio de la pieza que ha sufrido daño, por otra nueva de iguales características,. Ahora bien, en muchas circunstancias es sumamente difícil hacerse rápidamente de una pieza de repuesto original, lo que obliga al departamento de mantenimiento a confeccionarla ó a reparar la pieza averiada, mediante algún

método bien probado; con ello lo que se ha caracterizado es la segunda área del reacondicionamiento que es la reparación propiamente dicha.

Para todas las medidas de reacondicionamiento existen por principio dos situaciones iniciales, que conllevan a una serie de operaciones de reacondicionamiento que deben ser planificadas y que permiten al mismo tiempo a la estrategia del mantenimiento, prevenir los fallos imprevistos de piezas de las instalaciones, lo cual posee sin duda, una gran importancia económica, así como la protección al centro de producción contra interrupción en su actividad normal.

En el caso de que un daño se produzca de improviso, el departamento de mantenimiento tendrá que reaccionar adecuadamente, partiendo de que el reacondicionamiento por reparación ó sustitución requerirá normalmente de la parada de la máquina ó instalación por lo menos, de algunas partes de ésta.

De todas las consideraciones anteriores, se ve, que para el reacondicionamiento habrá una iniciación variable de las medidas correspondientes. Si por otra parte existe un plan determinado con intervalos de tiempo preestablecidos, el riesgo del fallo de una máquina se minimiza con toda seguridad si se sustituyen algunas piezas, que aunque su capacidad funcional aún no se encuentra disminuida, la experiencia ó los registros estadísticos indican que su reserva de uso está próxima a terminar. Este es un problema puramente de costos.

En este caso se habla de reacondicionamiento por intervalos; que viene a ser un reacondicionamiento por sustitución. Una modalidad diferente de reacondicionamiento depende de los resultados de las inspecciones. Si como resultado de una inspección se determina que habrá que sustituir ó reparar alguna pieza de la instalación, se habla entonces del reacondicionamiento en dependencia del estado de conservación.

Como caso especial, el daño no calculable, producido de imprevisto, de una máquina ó instalación, es también un momento iniciador de medidas de reacondicionamiento, tratándose entonces del reacondicionamiento por daños.

1.2.2.4.- El monitoreo.

El monitoreo o vigilancia de los componentes y de los sistemas claves de los equipos de una planta, es el medio empleado por el mantenimiento Predictivo para la detección e identificación de las fallas.

El propósito fundamental de los sistemas de monitoreo es el de reducir el tiempo de paro mediante el diagnóstico del comportamiento anormal de un equipo, cuando ocurre en las primeras etapas. Los operadores pueden utilizar esta información, en muchos casos, para evitar un paro forzado y para programar las reparaciones, el personal de mantenimiento puede utilizar esta información para determinar cuáles son las acciones de mantenimiento que deberán realizarse y para asegurar que se cuenta con todas las refacciones y herramientas necesarias cuando la máquina se saque de servicio. Del mismo modo, los sistemas de vigilancia pueden reducir los paros de la planta, mediante la indicación de que no es necesario efectuar algún tipo de mantenimiento en un componente durante un paro programado.

Varias técnicas de vigilancia están disponibles para el diagnóstico de máquinas, entre los que se encuentran:

1. Medida y análisis de vibraciones.
2. Medida y análisis de ruido.
3. Métodos de medida de desplazamientos, expansión y parámetros del proceso.
4. Análisis de lubricantes (Por ejemplo: técnicas espectroscópicas, ferrografía etc.)
5. Ensayos ópticos (Por ejemplo: endoscopia, observaciones en el microscópicos, etc.)
6. Ensayos no destructivos de materiales (Por ejemplo: ultrasonido, rayos X, etc.)

2.0.- FUNDAMENTOS DE TRIBOLOGIA.

Si se desea establecer un sistema de mantenimiento integral (que involucre todos los tipos de mantenimiento) los conocimientos del personal encargado, son parte importante del sistema, ya que éstos en su labor se verán con variedad de situaciones. Principalmente en las labores de conservación los conocimientos de las características básicas de los lubricantes y de los procesos de lubricación resultan necesarios además para la comprensión de las labores de mantenimiento preventivo y predictivo es necesario que se dispongan de conocimientos generales, sobre los efectos de las propiedades físicas de los elementos en movimiento y del comportamiento de estos al encontrarse involucrados en el proceso de lubricación y consecuentemente juegan un papel importante en las condiciones de operación de los sistemas mecánicos.

Tribología es la palabra que define y relaciona todos los problemas con el transporte de carga a través de superficies en movimiento relativo. Etimológicamente procede del griego:

- TRIBOS- FRICCIÓN y
- LOGOS - TRATADO

Actualmente a nivel internacional la aceptación más amplia de Tribología es: La ciencia y la tecnología de los sistemas en movimiento y en contacto mutuo, y que comprende fricción, desgaste, corrosión y muchos aspectos relacionados con la Ingeniería, física, química, metalurgia, fisiología, etc. , es por lo que esta considerada como una ciencia interdisciplinaria.

Todo lo que se mueve forma parte de un sistema tribológico, en el que pueden intervenir dos o más sólidos, sólidos y líquidos así como sólidos y gases, existen múltiples ejemplos para justificarlo: Mecanismo para transmitir movimiento - El calzado sobre el pavimento - la fricción de los textiles, la acción del aire con los vehículos terrestres, aeronaves y muchas otras. En muchos aspectos de la vida diaria nos encontramos con alguna manifestación tribológica.

2.1.- LA FRICCIÓN.

La fricción es la resistencia al movimiento entre dos cuerpos en contacto íntimo. Se puede identificar dos tipos de fricción: Fricción sólida (o seca) y fricción fluida.

a) fricción sólida.

La fricción sólida ocurre cuando hay contacto físico entre dos cuerpos sólidos que se mueven con relación entre sí. El tipo de movimiento divide la fricción sólida en dos categorías, fricción de deslizamiento y fricción de rodamiento.

La fricción de deslizamiento es la resistencia al movimiento conforme un cuerpo se desliza sobre otro. Las superficies sólidas que parecen lisas tienen en realidad muchos picos y valles. La resistencia al movimiento se debe principalmente al entrelazado de esas asperezas. En condiciones de presión extrema, el calor generado por la fricción de deslizamiento puede resultar en la soldadura de los puntos de contacto.

La fricción de rodamiento es la resistencia al movimiento conforme un cuerpo sólido rueda, sobre otro. Se causa principalmente por la deformación de las superficies elementales que ruedan y que soportan carga. Para una carga dada, la fricción de rodamiento es significativamente menor que la fricción de deslizamiento.

b) La fricción fluida.

La fricción fluida ocurre cuando dos cuerpos sólidos en movimiento relativo están completamente separados por un fluido. Se causa por la resistencia al movimiento entre las moléculas del fluido. Para una carga dada, la fricción fluida suele ser mucho menor que la fricción sólida. El espesor de la película, en relación con la altura de las asperezas de la superficie, distinguen tres tipos de lubricación.

- Película de lubricación llena o gruesa.
- Lubricación con película mezclada.
- Lubricación de frontera.

La lubricación con película llena o gruesa existe cuando la película lubricante entre las dos superficies es de suficiente espesor para separar por completo las asperezas en las dos superficies. En este caso existe la fricción fluida verdadera entre las superficies en movimiento y no ocurre contacto de metal con metal (ver figura 2.1 a).

La lubricación con película mezclada existe cuando la película de lubricante entre las dos superficies es de suficiente espesor para separar la mayor parte de las asperezas de la superficie, pero puede ocurrir algún contacto de metal con metal (ver figura 2.1 b).

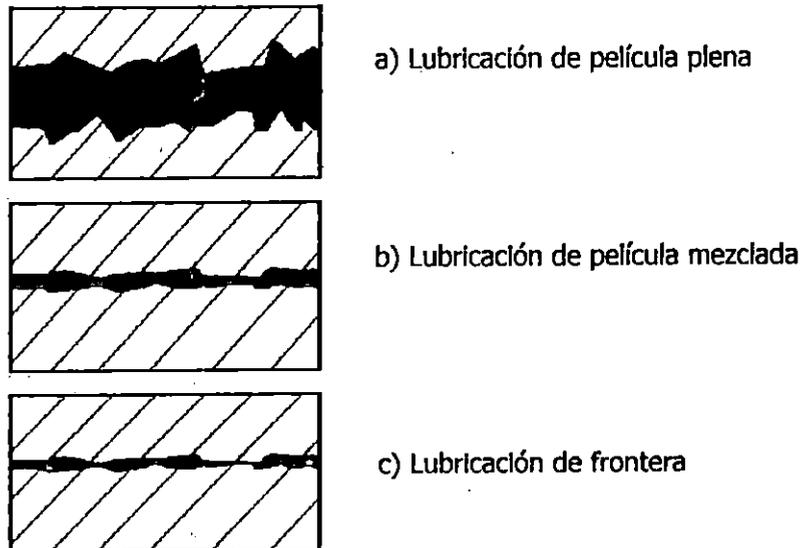


figura 2.1 tipos de lubricación fluida

La lubricación de frontera existe cuando el espesor de la película es igual a la altura de las asperezas y ocurre un contacto amplio de metal con metal (ver figura 2.1 c).

2.2.- DESGASTE DE LOS METALES

La calidad de la mayoría de los productos de metal depende de la condición de sus superficies y del deterioro de la superficie debido al uso. Este deterioro es importante también en la práctica de Ingeniería; suele ser el factor principal que limita la vida y el desempeño de los componentes de una máquina.

El desgaste se puede definir como el deterioro no intencional resultante del empleo o del ambiente; puede considerarse esencialmente como un fenómeno de superficie. El desgaste es una de las influencias más destructivas a que están expuestas los metales, y la importancia de la resistencia al desgaste no necesita ampliarse.

El desplazamiento y la separación de las partículas mecánicas de una superficies mecánica puede producirse por contacto con: a) otro metal (Desgaste adhesivo metálico), b) un abrasivo metálico o uno no metálico (abrasión), o c) líquidos o gases en movimiento (erosión). La erosión

se acompaña generalmente por alguna forma de corrosión. Los tipos de desgaste mencionados pueden subdividirse en desgaste por fricción rodante o por fricción deslizante y, además, de acuerdo a si puede utilizarse o no la lubricación.

El desgaste que implica un solo tipo es raro, y en la mayoría de los casos ocurren el desgaste abrasivo y el adhesivo. Cada forma de desgaste está afectada por una variedad de condiciones, incluyendo ambiente, tipo de carga aplicada, velocidades relativas de las piezas que se acoplan, lubricante, temperatura, dureza, terminado de la superficie, presencia de partículas extrañas, y composición y compatibilidad de las piezas de acoplamiento implicadas. Como en la mayoría de las aplicaciones mecánicas el desgaste rara vez puede evitarse por completo aun con la mejor lubricación, es práctica común utilizar un metal duro y uno relativamente suave en forma conjunta. El material más suave se emplea (como en un cojinete) para la pieza más económica de reemplazar.

2.2.1.- Mecanismo de desgaste.

En el desgaste adhesivo, también llamado rayado, erosión, prendimiento y ludimiento de las superficies, pequeñísimas salientes producen fricción por interferencia mecánica, con movimiento relativo de las superficies en contacto que incrementan las resistencias para movimiento ulterior. Si la fuerza de impulso es suficiente para mantener el movimiento, las partículas interlazadas se deforman. Si son de un material frágil, pueden arrancarse de lo cual se llega a la conclusión de que la resistencia al desgaste se mejorará evitando el contacto metal - a - metal e incrementando la dureza para resistir el mellado inicial, aumentando la tenacidad para resistir la separación violenta de las partículas metálicas, e incrementando la uniformidad de la superficie para eliminar las salientes.

El desgaste abrasivo ocurre cuando partículas duras se deslizan o ruedan bajo presión a través de una superficie, o cuando una superficie dura se frota a través de otra. Las partículas desgastadas por rozamiento del objeto más duro tienden a rasguñar o acanalar al material más suave. Estas partículas duras también pueden penetrar al metal más suave y producir la violenta separación de las partículas metálicas.

La facilidad con que el metal deformado puede arrancarse violentamente depende de la tenacidad; por tanto, la dureza y la tenacidad, las mismas propiedades que influyen en el desgaste

adhesivo, también determinan del desgaste abrasivo. De estos dos factores, la dureza es probablemente la más importante.

2.2.2.- Factores que influyen en el desgaste.

La lubricación es un factor de contribución importante para la resistencia al desgaste, sobre todo en desgaste adhesivo. En lubricación de "película gruesa", una película de lubricación suficientemente gruesa elimina por completo el contacto metálico, y el desgaste metálico se reduce a una cantidad despreciable; sin embargo, ésta es la condición ideal y se da con más frecuencia la "lubricación límite". Esta es la condición de contacto metálico intermitente que ocurre cuando la película de aceite no puede mantenerse continuamente. En condiciones límite, la cantidad de desgaste depende de la velocidad, de la presión, de la naturaleza de las superficies de apareamiento y de la eficacia de la película residual de aceite; empero, en muchos casos, la lubricación no es práctica, o no se necesita, como en el sistema de frenos.

Aunque la fusión (derretimiento) verdadera del metal ocurre sólo en casos raros, el efecto del calor producido por desgaste seco puede reducir la resistencia al desgaste en diversas formas. Puede revenir estructuras endurecidas, producir cambios de fase que incrementan la dureza y la fragilidad y disminuir las propiedades mecánicas, y acelerar las reacciones de corrosión.

El factor dominante producido por fricción en los materiales no metálicos se cree que sea la soldadura. Los átomos de metales cristalográficamente similares tienen fuerzas de cohesión muy intensas. Cuando dos superficies limpias del mismo metal se tocan efectivamente entre sí, se soldarán debido a la atracción atómica. Si, por fricción, se aplica suficiente presión para romper a través de cualquier material residual de separación, tal como aceite, polvo o humedad absorbida, y las superficies están en contacto suficiente para que tenga lugar una deformación elástica o plástica, tiene lugar el aferramiento o la soldadura. El suavizamiento de metales por altas temperaturas incrementa la facilidad de deformación plástica y facilita la soldadura. La adhesión puede causar que el movimiento se detenga por completo o, si no se evita el movimiento relativo, pueden arrancarse algunos pedazos de la cara opuesta. La protuberancia resultante puede producir rasguñado, dañado y excesivo desgaste local.

Muchos métodos pueden utilizarse para minimizar el peligro de adhesión. Uno es emplear capas delgadas de material duro de revestimiento. La utilización de por lo menos un metal que forme alguna clase de película de lubricación o un revestimiento delgado, de óxido, sulfuro o fosforo

estrechamente adherible puede ser útil. El óxido de aluminio es muy efectivo para evitar la soldadura. Para piezas que funcionan bajo presiones tan altas que la deformación elástica permite contacto íntimo, el mejor método preventivo es un lubricante que se combine con la superficie del metal a fin de formar un producto de "corrosión" de suficiente resistencia para mantener las superficies separadas. El uso de materiales de límite elástico alto minimizará la adherencia debido al contacto íntimo producido por deformación plástica.

El impacto es un factor en el desgaste, ya que la carga aplicada repentinamente puede producir flujo plástico y un cambio en forma. Un diseño adecuado debe proporcionar una resistencia a la cedencia compresiva en la superficie, superior al esfuerzo compresivo producido por las cargas aplicadas con impacto y suficiente soporte, de manera que no ocurra flujo subsuperficial.

La falla por fatiga se incluye en un estudio de desgaste, ya que es una deterioración gradual debida al uso. Un diseño adecuado para eliminar las concentraciones de esfuerzos en muescas y ángulos agudos incrementará la resistencia a la fatiga. Como las fallas por fatiga se deben siempre a esfuerzos tensiles, un esfuerzo residual compresivo en la superficie proporcionará protección adicional. Esto puede llevarse a cabo por endurecimiento superficial como carburización y por picamiento con un chorro de perdigones.

2.2.3.- Mecanismos de protección contra el desgaste.

Hay disponibles muchos materiales y métodos para proteger contra el desgaste. La selección de un material y proceso específicos requiere un análisis concienzudo de las condiciones reales de servicio, un conocimiento de la aplicabilidad y limitaciones del material y proceso particulares, y datos referentes al costo implicado. La falta de datos de Ingeniería disponibles para comparaciones impone la necesidad de que el Ingeniero o el técnico que selecciona los materiales para soportar el desgaste tenga un buen juicio.

Varias técnicas para proporcionar protección a la superficie contra el deterioro son:

- Electrodeposición
- Difusión
- Rociado metálico (metalizado)
- Revestimiento con una capa de metal dura resistente a la abrasión
- Tratamiento térmico selectivo.

2.3.- CORROSION DE LOS METALES

En sentido amplio, la corrosión puede definirse como "la destrucción de un material por interacción química, electro – química o metalúrgica entre el medio y el material". Generalmente es lenta, pero de carácter persistente. En algunos ejemplos, los productos de la corrosión existen como una película delgada adherible que sólo mancha o empaña el metal y puede actuar como un retardador para ulterior acción corrosiva. En otros casos, los productos de la corrosión son de carácter voluminoso y poroso, sin ofrecer ninguna protección.

Uno de los problemas más serios de la industria lo constituye la corrosión, que produce daños por miles de millones de dólares al año. Es un problema complejo acerca del cual se conoce mucho; sin embargo, a pesar de la extensa investigación y experimentación, todavía hay mucho que aprender. En algunos casos, como en el ataque químico directo, la corrosión es la inestabilidad de los metales en sus formas refinadas; los mismos tienden a volver a sus estados originales a través de los procesos de corrosión.

2.3.1.- Principios electroquímicos de la corrosión.

La corrosión es esencialmente un proceso electroquímico que origina que parte o el total del metal que está transformándose del estado metálico al iónico. La corrosión requiere un flujo de electricidad entre ciertas áreas de la superficie del metal a través de un electrólito, el cual es cualquier solución que contiene iones. Los iones son átomos o grupos de átomos eléctricamente cargados; por ejemplo el agua pura contiene iones hidrógeno positivamente cargados (H^+) e iones hidróxilo negativamente cargados (OH^-) en cantidades iguales. Por tanto, el electrólito puede ser agua pura, agua salada, o soluciones ácidas o alcalinas de cualquier concentración. Para completar el circuito eléctrico, debe haber dos electrodos, un ánodo y un cátodo, mismos que deben conectarse. Los electrodos pueden ser dos diferentes clases de metales o distintas áreas sobre la misma pieza de metal. La conexión entre el ánodo y el cátodo puede ser mediante un puente metálico, pero en la corrosión se lleva a cabo simplemente por contacto. Para que fluya la electricidad, debe haber una diferencia de potencial entre los electrodos.

Si una pieza de hierro común se coloca en una solución de ácido hidrocórico, se observará un vigoroso burbujeo de gas hidrógeno: Sobre la superficie del metal hay numerosas y pequeñísimas áreas cátodo y ánodo producidas por las inclusiones en el metal, las imperfecciones

superficiales, los esfuerzos localizados, la orientación de los granos o quizá las variaciones en el medio. Esta condición se muestra esquemáticamente en la figura 2.2.

En el ánodo, los átomos de hierro positivamente cargados se separan por sí mismos de la superficie sólida y entran a la solución como iones positivos, mientras que las cargas negativas, en la forma de electrones, se dejan atrás en el metal. En el cátodo, los electrones chocan y neutralizan algunos iones hidrógeno positivamente cargados, los cuales han llegado a la superficie a través del electrólito: Al perder su carga, los iones positivos llegan a ser átomos neutrales nuevamente y se combinan para formar gas hidrógeno. Así, conforme este proceso avanza, la oxidación y la corrosión del hierro se presentan en los ánodos, y el desprendimiento de hidrógeno ocurre en los cátodos. La cantidad de metal que se disuelve es proporcional al número de electrones que fluyen, lo cual a su vez depende del potencial y de la resistencia del metal.

Para que la corrosión prosiga, es necesario eliminar los productos de corrosión del ánodo y del cátodo. En algunos casos, la evolución del gas hidrógeno en el cátodo es muy lenta, y la acumulación de una capa de hidrógeno sobre el metal retarda la reacción, lo cual se conoce como polarización catódica (fig. 2.3); sin embargo, el oxígeno disuelto en el electrólito puede reaccionar con hidrógeno acumulado para formar agua, permitiendo de este modo que la corrosión avance. Para hierro y agua, la rapidez de eliminación de la película depende de la concentración efectiva de oxígeno disuelto en agua adyacente al cátodo. Esta concentración efectiva depende, a su vez del grado de aeración, de la cantidad de movimiento, de la temperatura, de la presencia de sales disueltas y de otros factores.

Los productos de los procesos del ánodo y del cátodo frecuentemente chocan y entran en reacciones ulteriores que dan muchos de los comunes y visibles productos de corrosión; por ejemplo, con hierro en agua, los iones hidróxilo formados por la reacción catódica, en su migración a través del electrólito hacia el ánodo, encuentran iones ferrosos que se mueven en la dirección opuesta, y se combinan para formar hidróxilo ferroso (fig. 2.4). Este pronto se oxida por el oxígeno en solución para formar hidróxilo férrico, el cual se precipita como en forma de herrumbre de hierro. Dependiendo de la alcalinidad, del contenido de oxígeno y de la agitación de la solución, esta herrumbre se puede formar ya sea lejos de la superficie de hierro o muy próxima a ella, donde puede ejercer más influencia sobre el ulterior progreso de corrosión.

2.3.2.- Factores que influyen en la corrosión.

Uno de los factores más importantes que influyen en la corrosión es la diferencia en potencial eléctrico de metales no similares cuando están acoplados conjuntamente y sumergidos en un electrólito. Este potencial se debe a las naturalezas químicas de las regiones anódica y catódica. Alguna indicación de cuáles metales pueden ser anódicos en comparación con el hidrógeno está dada por la serie estándar de fuerza automotriz. La celda estándar de hidrógeno se asigna con un valor de cero y el potencial desarrollado por media celda del metal en cuestión acoplado a media celda estándar se compara con la de la celda hidrógeno.

La serie electromotriz es válida sólo para metales en condiciones congruentes a aquella en que se determinó la serie. Los electrólitos contienen concentraciones específicas de sales del mismo metal del que se estudió. En condiciones reales, en otros electrólitos, su comportamiento puede ser diferente. En vez de la serie electromotriz, se utiliza una serie galvánica algo parecida, la cual se basa en la experiencia con combinaciones de metales en gran variedad de ambientes. En la tabla 2.1 aparece tal serie para cierto número de metales y aleaciones en agua de mar que se mueven a alta velocidad. En cualquier pareja, el metal cercano al tope de esta serie será anódico y sufrirá corrosión, mientras que el otro más próximo al final de la lista será catódico y recibirá alguna protección galvánica. La diferencia en potencial eléctrico entre dos metales está relacionada con la distancia entre ellos en la serie galvánica. Un metal acoplado con otro cercano a él sobre esta lista corroerá generalmente en forma más lenta que cuando se acopla con otro más alejado por debajo de él.

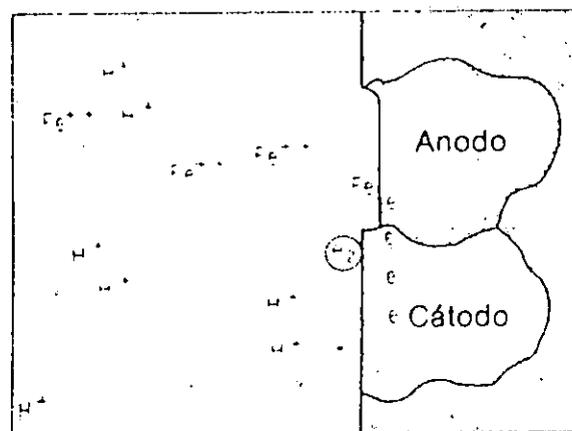


FIGURA 2.2 Ilustración de la formación de iones en el ánodo y de hidrógeno en el cátodo en una celda de acción local

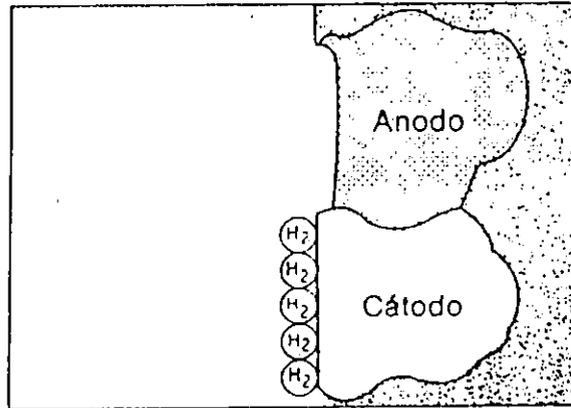


FIGURA 2.3 Polarización del cátodo local mediante una película de hidrógeno

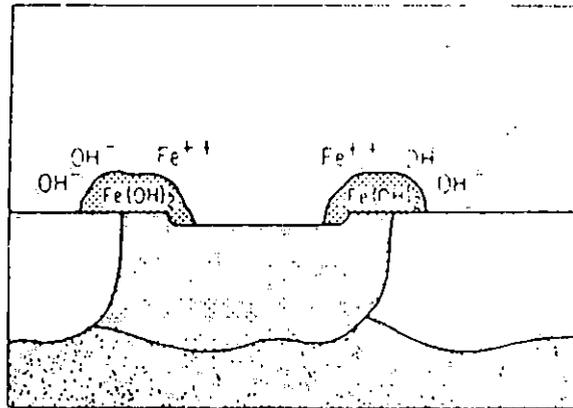


FIGURA 2.4 Formación de hidróxido ferroso en la oxidación del hierro

TABLA 2.1 Serie galvánica de metales y aleaciones de agua de mar

Extremo anódico (corroído)

Magnesio

Zinc

Aluminio

Cadmio

Aleaciones al aluminio

Acero al bajo carbono

Acero aleado

Hierro fundido

Acero inoxidable (activo)

Metal Muntz

Latón amarillo

Latón al aluminio

Latón rojo

Cobre

Bronce al aluminio

Aleaciones cobre-níquel

Monel

Níquel (pasivo)

Inconel

Plata

Acero inoxidable (pasivo)

Titanio

Oro

Platino

Extremo catódico (protegido)

La relativa concentración de ambos iones comprendidos en la reacción tiene una influencia determinante sobre el potencial eléctrico. Si la concentración iónico – metálica se incrementa con referencia a la concentración iónica reducible, habrá una reducción en potencial.

Si el ión metálico se elimina mediante la formación de un compuesto insoluble precipitado sobre el ánodo, y esta película es adherente e impermeable a la solución de corrosión, resulta un aislamiento completo y la corrosión se detiene. Las películas de óxido de este tipo se forman sobre aluminio y cromo, materiales que también responden de su superior resistencia a la corrosión. Un óxido poroso o una cubierta metálica tiende a incrementar la corrosión, especialmente cuando la pieza está expuesta a períodos alternativos de inmersión y secado.

El efecto del oxígeno disuelto sobre la rapidez de corrosión es doble: actúa en la formación de óxidos y como despolarizador catódico. Si la formación de óxido elimina los iones metálicos del metal, se incrementará la corrosión. El efecto de la película de óxido sobre el metal se mencionó previamente. Si el oxígeno actúa para eliminar hidrógeno de los alrededores del cátodo, se incrementará la corrosión. La efectividad del oxígeno para eliminar hidrógeno está influida por la cantidad de área del cátodo. Con un cátodo grande, el hidrógeno que lo alcanza se esparcirá y será más accesible a la eliminación mediante una reacción con el oxígeno. Por esta razón, es práctica inefectiva acoplar un cátodo grande con un ánodo pequeño.

Las diferencias en potencial de punto a punto sobre una misma superficie de metal producen corrosión, conocida como acción local, la cual puede deberse a impurezas sobre la superficie o a diferencias en la estructura de la superficie o del ambiente. Una diferencia en el ambiente, como la que hay en concentración de los iones metal en la solución corroedora en un punto sobre la superficie del metal en comparación con otro punto sobre dicha superficie, producirá corrosión por acción local. Esta diferencia en concentración ión metal puede formarse cuando un metal está en contacto con una solución en que la velocidad es mayor en un punto que en otro. Otros factores (como la presencia de otros iones en solución, la temperatura de la solución y la existencia de corrientes eléctricas descarriadas) pueden afectar materialmente la rapidez de corrosión.

2.3.3.- Tipos de corrosión.

Descripciones específicas se utilizan en general para ciertos tipos de corrosión industrialmente importante. Cuando toda la superficie del metal se ataca al mismo grado, se conoce

como corrosión uniforme. Este tipo está fuera de lo común en metales, ya que en rara vez son tan homogéneos como para que la superficie se a igualmente corroída.

La corrosión por formación de pequeños huecos en la superficie es un ejemplo de corrosión no uniforme resultante de heterogeneidades en el metal, debido a inclusiones, composición variable de cristales individuales a través de la pieza fundida, y zonas distorsionadas. Estas fases de homogeneidad forman diferencias de potencial en sitios localizados para producir huecos profundos y aislados. La formación de pequeños agujeros en la superficie del metal base ocurre cuando hay un rompimiento en la capa o película protectora; por ejemplo, cuando la placa de cromo de un parachoques (de acero) de automóvil se rompe, se forman pequeños agujeros sobre la superficie del acero descubierto.

La corrosión por cavitación, ilustrada esquemáticamente en la figura 2.5, se produce por el choque de burbujas y cavidades dentro de un líquido. El movimiento de vibración entre una superficie y un líquido es tal que se aplican repetidas cargas a la superficie, produciendo esfuerzos muy altos cuando se forman estas burbujas y chocan regularmente. Estos choques producen impactos de alto esfuerzo que eliminan gradualmente partículas de la superficie, formando de manera eventual profundos agujeros sobre la superficie, depresiones y marcas de viruela. Este tipo de corrosión puede minimizarse o eliminarse cambiando a un material más resistente o utilizando una cubierta protectora.

La corrosión por grieta es un término general que incluye ataque en el punto de unión de dos metales expuestos a un ambiente corrosivo. Por experiencia se sabe que es más probable que la corrosión ocurra en grietas que retienen las soluciones y les toma más tiempo secarse. También es posible que la corrosión ocurra en grietas, aun cuando estén completamente sumergidas. El ataque acelerado puede ocurrir debido a un diferencial en la concentración de oxígeno (fig. 2.6 a). El oxígeno tiene acceso relativamente fácil al exterior de la unión, que es catódica. El metal en la unión es anódico relativamente, en tanto que el depósito de producto insoluble de corrosión alrededor del centro anódico tiende a excluir oxígeno más completamente, resultando en un área de baja concentración de oxígeno y potencial eléctrico incrementado. Si la acción continúa, se forma en el centro un agujero superficial. La corrosión siempre ocurre en la región deficiente en oxígeno; por su parte, las grietas también pueden causar diferencias en concentraciones ión metal en diferentes sitios; por ejemplo, para un área en una grieta es posible tener una concentración iónico metálica más alta que la del área exterior. De este modo, la corrosión puede tener lugar en la región de deficiencia ión metal en la orilla de una unión metálica, como se ve en la figura 2.6 b.

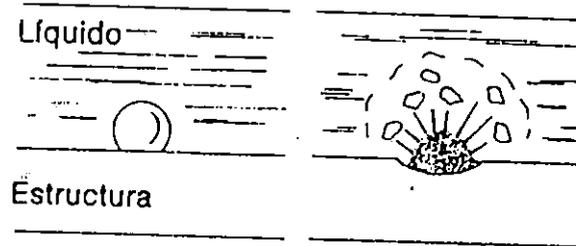


FIGURA 2.5 Corrosión por cavitación producida por el choque de burbujas que se forman en los puntos en que la presión local es igual a la presión de vapor del líquido o inferior a ella.

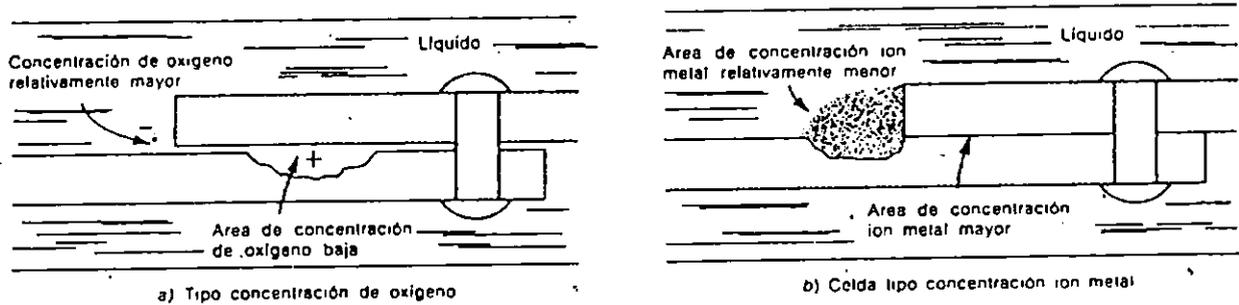


FIGURA 2.6 Corrosión por grieta producida por: a) diferencia en la concentración de oxígeno, y b) diferencia de concentración ion-metal.

La corrosión por rozamiento es un tipo común de daño a la superficie producido por vibración; la cual causa choques o rozamiento en la interfaz de superficies sometidas a altas cargas y estrechamente ajustadas. Tal corrosión es común en superficies de ajustes por sujeción o de presión, ranuras de cuña, canales para llaves mecánicas y otras piezas estrechamente ajustadas, sujetas a un pequeño movimiento relativo. La corrosión por rozamiento destruye los cojinetes y las dimensiones y reduce la resistencia a la fatiga. Este tipo de corrosión es un fenómeno mecánico – químico.

Cuando dos componentes se rozan, fuerzas adhesivas hacen que pequeñas partículas de la superficie se suelden. Con continuos y ligeros movimientos, las partículas soldadas se arrancan de las superficies opuestas y reaccionan químicamente con la atmósfera, formando escombros o polvo en la unión. Hay diversas formas en que la corrosión por rozamiento puede evitarse. La más obvia es eliminar la fuente de vibración sujetando en forma más firme o montando de manera más rígida. Otros métodos incluyen el aumento de la dureza de las superficies de apareamiento, insertando empaquetaduras de hule en las uniones (para absorber movimiento), lubricando con un medio seco (disulfuro de molibdeno mantenido en un aglutinante) y sellando toda el área con un material, como cemento de hule para excluir las atmósferas.

La corrosión intergranular es otro ejemplo de corrosión no uniforme cuando existe una diferencia de potencial entre las fronteras de grano y el resto de la aleación. Este tipo de corrosión tiene lugar generalmente cuando ocurre la precipitación de una fase desde una solución sólida. Como la precipitación suele ocurrir más rápido en las fronteras de grano, el material en la vecindad de las fronteras de grano pierde cantidades del elemento disuelto, creando una diferencia de potencial, y la frontera de grano se disolverá preferentemente. A menudo el examen visual de la pieza no revelará la extensión del daño, y en la mayoría de los casos hay una apreciable pérdida en las propiedades mecánicas.

La corrosión por esfuerzo es la aceleración de la corrosión en ciertos ambientes cuando los metales se someten a esfuerzos externamente o contienen esfuerzos tensiles internos debidos al trabajo en frío. La corrosión por esfuerzo es uno de los más importantes tipos de corrosión, porque puede ocurrir en muchísimos metales. Casi cualquier metal se puede atacar en ciertos ambientes; sin embargo, las condiciones que hacen que haya fisuras en un metal no producirán la presencia de fisuras en otro metal; por tanto, es difícil predecir dónde ocurrirá el ataque.

Un tipo de corrosión que se ha hecho crecientemente importante es la corrosión metal – líquido. En ciertos tipos de reactores nucleares para la producción de energía atómica, metales líquidos como bismuto y sodio se utilizan como el medio de transferencia de calor. La trayectoria de metal líquido es un circuito cerrado con una parte a alta temperatura en la porción interna del reactor y la otra parte a menor temperatura en un intercambiador de calor.

2.4.- INDICE DE FALLAS

Utilizando las especificaciones que vienen del fabricante de la maquinaria, se programan las actividades de mantenimiento y por que resulta fácil determinar los criterios acerca de que actividades conviene que se realice a cada máquina. Supóngase por ejemplo, que el aceite de una máquina se envejece perdiendo con ello su valor como lubricante; en las tablas del fabricante que suele adjuntar a los manuales, puede verse después de cuantas horas de funcionamiento hay que cambiarles el aceite.

Una herramienta eficaz de la que se vale, para la planificación del mantenimiento es el diagrama de "índice de fallas" en donde figura la vida útil de la pieza o sistema mecánico, empezando desde el momento que comienza a desgastarse y además debe mostrar el índice de fallas de la máquina o piezas, (ver figura 2.7), el diagrama es útil para poder fijar el intervalo entre dos trabajos de mantenimiento. En este diagrama se gráfica el índice de fallas contra el factor tiempo, en el cual se distinguen tres tipos de fallas.

- Fallas prematuras.
- Fallas casuales.
- Fallas de fatiga.

a) Fallas prematuras.

Las fallas prematuras suelen aparecer poco después de la puesta en funcionamiento. Sus causas más frecuentes son:

- Defectos de fabricación
- Materiales defectuosos
- Fallas de montaje
- Errores de operación

A menudo se puede suprimir la causa de la falla de manera tal que después de un cierto tiempo, ya no aparezcan fallas prematuras. Este tiempo tiene que ser más corto que el tiempo de garantía de la máquina o equipo en cuestión. Después del periodo de prueba se puede suponer que desciende en índice de fallas.

b) Fallas casuales.

Después del periodo de prueba aparecen fallas casuales, que se originan por la destrucción repentina de un elemento, a causa de sobrecarga, errores de operación, mal mantenimiento etc.. Estas fallas son impredecibles. Como la probabilidad de que ocurran es siempre la misma, el índice de fallas es constante.

De esta fase de fallas casuales resulta que las piezas o componentes respectivos tengan una vida útil promedio correspondiente a la mitad de periodo de trabajo.

Según el principio del mantenimiento preventivo, hay que cambiar un componente determinado después de concluida la vida útil promedio. Se puede establecer que hay que efectuarse ese cambio después de una determinada cantidad de horas de funcionamiento o después de haber producido una determinada cantidad de unidades.

c) Fallas por fatiga o desgaste.

Al periodo de trabajo, con sus fallas casuales, le sigue el periodo de fallas por fatiga o desgaste, que caracterizan por fallas debidas a envejecimiento de la pieza. Estas fallas suelen tener manifestaciones físico - químicas, como corrosión, alteración de la estructura del material, desgaste, fatiga o combinación de estas formas. Cuanto más tiempo pasa, más aumenta el índice de fallas de este periodo. Este tipo de fallas son las causantes de la mayoría de las intervenciones a las máquinas.

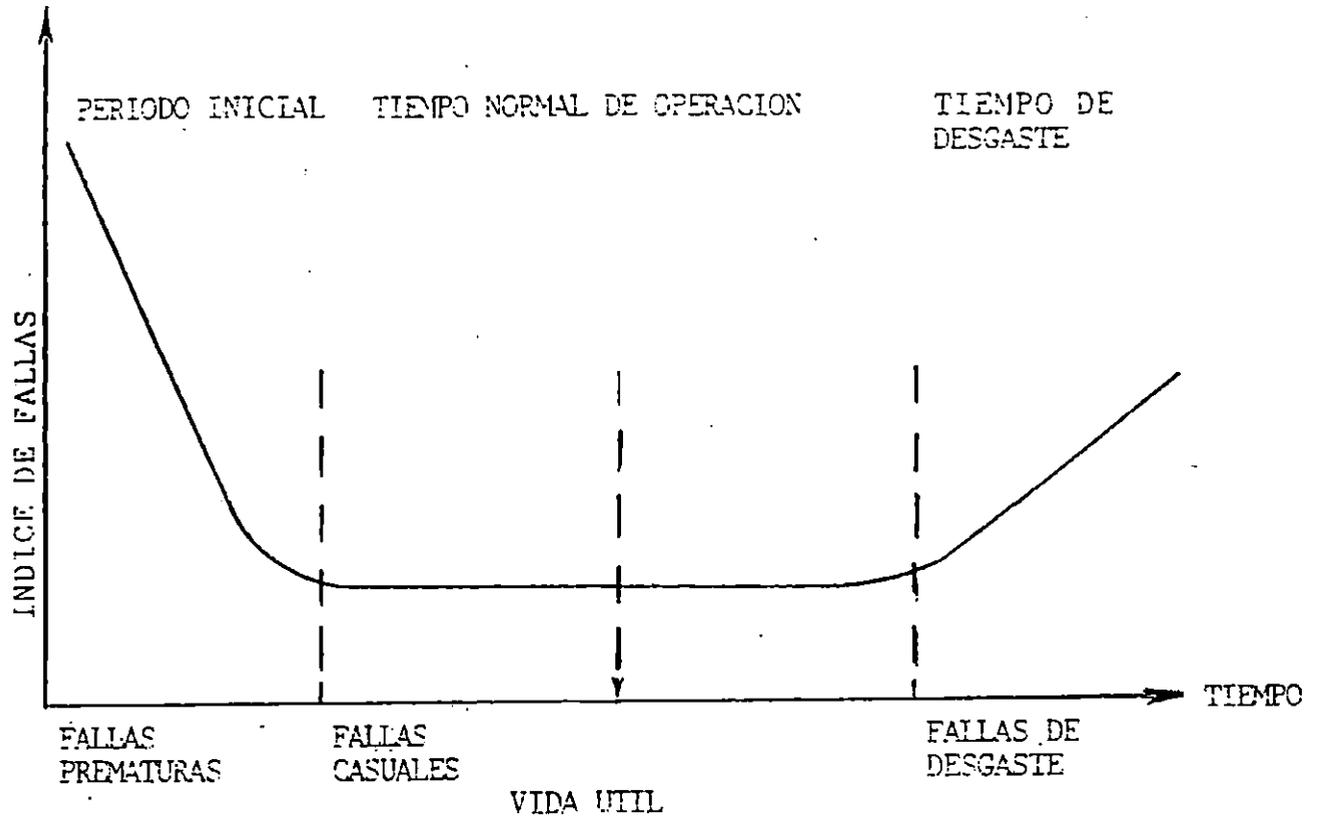


FIGURA 2.7 Características de falla en una pieza de desgaste

3.0.- LOS LUBRICANTES

3.1.- GENERALIDADES.

La lubricación es considerada una técnica auxiliar del mantenimiento, no obstante, es bien patente su importancia. El acelerado desarrollo técnico experimentado en la actualidad ha impulsado y sigue impulsando la búsqueda de nuevos productos lubricantes y la mejora de los ya conocidos.

Conscientes de esta importancia y de las dificultades de selección surgidas por la diversidad de lubricantes y de las necesidades de cada caso en particular, el presente capítulo, contiene una visión general de los distintos lubricantes y un estudio de sus propiedades, así como de sus aplicaciones más diversas, presentando especial atención a los aditivos, por el marcado interés que ofrecen.

3.2.- LA LUBRICACIÓN.

Los lubricantes realizan diversas funciones: la primaria y más obvia es Reducir el rozamiento y el desgaste de la maquinaria en movimiento, además se emplean para uno ó más de los siguientes objetivos:

- a) Evitar la adhesión de los elementos.
- b) Contribuir a distribución de la carga.
- c) Refrigerar los elementos en movimiento.
- d) Evitar corrosión.
- e) Enjuagar y arrastrar los contaminantes.
- f) Formar sellos

3.3.- Tipos de lubricantes.

Los lubricantes están clasificados, de acuerdo con el servicio prestado, algunos de ellos se destinan, virtualmente, a usos especiales, mientras que otros pueden emplearse con éxito en una variedad tan extensa de maquinaria, que se convierten en productos de aplicación múltiples.

Al ingeniero de mantenimiento, por las tareas que desempeñan, les interesa básicamente lo relativo a las siguientes aplicaciones:

- Aceites para sistemas circulares.
- Aceites para engranajes.
- Aceites para maquinaria o motores.
- Aceites para refrigeración.
- Aceites para husillos.
- Aceites para cilindros de máquina a vapor.
- Lubricantes para cables de acero.
- Lubricantes sólidos y sintéticos.
- Grasas con base de calcio, sodio, aluminio, litio y bario.

Los materiales empleados como lubricantes, son de una gran variedad, por lo que además de los aceites y las grasas, se están aplicando muchos plásticos, sólidos e incluso gases. Las únicas limitaciones de muchos de éstos radica en la realimentación de los mismos, la disipación del calor de razonamiento, su reacción a altas temperaturas y su estabilidad en ambientes complejos.

Por su estado físico se dispone de los siguientes tipos de lubricantes:

- a) Aceites (líquidos)
 - Aceites derivados del petróleo.
 - Aceites animales y vegetales.
 - Aceites sintéticos.
- b) Semi sólidos
 - Grasas derivados del petróleo.
 - Grasa animal.
- c) Películas sólidas.
 - Plásticos.
 - Películas metálicas y minerales.
- d) Gases.

Cada lubricante tendrá sus propiedades físicas particulares, que afectarán su rendimiento en diferentes aplicaciones. El conocimiento de los diversos tipos de lubricantes que hay en el mercado y una comprensión básica de sus ventajas y limitaciones es de mayor ayuda en la selección de un lubricante óptimo para una aplicación en particular.

3.4.- ACEITES LUBRICANTES.

Para satisfacer los requerimientos de una aplicación particular y mejorar las prestaciones del lubricante, el ingeniero de mantenimiento debe estar enterado de la amplia variedad de aceites naturales y sintéticos que se encuentran disponibles. Cada uno de ellos tiene sus propias características especiales que los hacen adecuado para aplicaciones específicas y que limitan su utilización en otras. Las descripciones completas y las recomendaciones están contenidos en los manuales de los fabricantes de aceites, en esta sección se trataran aspectos general de los aceites.

En muchas aplicaciones, debe aceptarse que la interrelación de tantas variables, incluido el régimen de deslizamiento entre las capas de aceite, carga y la variación de temperatura, hacen imposible el dar recomendaciones acertadas y predicciones, a menudo se precisan ensayos de prototipo ó de banco que asegurarían la elección final del fluido más satisfactorio, algo que en la practica es muy difícil de realizar.

3.4.1.- Propiedades de los aceites lubricantes.

Habiendo una gama extensa de aceites lubricantes tan distintos entre sí, se comprenderá fácilmente que para algunas funciones, uno ó unos tipos son adecuados, mientras que el resto son inadmisibles.

Para determinar cual ó cuales de ellos deben utilizarse para que cumplan su función en un determinado caso, es imprescindible conocer sus características y propiedades, las cuales proceden principalmente de su composición y del proceso de elaboración .

Estas características y propiedades vienen determinadas por unas constantes, siendo las principales: viscosidad, índice de viscosidad, sellado (untuosidad y absorción), densidad, punto de fluidez y de congelación, punto de combustión é inflamación, coloración, acidez, porcentaje de cenizas, oxidación.

3.4.1.1.- Viscosidad.

Con este nombre se designa la consistencia ó frotamiento interno de un líquido. Cuanto mayor sea la viscosidad, la resistencia a fluir es mas elevada, soportando así, presiones considerables.

El valor de un aceite como lubricante depende principalmente de su capacidad para formar y mantener películas de aceite entre las superficies del cojinete. Esto depende en gran manera de la viscosidad del aceite, pero no debe pensarse que, en cada caso, el aceite de la máxima viscosidad sea el lubricante más adecuado. Por razones prácticas un aceite con una mínima viscosidad que mantenga una película de aceite continua entre dos superficies del cojinete será el más adecuado a los efectos de lubricación. Esto es debido a que una viscosidad mayor que la necesaria para mantener la película de aceite da por resultado un derroche de potencia a causa del gasto de energía necesaria para vencer la fricción interna del propio aceite.

Después de las consideraciones anteriores se puede asegurar que la viscosidad es la característica más importante a tener en cuenta para la elección del aceite lubricante puesto que los juicios sobre la funcionalidad del aceite se basan primordialmente en su viscosidad.

La viscosidad depende de la naturaleza o base del lubricante (nafténico, parafínico, mixto, etc.) y varia con de la temperatura, presión y velocidad de la parte lubricada.

La temperatura y la presión influyen de tal manera en la viscosidad de un aceite lubricante que puede afirmarse que la totalidad de los aceites se fluidifican ante un ataque térmico y se solidifican ante un aumento en la presión ó un descenso de la temperatura; los lubricantes que menos varían con la temperatura, provienen de crudos parafínicos y los que más acusan estos cambios son de procedencia nafténicos.

Para una lubricación efectiva se ha dicho que la viscosidad debe estar de acuerdo con la velocidad, la carga y la temperatura de la carga lubricada. Una máquina que trabaja a alta velocidad, presiones bajas y temperaturas bajas, debe utilizar un lubricante con un grado bajo de viscosidad. Un aceite que es más pesado de lo necesario, introduce una fricción fluida excesiva y crea un arrastre innecesario.

Un equipo que trabaja a velocidades bajas, altas cargas y temperatura, deberá ser lubricado con aceite de alto grado de viscosidad. Un aceite que es más delgado no provee una película resistente necesaria para soportar la carga y para dar una protección adecuada a la superficie de contacto. Por todas estas razones, la viscosidad y sus pruebas juegan un papel muy importante en la determinación de las propiedades lubricantes de un aceite. Lo anterior se resume en la tabla comparativa 3.1.

TABLA 3.1 Viscosidad comparativa por los factores de carga, velocidad y temperatura

FACTOR	VISCOSIDAD	
	ACEITE DE BAJA VISCOSIDAD	ACEITE DE ALTA VISCOSIDAD
CARGA	BAJA	ALTA
VELOCIDAD	ALTA	BAJA
TEMPERATURA	BAJA	ALTA

Un incremento en la viscosidad durante el servicio, puede indicar una oxidación del aceite. Cuando la oxidación ha avanzado hasta el punto de causar un aumento sensible de la viscosidad, es señal de la apreciable deterioración del aceite.

Puede considerarse la viscosidad atendiendo únicamente al movimiento ó bien a las fuerzas que lo producen, designándose entonces, con los nombres de Viscosidad Absoluta ó Dinámica y Viscosidad Cinemática respectivamente.

La viscosidad absoluta se define como la resistencia del fluido al corte ó al movimiento; en otras palabras se describe como la fuerza que se necesita para mover una superficie plana de área unidad a la velocidad unitaria, paralelamente a un segundo plano separado a la unidad de distancia. En el sistema métrico la unidad de viscosidad se llama Poise (Dina/seg/cm²), utilizándose en la práctica el Centipoise (cp).

La viscosidad cinemática de un fluido se relaciona directamente con el tiempo que tarda en fluir a través de un viscosímetro capilar.

La viscosidad absoluta se puede determinar multiplicando la viscosidad cinemática por la densidad a la temperatura de ensayo.

La viscosidad de los aceites se mide mediante aparatos llamados "Viscosímetros", que esencialmente lo constituye un recipiente provisto de un tubito con un orificio calibrado de salida. El procedimiento para determinar la viscosidad consiste en colocar en el recipiente una cantidad determinada de aceite, a una temperatura fijada previamente, midiendo luego el tiempo que tarda en vaciarse completamente a través del mencionado orificio.

Los viscosímetros más corrientemente empleados en los distintos países son:

- a) Engler (Unidad grados Engler ° E) en vigor en toda Europa excepto Inglaterra; éste resulta de la relación ó cociente de dividir el tiempo de salida de 200 cm³ de aceite a la temperatura que se desee comprobar la viscosidad y el de igual cantidad de agua destilada a 20° C (50 – 52 seg.).
- b) Segundos Redwood (SR), utilizado en Inglaterra y corresponde al tiempo de salida de 50 cm³ de aceite.
- c) Segundos Saybolt Universal (SSU), se emplea en E.E.U.U y es correspondiente al tiempo de salida de 60 cm³ de aceite.

Las temperaturas de referencia de los Saybolt y Redwood, suelen ser de 38,54 y 99° C.

3.4.1.2.- Índice de viscosidad.

Los líquidos tienen la tendencia de adelgazarse cuando son calentados y a espesar cuando son enfriados. Sin embargo, esta relación, de la viscosidad con la temperatura, cambia en una u otra porción dependiendo del líquido.

La propiedad de resistir cambios en la viscosidad con los cambios de temperatura es expresado con el índice de viscosidad (I.V.). Entre mayor sea el I.V., menor es el cambio de viscosidad con la temperatura.

Los aceites lubricantes están expuestos a un amplio rango de temperatura durante el tiempo de servicio. A altas temperaturas la viscosidad de un aceite puede bajar hasta puntos donde se rompa la película de lubricación, dando como resultado el contacto metal-metal ocasionando un desgaste severo.

En caso contrario, el aceite puede volverse demasiado viscoso para una adecuada circulación ó puede generar fuerzas tan grandes que impidan el funcionamiento adecuado de la máquina. Por consiguiente muchas aplicaciones requieren un aceite de alto índice de viscosidad.

Por ejemplo, los aceites de cárter de automóvil no deben ser muy espesos a bajas temperaturas de encendido, impartándole una carga excesiva por el movimiento del motor. Después que el aceite haya alcanzado la temperatura de operación, éste no debe adelgazar a tal punto que cause gran consumo ó que la película de lubricación no pueda soportar cargas.

De forma similar, un aceite hidráulico en el sistema de un avión puede estar expuesto a temperaturas de 38° C ó mayores en tierra y a temperaturas por debajo de cero cuando está en vuelo. Para una correcta operación bajo estas condiciones variables, la viscosidad de un aceite hidráulico debe permanecer relativamente constante, lo cual requiere un índice de viscosidad alto.

Para hallar el índice de viscosidad, se compara la variación de viscosidad, que ha sufrido un aceite a dos temperaturas distintas y fijas, casi siempre a 38 y 99° C.

Se ha establecido una escala convencional (Dean y Davis), que va de 0 a 100 y en la que cero representa la mayor variación y cien a los más estables.

- Los aceites con I.V. entre 80 y 100, son llamados aceites de alto índice de viscosidad (Aceites H.V.I. High Viscosity Index).
- Los aceites con índices de viscosidad entre 40 y 80, son los aceites con medio índice de viscosidad (Aceites M.V.I. Media Viscosity Index).
- Los aceites con I.V. de 0 a 40 son aceites de bajo índice de viscosidad (Aceites L.V.I. Low Viscosity Index).

El significado de índice de viscosidad es de suma importancia, ya que se corre el riesgo de juzgar un aceite por su viscosidad y su color a la temperatura ambiente.

En conclusión se deduce, que cuando las temperaturas a que puede estar sujeto un lubricante durante su servicio, oscilan en amplios márgenes, el aceite debe poseer un amplio índice de viscosidad.

3.4.1.3.- Adherencia.

Se entiende por adherencia del aceite la propiedad que posee de unirse a las superficies metálicas a lubricar, debido a gran medida a las moléculas polares que contiene, es una propiedad de acción física, aunque siempre es de interés, tiene su máximo exponente en la lubricación de motores de combustión interna y de cojinetes sometidos a frecuentes paros, ya que en este último debe considerarse de que bien un árbol que gira en su cojinete trabaja normalmente en régimen de lubricación hidrodinámica, durante el arranque hay un breve período de tiempo en el cual el eje se apoya en el cojinete. En tales condiciones, la película de aceite debe ofrecer una gran resistencia a ser rechazada por la gran presión a que es sometida, misión que es encomendada en gran parte a las moléculas de elevada polaridad (valor de adherencia).

La adherencia es, juntamente con la viscosidad, la propiedad que más directamente expresa el valor lubricante de un aceite mineral.

3.4.1.4.- Densidad.

La densidad es la relación existente entre el peso de un volumen determinado de una sustancia y el del agua destilada a 40^o C. La densidad así definida coincide con el valor numérico con el peso específico.

En los aceites lubricantes esta relación es inferior a la unidad (0.855-0.934), lo cual nos indica que son menos pesadas que el agua, razón por la cual flotan en ella. La densidad de los aceites se mide a la temperatura de 15.6^o C y en otros casos 20^o C.

Aunque existe la creencia todavía de que los aceites cuando sean más ligeros, son mejores, estudios y experiencias en trabajos han demostrado que esta propiedad no tiene otra utilidad que la de facilitar la identificación de la procedencia del aceite lubricante.

3.4.1.3.- Punto de fluidez y congelación.

El punto de fluidez es aquella constante que indica cual es la mínima temperatura a la que fluye el aceite por los circuitos de lubricación. Si después de sobrepasar el aceite el momento de la temperatura que determina el punto de fluidez y continúa enfriándose, casi inmediatamente se produce la congelación.

Los puntos más bajos de fluidez y congelación lo presentan los aceites nafténicos, siguiendo los mixtos y parafínicos y dentro de cada uno de ellos, cuanto más fluidos (menor grado SAE) mayor punto de fluidez tendrán.

3.4.1.6.- Punto de Inflamación.

El punto de inflamación por algunos llamado "punto de chispa" de un aceite lo determina la temperatura mínima a la cual los vapores desprendidos se inflaman en presencia de una llama ó chispa, que salta de un modo casi continuo.

Se comprenderá fácilmente que el punto de inflamación tiene una importancia vital en aquellos mecanismos donde el aceite trabaja a elevadas temperaturas; por ejemplo, motores de combustión interna donde se requieren punto de inflamación superiores a 215^o C. En cambio, para lugares donde la temperatura sea la ambiental ó ligeramente superior, esta constante no tiene interés alguno, ya que todos los aceites superan dicha temperatura.

3.4.1.7.- Punto de combustión.

Si se prosigue calentando el aceite, al llegar a una temperatura de 20^oC ó 30^oC, superior al punto de inflamación, los vapores desprendidos ya no arden momentáneamente, sino de un modo continuado; este fenómeno se conoce con el nombre de Punto de Combustión.

3.4.1.8.- Volatilidad.

La transformación de un líquido a vapor ó en gas, se denomina Volatilidad ó vaporización. Se comprenderá fácilmente que un aceite con elementos volátiles tendrá bajo punto de inflamación, debido a las emanaciones de vapores, ya que es causa de pérdida excesivas de aceites, lo que origina depósitos perjudiciales de residuos carbonosos.

3.4.1.9.- Color.

El color de un aceite es un dato que tiene su máxima utilidad cuando son puros sin aditivos y sirve para indicar la base de su procedencia. Los aceites extremadamente oscuros ó turbios indican una defectuosa ó deficitaria purificación ó depuración.

3.4.1.10.-Acidez y alcalinidad.

Acidez es un porcentaje de ácidos libres que un aceite contiene. La acción de estos ácidos son siempre perjudiciales, tanto para el lubricante como para los metales con los que entran en contacto.

Una de las maneras de definir la acidez ó alcalinidad de una sustancia, es por la escala de los pH, que va numerada desde 0 hasta 14.14; en esta escala hay un punto intermedio de 7.07 que corresponde al agua destilada ó sea el Neutro.

De este punto neutro hacia abajo se encuentran los ácidos (a menor número de pH, más concentración ácida) y los pH superiores indican los alcalinos (a mayor número de pH, más elevada alcalinidad).

Sustancias de un pH de 0.5 son los ácidos enérgicos (sulfúrico, nítrico, clorhídrico, fosfórico y fluorhídrico) purísimos ó a las máximas concentraciones obtenibles. Sustancias de un pH de 13.5 ó 14 son soluciones alcalinas del estilo de la sosa ó potasa cáustica, a las máximas concentraciones posibles.

El llamado papel de tornasol se colorea de distintas tonalidades, que van del azul al rojo, pasando por el amarillo, según el grado de alcalinidad, acidez o neutralidad de la sustancia ensayada. Un dato exacto científico con el que se da la acidez de los aceites, es el Índice de Acidez.

3.4.1.11.- Índice de Acidez

Entiéndese por número ó índice de acidez el número de miligramos de potasa cáustica (KOH) necesarias para neutralizar la acidez libre de un gramo de grasa de aceite.

3.4.1.12.-Porcentajes de cenizas.

Las impurezas (ceniza y azufre) siempre son indeseables en los aceites. En la mayor parte de los casos, proceden de los álcalis, utilizados en la refinación y que no fueron después eliminados completamente ó bien provienen de desprendimientos de impurezas y costras de los conductos por los que atraviesa el aceite durante su ciclo de lubricación.

Los aceites con porcentajes de ceniza superiores a un 0.02 % no son recomendables para lugares finamente ajustados y revolucionados.

3.4.1.13.-Porcentaje de carbón.

Este ensayo se realiza para averiguar la tendencia a la formación de carbón en los aceites, que en su ciclo de lubricación, deben pasar por lugares que por su alta temperatura tienden a quemarse. Los porcentajes de carbón admisibles en los aceites lubricantes para cualquier aplicación son de 0.1 hasta 0.9 %.

3.4.1.14.-Oxidación.

La oxidación de los aceites lubricantes es un proceso común a todas las temperaturas, aunque es tan lenta é imposible de medirla a bajas temperaturas.

Las manifestaciones y efectos nocivos de la oxidación en los aceites lubricantes son:

- a) Producción de ácidos orgánicos (ácidos débiles).
- b) Producción de sedimentos insolubles en el aceite.
- c) Aumento de viscosidad.

Con cada aumento de la temperatura de 8.3°C la rapidez de oxidación se dobla. Hasta 54.4 y 65.5°C es apreciable y tiene mayor importancia por encima de 65.5°C . La tabla 3.2 muestra el efecto de la temperatura sobre la vida efectiva del aceite. El aumento de la viscosidad de los aceites es efecto de la oxidación.

TABLA 3.2 EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA VIDA EFECTIVA DEL ACEITE

TEMPERATURA DEL ACEITE [$^{\circ}\text{C}$]	VIDA DEL ACEITE EN HORAS
150	50 (2 días)
125	200
110	800
95	3200
77	12000
60	51200 (6 años)

Partículas de metales especialmente de cobre y de hierro tienden a acelerar la rapidez de oxidación.

Por los efectos de la oxidación en los aceites es importante determinar si tiene una resistencia adecuada contra la oxidación y para ello es necesario elaborar una prueba de laboratorio.

3.5.- LAS GRASAS LUBRICANTES.

La American Society For Testing Materials (Sociedad Americana para Pruebas de Materiales) define una grasa lubricante como "La combinación de un producto derivado del petróleo y un jabón ó mezcla de jabones apropiados para ciertas aplicaciones de lubricación".

Según la definición anterior se observa que la grasa es una dispersión coloidal (fina) de un jabón metálico en un aceite mineral. El jabón es obtenido por la reacción de un ácido graso (ácido esteárico, oleico, etc.) sobre una base (sodio, calcio, aluminio, litio, etc.). Esta reacción química se llama Saponificación.

El uso fundamental de las grasas se da en los casos en que la lubricación por película fluida no es posible ó no es práctica a causa de un funcionamiento con baja velocidad ó carga bastante elevada. Las grasas son extensamente empleadas como lubricantes de cojinetes, a pesar de que la lubricación por capa gruesa es posible con grasa, normalmente no es utilizada, ya que se requiere un sistema de bombeo complicado para el suministro constante de la grasa.

3.5.1.- Clasificación de las grasas.

Las grasas se clasifican en primer término de acuerdo con la naturaleza del jabón y en segundo término de acuerdo con su consistencia. Estas dos características permiten la identificación de las grasas, pero no constituyen un criterio de calidad.

Las grasas se fabrican generalmente a base de un solo jabón (calcio, sodio, litio, bario), raramente a base de dos jabones (calcio – sodio por ejemplo).

a) Grasas de jabón de calcio (Ca).

Son insolubles en el agua y contienen una pequeña cantidad de ella que forma la fusión entre el aceite de base y el agente espesador ó jabón. Las grasas de Calcio deben operar a bajas temperaturas y velocidades mayores que no eleven demasiado la temperatura y así no se vaya a evaporar el agua que puede emulsionar la grasa separándola del jabón.

- b) Grasas de jabón de Sodio (Na).
Son solubles en el agua pero pueden utilizarse a altas temperaturas, alcanzando algunas veces más de 160°C. Tienen excelentes características anticorrosivas.
- c) Grasas de jabón de Litio (Li).
Se produce bajo la denominación de grasas de uso múltiple. Su resistencia al agua y a la corrosión es óptima y puede usarse hasta una temperatura de 120°C.
- d) Grasas mixtas de Calcio y Sodio.
Tienen propiedades intermedias de ambos tipos de grasas. Buena resistencia al agua, buenas características anticorrosivas, resistencia moderada a altas temperaturas, hasta 110°C y son de uso múltiple.
- e) Grasa de Bentonita.
Se caracterizan por tener un espesador inorgánico, la Bentonita, que es un tipo de arcilla. Este espesador no puede llegar a ser soluble en el lubricante y no da punto de goteo. En ciertos casos se les incorpora Grafito, para la fabricación de ciertas piezas, tales como prensa estopas de bomba de agua, cojinetes sumergidos en el agua, resortes expuestos a la intemperie, etc. El grafito, lubricante natural sólido, permanece sobre superficies donde la grasa no puede permanecer por largo tiempo.

Otras veces se les incorpora Bitumen ó Latex para impartir propiedades de adhesividad, aditivos de extrema presión (E.P) para dar resistencia a las cargas y choques; Bisulfuro de Molibdeno, en el cual la grasa actúa como agente transportador de este compuesto, a fin de lubricar mecanismos de difícil acceso y que funcionan a temperaturas elevadas en donde la grasa es destruida y permanece únicamente el Bisulfuro de Molibdeno y por último agregado se pueden mencionar los productos de relleno (Sulfato de calcio, talco), los que se agregan en algunos casos para rebajar el costo de la lubricación de maquinaria ordinaria.

La National Lubrication Grease Institute of América, ha establecido una clasificación para las grasas basada en la medida de la consistencia de la misma (ver tabla 3.3).

La consistencia de una grasa varía con el contenido de jabón (al aumentar el jabón se obtiene grasas más duras).

TABLA 3.3 GRADO DE CONSISTENCIA DE ACUERDO A NLGI Y SU CORRESPONDIENTE GRADO DE PENETRACION, SEGÚN ASTM.

CLASIFICACION NLGI	GRADO DE CONSISTENCIA	PENETRACIÓN ASTM (25 °C)
000	Muy fluida	445 - 475
00	Fluida	400 - 430
0	Semifluida	355 - 385
1	Muy blanda	310 - 340
2	Blanda	265 - 295
3	Semipastosa	220 - 250
4	Pastosa	175 - 205
5	Muy pastosa	130 - 160
6	Maciza	85 - 115

Las grasas de un mismo número tienen consistencia semejantes. Las grasas industriales se numeran siguiendo la clasificación NLGI. Por ejemplo:

Grasa Shell albania 2. Multifak – EP2

Esto significa que está grasa, según tabla 3.3 tiene una puntuación ASTM entre 265 – 295.

Las grasas para automóviles no se identifican usando la clasificación NLGI. En cambio se utilizan letras después del nombre en vez de números.

En resumen, la consistencia de la grasa se determina mediante la cantidad de espesante presente. Además es de mencionar que una grasa sea dura no significa que tenga un punto de fusión alto, ya que es posible tener grasas suaves con punto de fusión alto.

La consistencia de la grasa forma un sello, conservando el lubricante dentro y las materias extrañas fuera.

3.6.- LUBRICANTES SINTÉTICOS.

Los lubricantes sintéticos, se preparan mediante la composición (o mezcla) de fluidos básicos sintetizados químicamente con aditivos convencionales de lubricación. Para algunas aplicaciones los fluidos de base sintetizados se usan netos sin aditivos.

Las razones principales para el empleo creciente de los lubricantes sintéticos son su capacidad para:

- Trabajar donde los lubricantes convencionales no lo hacen.
- Cumplir con ciertas especificaciones y reglamentos (de seguridad y ambientales).
- Proporcionas mejores costos reales, incluyendo ahorros de energía.

Las propiedades de los lubricantes sintéticos dependen de los materiales iniciales y del proceso que se utilice para su combinación, así se tiene, que puede obtenerse un lubricante sintético de características superiores a los lubricantes extraídos del petróleo.

Los lubricantes sintéticos pueden elaborarse con propiedades ventajosas, como son:

- La mezclabilidad con agua
- Resistencia al incendio.
- Baja volatilidad en relación con la viscosidad.
- Alto índice de viscosidad.

Estas propiedades especiales hacen que se pueda aplicar donde los aceites lubricantes extraídos del petróleo no tienen buen desempeño.

La principal ventaja de los lubricantes sintéticos sobre los aceites lubricantes es el extenso rango de temperaturas de servicio. Sus características sobresalientes de flujo a baja temperatura su estabilidad a altas temperaturas marcan el uso preferido de estos lubricantes.

La escala comparativa de temperaturas operacionales de aceites minerales y lubricantes sintéticos se establecen en la fig. 3.1.

3.7.- LUBRICANTES DE PELÍCULA SÓLIDA.

El desarrollo de varios lubricantes sólidos, fue motivado por la necesidad de disponer de lubricantes efectivos a altas temperaturas. Estos lubricantes se describen como materiales sólidos de baja resistencia al corte, lo que permite deslizar más fácilmente que el material del cojinete y así facilitar el movimiento rotativo. De aquí que su función en un cojinete de bronce es el actuar como una materia intermedia entre las superficies en deslizamiento.

ACEITE MINERAL Y LUBRICANTES SINTÉTICOS LÍMITES COMPARATIVOS DE TEMPERATURA

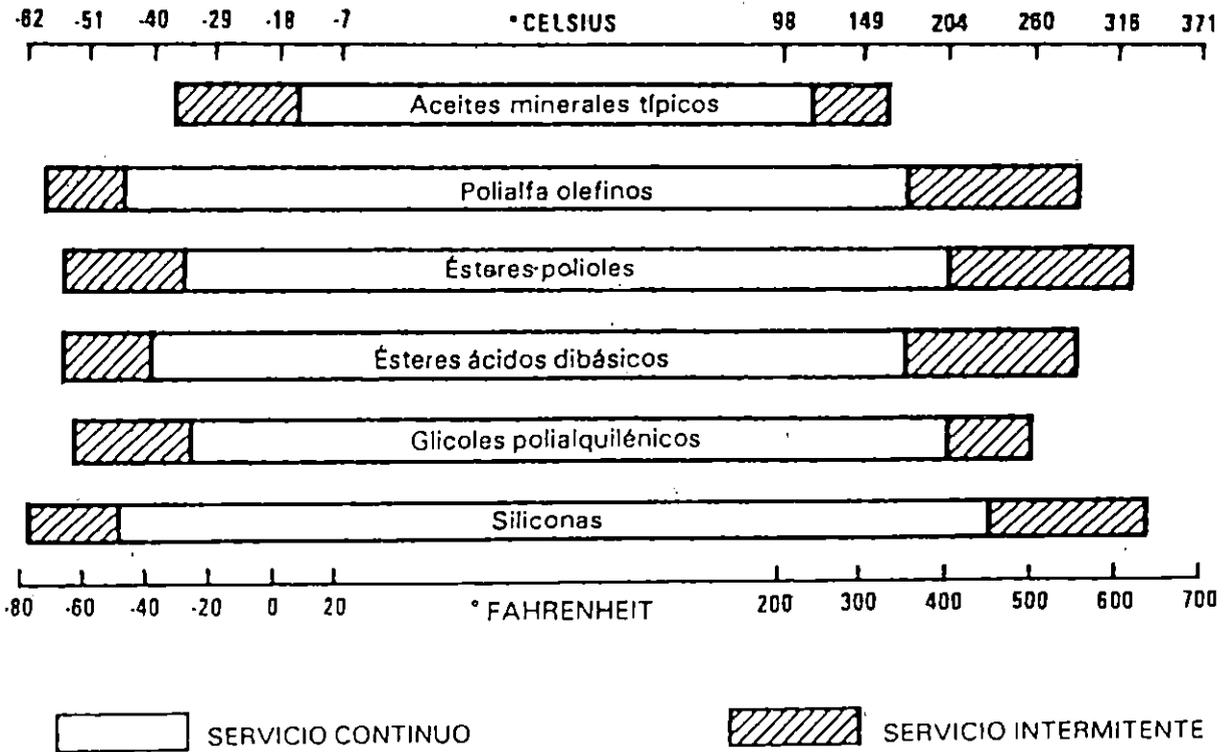


FIGURA 3.1 Aceite mineral y lubricantes sintéticos. Límites comparativos de temperatura

En tanto que el lubricante sólido permanece entre las superficies en movimiento, se tiene una lubricación efectiva y el rozamiento, el desgaste y la transferencia del calor del metal de un elemento deslizante al otro, se reduce a un nivel aceptable; sin embargo, se produce un deterioro notable cuando la temperatura de funcionamiento de la película límite se aproxima al punto de fusión de la capa sólida. EL efecto final de una temperatura tan alta es igual que el de contacto metal con metal sin el beneficio del lubricante. Estos cambios son debidos al estado físico del lubricante y se invierten cuando se produce el enfriamiento.

Para proporcionar una lubricación por película seca en condiciones de carga elevada, baja velocidad ó carga oscilante, se emplean sólidos tales como grafito, bisulfuro de molibdeno, politetra fluoretileno, plomo, metal, anfotrión, plata ú óxidos metálicos. A pesar de que la mayoría se emplean en conjunción de lubricantes fluidos ó de grasas, a menudo se aplican como lubricantes básicos ó únicos en los casos que sus limitaciones intrínsecas sean aceptables.

Si bien estos materiales no proporcionan el bajo coeficiente de rozamiento propios de la lubricación fluida, tienen unos coeficientes del orden de 0.4 a 0.02, dependiendo del método de aplicación y del material contra el que rozan. EL politetra fluoretilino, en atmósferas normales y después de haber establecido una película sobre ambas superficies ha mostrado un coeficiente de rozamiento por debajo de 0.02. Sin embargo, si esté material está sujeto a una fluencia en frío debe ser soportado por un relleno ó en una matriz a fin de seguir en funcionamiento, dado que hoy en día puede ser adherido en hojas delgadas y a menudo se suministra con un fino soporte de fibra de vidrio, es utilizado en instalaciones en las que la velocidad y la carga no se combinan para reblandecer el adhesivo ú ocasionan que el producto desaparezca por sublimación.

En todas las aplicaciones de lubricantes de película sólida, las prestaciones de la película vienen limitadas por el cuidado y la preparación de las superficies en que deben aplicarse. Si no pueden adherirse adecuadamente, no pueden funcionar, desprendiéndose en escamas y a menudo, apelmazándose en componentes flexibles. El mejor consejo es solicitar la asistencia técnica de aplicaciones del proveedor y establecer un estricto control de la preparación de la superficie y del proceso de aplicación de la película sólida.

Debe hacerse notar que las funciones de un buen lubricante de película sólida no evitan la necesidad de un buen acabado superficial, es decir, que el lubricante no sustituye las superficies de los elementos de contacto.

3.8.- LOS ADITIVOS LUBRICANTES.

Además de los conocimientos de las características básicas de los lubricantes derivados del petróleo, es necesario considerar las condiciones de operación en las que actúen y su comportamiento relacionado con la presencia de aditivos.

Han surgido cambios drásticos en los diseños, construcción y operación de maquinaria, durante los últimos años y ante estos cambios, se ha exigido la fabricación de compuestos químicos que se puedan agregar a un lubricante con el propósito de impartirles nuevas propiedades ó de realzar aquellas cualidades que el citado lubricante posee. A estos productos se les ha dado el nombre de aditivos.

Ante las circunstancias actuales en donde la maquinaria moderna se fabrica con precisión, la producción exige la velocidad y cargas elevadas, situación que provoca temperaturas de trabajo más altas. Los engranajes han sido encerrados en cajas para permitir el uso de aceites especiales de mayor fluidez y aptos para resistir presiones extremadamente altas, chumaceras con cojinete de bolas y rodillos han sido construidas con tal precisión, que pueden girar a velocidades superiores a los 100,000 rpm, operando a temperaturas entre los límites de $-59,4$ a $204,4^{\circ}\text{C}$; los sellos de las chumaceras y cojinetes han sido mejorados hasta el extremo de considerar la lubricación de por vida y los materiales sintéticos han entrado también en franca competencia con los metales, todo esto ha exigido que los programas de mantenimientos sean ajustados a estos requisitos para una operación continua, frecuentemente durante las 24 horas diarias.

Toda esta operación depende de la lubricación. Los aditivos se han convertido en elementos importantes, porque los aceites puramente minerales y las grasas convencionales ya no son capaces de soportar por sí todas las nuevas condiciones impuestas. En consecuencia, el ingeniero de mantenimiento tiene que conocer la forma en que puede ser reforzado los lubricantes modernos para darles la estabilidad de operación requerida.

3.8.1.- Aditivos para aceites lubricantes.

Normalmente los aditivos no son estables en todos los rangos de temperatura y de regímenes de deslizamiento entre capas que se consideran aceptables para la aplicación del aceite de base original. Por este motivo, los aceites con aditivos deben ser observados cuidadosamente

para asegurar que no continúen utilizándose después que sus principales características han disminuido ó se han agotado.

3.8.1.1.- Aditivos detergentes dispersantes.

La función de estos productos, a parte de reducir, y controlar la degradación, es evitar la formación de productos que de otro modo se depositarían en las piezas en funcionamiento. Por otro lado, estos materiales aditivos hacen que el aceite arrastre una cantidad mayor de lo normal de productos de descomposición ó de formación de espuma cuando se han agotado ó degenerado por acción térmica ó contaminante. En este último caso, la absorción de agua por condensación ó procedente de fugas puede ser causa de efectos altamente perjudiciales.

3.8.1.2.- Mejoradores del índice de viscosidad.

Sirven para modificar el aceite, de modo que su variación de viscosidad se reduzca en el intervalo de temperatura de servicio. Estos materiales se pueden emplear tanto para mejorar un aceite ligero como uno pesado; sin embargo, el aceite tiende a volver a su estado natural cuando el aditivo se ha agotado ó degradado debido a la exposición a altas temperaturas.

En instalaciones de servicios severo, suele ser más conveniente elegir un aceite refinado más pesado ó más ligero (y que generalmente es más costoso) que confiar en un producto mejorador del índice de viscosidad menos estable.

3.8.1.3.- Productos depresores del punto de fluidez.

Se agregan a los aceites lubricantes para capacitarlos en mantener su fluidez a temperaturas más bajas de los que podrían fluir con el aceite base únicamente. Estos aditivos retardan ó cambian la acción tendiente a la formación de cristales de cera a temperaturas bajas, de manera que no interfieran con la fluidez del aceite.

3.8.1.4.- Antioxidantes.

Los aditivos Antioxidantes, llamados con frecuencia inhibidores, son usados ampliamente para reforzar las características de los aceites para turbinas de vapor, los aceites hidráulicos y los que se emplean en sistemas circulatorios, así como también en las grasas para cojinetes de bolas y

rodillos, con el fin de impedir la oxidación si existen condiciones oxidantes en el correspondiente sistema. La oxidación de los lubricantes es un asunto que compete directamente al ingeniero de mantenimiento porque las impurezas resultantes, tales como gomas o glicoles, todos dan origen a reparaciones costosas de la maquinaria y a la minuciosa limpieza de los elementos de sus mecanismos de trabajo.

3.8.1.5.- Aditivos anticorrosivos y preventivos contra herrumbre.

Estos aditivos son sumamente útiles, especialmente si se agregan a los aceites circulantes y a ciertos tipos de grasas. Ellos retardan la corrosión del metal y su enmohecimiento cuando las superficies están expuestas al aire húmedo ó al contacto con el agua. Prácticamente en cualquier caja que encierra un mecanismo se producen condensaciones como resultado de la ventilación (respiración). A mayor grado de humedad y los límites del cambio de temperatura, mayor es el contenido de agua y condensación resultante.

Los lubricantes ordinarios ejercen cierto grado de adherencia capilar sobre las superficies metálicas, pero esta película protectora no es capaz de sostenerse si hay demasiada humedad, ya que se ve desplazada por el agua, especialmente en mecanismos que trabajan en vacío. Consecuentemente los fabricantes de aceites añaden anticorrosivos a fin de aumentar la capacidad adherente de aceite y neutralizar al mismo tiempo la acidez.

3.8.1.6.- Aditivos para presión extrema.

Estos aditivos son conocidos ampliamente, lo cual se debe a su estrecha relación con los engranajes hipoidales automotrices. El aditivo para presiones extremas es un compuesto químico que aumenta la capacidad de carga de la película lubricante cuando es sometido a altas fricciones y velocidades, así como a cargas pesadas en los dientes de los engranajes. Los aditivos para presión extrema (E P) reducen la fricción y el desgaste, especialmente en las altas temperaturas a las que tienen su máxima efectividad. Cuando ocurre el contacto directo del metal a metal entre los dientes de un engranaje, se produce la llamada soldadura a puntos por las extremadamente altas temperaturas que se producen en el mecanismo. Este fenómeno conduce a serios desperfectos en el juego de engranajes, que exige la intervención del servicio de mantenimiento. Con un aditivo de EP que se agrega al aceite, se interpone una película de protección suficiente entre los dientes, que se extiende con facilidad; la película de aceite resiste la fuerte fricción a velocidades altas sin ser desplazada.

3.9.- SISTEMAS DE LUBRICACION.

Un sistema eficaz de lubricación es cualquier sistema o dispositivo que dosifique el lubricante adecuado, en el punto adecuado, en la cantidad adecuada y en tiempo adecuado. Los sistemas pueden variar desde el aceitado manual hasta un sistema centralizado complejo. La escalada de costos y el desarrollo de maquinaria de precisión de alta velocidad hacen necesarios los cambios para las practicas de lubricación en las plantas.

3.9.1.- Sistemas de Pérdida Completa.

Los sistemas de lubricación de pérdida completa o de un paso (ver figura 3.2), son aquellos en los cuales el lubricante se usa una sola vez. Los sistemas de pérdida completa manuales, como los aceitados, las conexiones individuales, lubricadores de mecha, copas de aceite y aceiteras de alimentación por goteo, llegarán a ser parte de la historia. Estos sistemas son baratos de instalar pero requieren de atención estricta de parte del operador para asegurarse que cada punto sea relubricado en forma regular para lubricación adecuada.

Los sistemas de pérdida total que más se utilizan hoy son los automáticos. Ejemplos comunes son los sistemas de rocío y lubricadores de alimentación mecánica forzada. La razón de su popularidad es su capacidad para lubricar más de un punto de una máquina desde un recipiente central y dosificar automáticamente el lubricante en cantidades medidas en el punto de aplicación.

Los sistemas de rocío utilizan el aire comprimido para atomizar el aceite en finas gotitas y suministrarlas a través de tuberías hasta el punto de aplicación. Con frecuencia se emplean para lubricar cojinetes y engranajes; el aire que pasa sobre la parte ayuda al aceite a transportar el calor y evitar la entrada de suciedad.

Los lubricadores de alimentación mecánica forzada se diseñaron originalmente para suministrar aceite a cilindros, pero hoy en día no se limitan solamente a esa aplicación. Consisten en unidades pequeñas de bombeo montadas en un eje común que toman el aceite de un recipiente y lo llevan a través de tuberías a un punto de aplicación. El mecanismo impulsor puede ser un motor eléctrico o alguna parte móvil de la máquina que está siendo lubricada. Cada unidad de bombeo puede ajustarse para suministrar cantidades precisas de aceite que se requiere en el

punto particular de aplicación. Tanto el sistema de rocío como el lubricador de alimentación mecánica forzada requiere poco mantenimiento más allá de asegurarse que no hayan líneas tapadas. A continuación se describirán en forma breve algunos sistemas de pérdida completa.

3.9.1.1.- Lubricación manual.

El lubricante se aplica sobre el mecanismo con una aceitera o con una pistola engrasadora. Cuando se quiere lograr una mejor lubricación, se emplea una brocha o si se trata de lubricantes asfálticos, se utiliza una espátula.

3.9.1.2.- Sistema manual de aceite a plena pérdida.

Este sistema se utiliza principalmente en la lubricación de cojinetes lisos sometidos a velocidades medias y altas y en la lubricación de piñonería abierta. Se utiliza con mucha frecuencia en la lubricación de maquinaria textil (telares, hiladoras, cardas, peinadoras, mecheras, etc.). Consiste en una bomba de lubricación, la cual se acciona manualmente de acuerdo con la frecuencia de lubricación que se haya asignado. La viscosidad del aceite que generalmente se bombea, oscila entre un ISO 68 y un ISO 220. Los tipos de bombas son de dos clases, dependiendo de la cantidad de elementos a lubricar y de la viscosidad del aceite.

3.9.1.3.- Sistema de lubricación por mecha.

Es uno de los métodos más antiguos para aplicar aceite a cojinetes, guías, engranajes abiertos, cadenas, etc. Ofrece excelentes resultados si se utiliza correctamente.

Consiste en una mecha de lana alojada en un depósito de aceite y que por capilaridad transporta el aceite hasta el elemento que se va a lubricar; la cantidad de aceite que circula depende del diámetro y del número de mechas que se estén utilizando. La mecha, si las condiciones de producción lo permiten, se debe limpiar con cierta regularidad porque las impurezas que puede traer el aceite quedan retenidas en ella (hacen las veces de un filtro). La mejor manera de limpiarla es con el dedo índice y el pulgar, moviéndolo de extremo a extremo en sentido contrario al flujo del aceite.

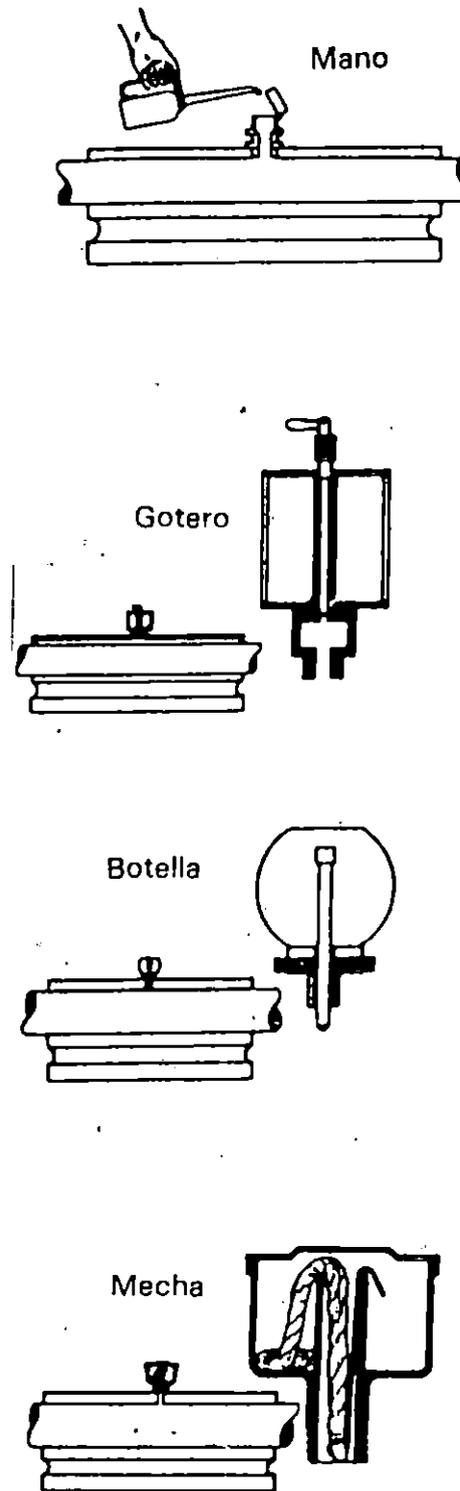


FIGURA 3.2 Sistemas de lubricación de pérdida completa

3.9.1.4.- Lubricación Gota- Gota.

Consiste en un recipiente cilíndrico transparente, con un orificio en la parte inferior terminado en una válvula de aguja, en la cual se halla alojada la punta cónica de una varilla de posición variable. La varilla en la parte superior lleva montado un cilindro roscado que, al darle vueltas en un determinado sentido, permite subirla o bajarla, regulando de esta manera el flujo de aceite. Si el cilindro roscado está en su posición máxima inferior, la punta cónica tapa completamente el orificio de la válvula de aguja y se interrumpe el goteo de aceite, y si está en su posición máxima superior, la punta cónica se separa completamente del orificio de la válvula de aguja y se presenta el máximo goteo. Una perilla ubicada en el extremo superior de la varilla permite interrumpir (posición horizontal) manualmente el flujo de aceite. Se utiliza cuando el equipo se detiene o al arrancar. En la parte inferior del lubricador hay una mirilla transparente para verificar el goteo de aceite.

3.9.1.5.- Lubricador térmico.

Consiste en un recipiente cilíndrico lleno de aceite hasta las $\frac{3}{4}$ partes de su volumen total; el espacio restante se deja para que cuando la temperatura de funcionamiento del mecanismo aumente, el aire que se encuentra allí alojado se expanda y ejerza sobre la superficie del aceite una presión suficiente para hacerlo fluir a través de la válvula de aguja situada en el fondo del depósito. Cuando la temperatura disminuye, se reduce la presión sobre la superficie del aceite y por lo tanto, el flujo de aceite hacia el elemento. El flujo se puede regular por medio de un tornillo localizado en la parte inferior del recipiente, el cual, haciéndolo girar en uno u otro sentido, aumenta o disminuye la entrada de aceite.

Este sistema de lubricación es muy poco utilizado debido a que ningún mecanismo tolera condiciones de funcionamiento; bajo condiciones de película límite, las cuales serían necesarias para que la temperatura aumente y el aceite empiece a fluir.

3.9.1.6.- Lubricación por botella.

Consiste en un depósito de aceite de vidrio o de material plástico transparente que se encuentra situado encima del cojinete; en la parte central tiene un orificio y allí se halla alojado un husillo de un diámetro un poco menor, dejando de esta manera un espacio anular, que no es suficiente

para que el aceite fluya hasta el muñón cuando éste se encuentra en reposo. El husillo está en contacto por uno de sus extremos con la superficie del muñón, permitiendo que cuando éste se pone en movimiento se produzca en él un desplazamiento de vaivén, dando lugar a una acción de bombeo sobre el aceite y obligándolo, de esta manera, a que circule por el espacio anular y que llegue hasta el muñón.

3.9.1.7.- Lubricador mecánico.

Los cilindros de fuerza y las herramientas neumáticas se lubrican con un lubricador en línea, que está constituido por un deshumidificador o filtro de aire, un regulador de presión y una unidad de lubricación. El lubricador en línea trabaja con la corriente de aire a presión, que va al cilindro, la cual, al pasar por la unidad de lubricación, succiona el aceite del depósito y lo transporta hasta el cilindro en forma de diminutas gotas o de niebla de aceite. La unidad de lubricación cuenta con un dispositivo para graduar la cantidad de aceite que se va a aplicar.

Cuando se vaya a llenar de nuevo el depósito de aceite, es necesario despresurizar la unidad de lubricación. El lubricador en línea se puede utilizar para uno o varios cilindros simultáneamente.

3.9.1.8.- Lubricador mecánico Gota – Gota

Este sistema de lubricación está constituido por una o más bombas pequeñas cuyo pistón lo mueve una leva accionada manualmente o por la misma máquina que va a lubricar al sistema. El pistón al subir y bajar succiona y descarga el aceite desde el depósito hasta los elementos que se van a lubricar, haciéndolo pasar previamente por el vaso cuentagotas. Algunos diseños de estos lubricadores son capaces de producir presiones hasta de 2000 psi y se pueden regular para alimentar desde una fracción de gota hasta varias gotas por minuto.

Este sistema se utiliza en la lubricación de los cilindros de compresores de pistón de doble efecto que trabajan en cualquier posición, en la lubricación de los cilindros de plantas Diesel estacionarias y motores marinos y en motores a gas. Para cada cilindro se emplea una unidad de bombeo constituida por uno o por varios pistones, con sus respectivos vasos cuentagotas, accionados por un eje común.

3.9.1.9.- Lubricación por rodillo.

Consiste en un rodillo plástico que se encuentra en contacto con la superficie del elemento que se va a lubricar, que por lo regular es un cojinete liso. El rodillo puede estar ubicado en la parte inferior, en cuyo caso se sumerge parcialmente en el aceite, transportándolo hasta la superficie del muñón. Un resorte empuja permanentemente hacia arriba los brazos que sostienen el rodillo, haciendo que éste siempre esté en contacto con el muñón. Si el rodillo está ubicado en la parte superior, el contacto se realiza por el propio peso del rodillo y el aceite proviene de un lubricador gota – gota, que lo dispersa sobre la superficie del rodillo, el cual a su vez lo distribuye sobre la del muñón.

3.9.1.10.- Lubricación de copa.

Consiste en una tapa atornillable que se llena completamente de grasa y se va dosificando de acuerdo con el número de vueltas que se le dé a la tapa; la capacidad de estos recipientes es muy pequeña; generalmente permiten de cuatro a cinco vueltas para que el recipiente quede vacío.

Este método se emplea poco en la actualidad, debido a que en un momento dado puede ocasionar problemas de lubricación por una mala dosificación en la cantidad de grasa aplicada; además, la grasa se puede contaminar al colocarla en la copa. Generalmente, este método de lubricación se encuentra en maquinaria muy antigua y se puede reemplazar por una grasera común.

3.9.1.11.- Lubricador por resorte de presión.

Está constituido por un depósito transparente de policarbonato en el cual se encuentra alojado un émbolo que es accionado por un resorte de presión. En la parte inferior se encuentra una boquilla por la que sale el aceite que lubrica el rodamiento. El lubricador queda vacío cuando el pistón vuelve visible en la parte inferior de la unidad, que es de plástico transparente.

Estos lubricadores son desechables, lo que limita su empleo solamente para aquellos rodamientos cuyas frecuencias de lubricación son inferiores a un mes o que funcionan en sitios de difícil acceso.

La primera vez que se instale la unidad lubricadora es necesario llenar previamente con grasa todos los accesorios y tuberías. Estos lubricadores requieren de 24 horas para desarrollar su presión de funcionamiento; por lo tanto, en aquellas aplicaciones que necesitan una lubricación absolutamente ininterrumpida. Las unidades se deben activar antes de su instalación.

Para garantizar una lubricación óptima, el lubricador se debe instalar lo más cerca posible del punto a lubricar. Si una aplicación necesita una cantidad constante de grasa. Se debe tener cuidado con el uso de estas unidades, puesto que la cantidad de grasa que las mismas generan disminuye ligeramente cuando se está agotando el suministro.

3.9.1.12.- Lubricación por "SPRAY".

Consiste en aplicar manualmente un lubricante por niebla. Se utiliza principalmente para lubricantes de película sólida, como el grafito o el bisulfuro de molibdeno que se mezclan con un solvente para facilitar su aplicación. Este sistema permite formar una película de lubricante uniforme a la vez que disminuye el desperdicio de lubricante.

3.9.1.13.- Pulverizador de aceite con resorte.

En los sistemas de lubricación por salpique los rodamientos se protegen de la sobrelubricación por medio de discos reflectores montados al lado de cada rodamiento hacia la parte inferior del depósito de aceite. El disco reflector se puede aprovechar para instalar un pulverizador de aceite con resorte que garantiza un suministro constante de aceite hacia el rodamiento, aun cuando el nivel de aceite en el depósito descienda por debajo del mínimo permisible.

3.9.1.14.- Sistema automático de lubricación por niebla de aceite.

Se utiliza con mucha frecuencia en la actualidad, debido a su reducido costo de operación, bajo consumo de lubricante al aplicar la cantidad correcta en el punto adecuado y prolonga la vida útil de los mecanismos lubricados.

Un alto porcentaje de la maquinaria moderna, que está compuesta por un elevado número de elementos a lubricar, viene incorporada con este tipo de equipos. Si no es así, se les pueden aplicar, calculándolos previamente.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Consiste en una corriente de aire comprimido que al pasar por un tubo de succión (tubo venturi), absorbe una cierta cantidad de aceite de un depósito y lo transporta bajo condiciones de flujo laminar en forma de pequeñas gotas de 1 a 3 μm , conformando una niebla. A la salida del tubo venturi hay una lámina deflectora que hace que las gotas de mayor tamaño choquen contra ella y regresen de nuevo al depósito. Una vez que la niebla de aire – aceite llega al elemento que se va a lubricar, las condiciones de flujo cambian de laminar a turbulento y las finas gotas de aceite se agrupan en otras de mayor tamaño proveyendo la lubricación necesaria. La velocidad del flujo aire – aceite es baja (por lo regular de 24 pies/ s) y el aceite no se deposita hasta que la niebla entra en contacto con los elementos a lubricar.

El flujo de aire no es continuo, sino intermitente, y es regulado por una válvula solenoide normalmente cerrada y accionada por tiempo, que la abre y la cierra de acuerdo con una frecuencia establecida. En este sistema, el aceite es atomizado a baja presión y transportado hasta distancias relativamente grandes, a través de tuberías pequeñas.

VENTAJAS DE UN SISTEMA DE NIEBLA DE ACEITE

Las más importantes son:

- Se pueden emplear para lubricar cualquier mecanismo.
- Se pueden aplicar aceites comprendidos dentro de una amplia gama de viscosidades, inclusive hasta de un grado ISO 1500.
- Incrementa la vida de los mecanismos que lubrica hasta en un 90%.
- El consumo de aceite es mínimo, en proporción hasta de 5:1 con respecto a otros sistemas tradicionales, debido a que aplican la cantidad correcta.
- Son totalmente automáticos y por no poseer partes en movimiento no presentan desgaste, de tal manera que su vida es prácticamente indefinida.
- Disminución en los costos por mano de obra, porque un mismo equipo puede lubricar varios mecanismos simultáneamente, además, la posibilidad de que se presenten accidentes de trabajo prácticamente desaparece.
- No existe la posibilidad de que el producto que se está fabricando se ensucie con el lubricante, reduciéndose de esta manera los productos de segunda o inservibles, que afectan la productividad de cualquier tipo de industria.

- La corriente de aire origina un efecto refrigerante sobre los elementos que lubrica, al mismo tiempo que impide la entrada de contaminantes desde el exterior y evacua los que hayan podido entrar.
- El montaje y mantenimiento de estos equipos es sencillo y no requiere mano de obra especializada.

LIMITACIONES DE UN SISTEMA POR NIEBLA DE ACEITE

Estos sistemas, a pesar de sus innumerables ventajas, presentan algunas limitaciones, las cuales es necesario analizar antes de su adquisición. Las más importantes son:

- Únicamente se utilizan para aplicar aceites; sin embargo, cuando un mecanismo se lubrica con grasa, se puede analizar la posibilidad de poderlo lubricar con aceite. Esto en la mayoría de los casos es factible hacerlo.
- Para aplicar el aceite es necesario disponer de una corriente de aire a presión; por consiguiente, se debe contar con un compresor.
- El aceite es a plena pérdida, es decir, una vez que se aplica no se vuelve a recuperar.

3.9.2.- Sistemas de recipiente de aceite.

A diferencia de los sistemas de pérdida completa, los sistemas con recipiente de aceite o autocontenidos vuelven a utilizar el aceite una y otra vez. Estos métodos dependen de un alojamiento común que contiene el aceite necesario para las partes que se van a lubricar (Fig. 3-3)

Los cilindros y engranajes lubricados por estos métodos dependen casi siempre de la acción de salpicado de una o más partes móviles que penetran en el charco de aceite en el fondo del alojamiento.

Los cojinetes lubricados por los sistemas autocontenidos pueden lubricarse por salpicado o depender de un anillo, cadena o collar que penetra en el aceite y la transporta a la parte superior del muñon. Los collares de cojinete se usan a velocidades más altas que los anillos o cadenas ya que los últimos tienden a deslizarse excesivamente a altas velocidades, con lo cual no se lubrican bien.

Para asegurar la buena lubricación es importante que el aceite se mantenga al nivel adecuado. La insuficiencia del aceite puede resultar en una falta de lubricación, en tanto que el llenado excesivo puede causar espuma y acumulaciones de temperatura debido al batido excesivo.

3.9.2.1.- Lubricación por salpique

Se emplea solamente en la lubricación de mecanismos cerrados, como en el caso de reductores, compresores de pistón de simple efecto, etc. En este caso, uno o varios de los mecanismos se sumergen parcialmente en el aceite y lo salpican hacia todas las partes internas que conforman el equipo. Este sistema de lubricación es uno de los más económicos y sencillos porque no requiere mantenimiento. Y sólo se debe tener cuidado de mantener la cantidad de aceite en el nivel correcto. Se debe recordar que un nivel bajo da lugar a fricción sólida y por consiguiente, a desgaste adhesivo y uno alto conduce a fricción fluida que, a largo plazo, se convierte en desgaste adhesivo. El visor del nivel de aceite se debe mantener limpio porque, en muchos casos, un visor sucio conlleva a errores, porque muestra un nivel incorrecto.

Con el fin de intensificar el salpique, algunos mecanismos cuentan con accesorios especiales, como discos y cucharas que se sumergen en el aceite y lo hacen fluir hasta los puntos que necesitan lubricación.

Cuando la temperatura de operación del aceite es normal, hasta 50° C, la lubricación por salpique es excelente. Es necesario que el cárter o depósito de aceite de todas las máquinas lubricadas por este método tengan tubo de ventilación, para que los vapores del aceite que se van formando salgan hacia el exterior.

La lubricación por salpique, en el caso de los engranajes, se emplea para velocidades lineales por debajo de 915 m/min. (Se tiene en cuenta el engranaje que está en contacto con el aceite). Para velocidades lineales comprendidas entre 915 – 1525 m/min, es necesario colocar internamente en la carcasa deflectores y conductos que recojan el aceite salpicado y lo lleven hasta los engranajes y rodamientos.

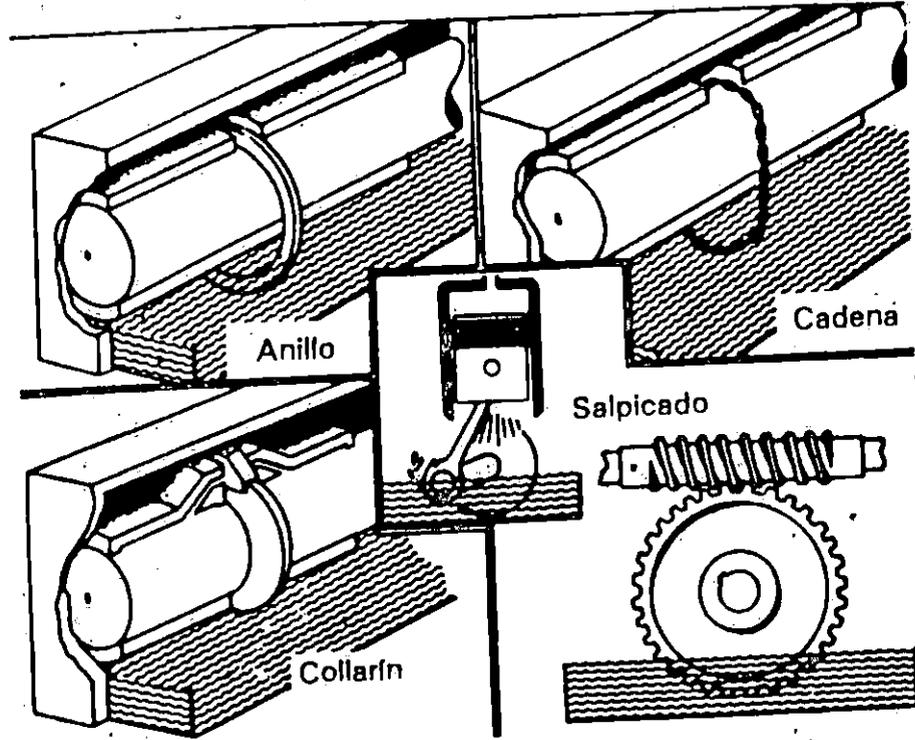


FIGURA 3.3 Sistemas de lubricación de recipiente de aceite

3.9.2.2.- Lubricación por baño.

Normalmente se utiliza cuando la velocidad del elemento encargado de salpicar el aceite es baja y no garantiza un flujo adecuado de aceite hacia los mecanismos. Este caso se presenta generalmente en cajas reductoras que trabajan a temperaturas moderadas. El sistema está constituido por una bomba que hace fluir el aceite desde el cárter hasta un depósito superior, desde donde, por una serie de conductos el aceite llega sin presión hasta los diferentes mecanismos.

La cantidad de aceite que la bomba sube hasta el depósito superior debe ser mayor que la que sale, porque de lo contrario, llegaría un momento en que el aceite dejaría de salir por alguno de los conductos, con las consecuencias ya conocidas.

3.9.2.3.- Sistema de lubricación por collar.

Consiste en un disco metálico montado rígidamente en un muñón que gira conjuntamente con él y se sumerge en el aceite, transportándolo hacia las superficies de fricción. El casquete está dividido en dos partes, entre las cuales gira el collar. En la parte superior de la envoltura del casquete hay unas rasquetas que barren completamente el aceite de la superficie del collar y lo transportan hacia el muñón. Proveen un suministro mayor de aceite que en el caso de lubricación por anillo.

Este sistema se recomienda particularmente en la lubricación de cojinetes lisos que funcionan en una amplia gama de velocidades o en los de funcionamiento intermitente, en donde las cadenas y los anillos tienden a patinar o a adherirse. El collar no forma caso espuma, debido a que el movimiento del disco en el aceite es mucho más uniforme, aumentando así el período de cambio de aceite.

3.9.2.4.- Sistema de lubricación por cadena.

Consiste en una cadena colocada sobre la superficie del muñón, el cual le transmite el movimiento. Se utiliza para cojinetes lisos, que giran a bajas velocidades. En este caso el aceite debe estar libre de gomas y de productos de la oxidación, porque estos tienden a volver rígida la

cadena, impidiendo que gire. Este sistema no se utiliza para diámetros del muñón menores a una pulgada, debido a que la cadena tiende a adherirse al muñón y a enrollarse sobre sí misma.

3.9.3.- Sistemas centralizados.

A semejanza de los sistemas con recipiente de aceite, los sistemas centralizados emplean el aceite una y otra vez. Pueden variar desde un simple arreglo de recipiente, bomba y línea de retorno hasta sistemas complejos con controles electrónicos, servo válvulas, bombas, intercambiadores de calor y filtros.

Dependiendo de la complejidad del sistema, los costos varían mucho. La flexibilidad de costo de un sistema centralizado depende en gran medida de la duración del tiempo en que el fluido pueda permanecer en circulación antes de que necesite cambiarse.

Para asegurar la vida máxima del fluido, se deben controlar las temperaturas del recipiente de aceite lo mismo que la cantidad de contaminantes en el aceite. Si se emplea aceites de petróleo, la temperatura del recipiente debe mantenerse entre 43 y 54 °C para una vida óptima del fluido.

Es el sistema por circulación es el más adecuado para lograr una óptima lubricación porque permite formar una película lubricante de mejores características y mantiene las piezas refrigeradas. En un sistema circulatorio el aceite hace las veces del lubricante y de refrigerante. El flujo de aceite que lubrica los mecanismos arrastra hasta el depósito de aceite el calor generado y desde allí, por radiación y convección, lo transmite al medio circundante, o se hace pasar a través de un intercambiador de calor, de acuerdo con el incremento en la temperatura. Si este calor generado no se evacúa, puede causar el fallo de los elementos lubricados en poco tiempo. En el caso de la lubricación de engranajes, este sistema se utiliza para velocidades lineales en el círculo de paso entre 1.525 y 2.135 m/min. (Se toma como referencia el par de engranajes de menor velocidad lineal).

Los sistemas de lubricación por circulación pueden ser:

1.- POR GRAVEDAD

Consiste en un depósito de aceite colocado a cierta altura y desde el cual fluye el aceite por gravedad hasta cada elemento que se va a lubricar. Una bomba sube el aceite hasta el depósito. Este cuenta con señales auditivas o visuales que indican cuando es necesario volver a llenar el tanque. Este es un sistema que se emplea con mucha frecuencia en salas de compresores cuando se necesita llenar automáticamente los depósitos de aceite de los vasos lubricadores utilizados para lubricar los cilindros de compresores alternativos de doble efecto. Es un sistema muy sencillo que sólo requiere de válvulas de globo a la entrada de cada elemento, para aplicar el aceite cuando se requiera. También se utiliza en la lubricación de turbocompresores y turbogeneradores con un sistema de lubricación auxiliar que entra a funcionar cuando el sistema principal falla.

El sistema puede ser a plena pérdida o circulatorio, en cuyo caso el aceite, después de lubricar regresa a un depósito desde donde, por medio de una bomba con capacidad mayor que el caudal de aceite que llega al equipo, se sube nuevamente al depósito superior. En este caso, la presión del aceite depende completamente de la elevación que tenga del depósito superior.

2.- POR PRESION

Es un sistema que muestra buenos beneficios cuando se requiere que el aceite, además de lubricar, refrigere el mecanismo. Básicamente está constituido por un depósito de aceite, una bomba de circulación, que hace fluir el aceite desde el depósito hasta los elementos que se van a lubricar, un enfriador y un filtro de aceite, un regulador de flujo que permite devolver al depósito el aceite que no se requiere para la lubricación del equipo, una red de tuberías, boquillas para atomización del aceite, la tubería de retorno y una válvula de seguridad. Por lo regular, se utiliza una serie de accesorios, como manómetros e indicadores de temperatura para controlar las condiciones de flujo.

Estos sistemas de circulación por presión pueden ser relativamente sencillos o bastantes complejos, dependiendo del equipo que se vaya a lubricar. En máquinas de alta capacidad (corrugadores, turbocompresores, turbogeneradores, etc.), que emplean grandes cantidades de aceite, se utilizan válvulas de diafragma para control de presión, reguladores de alto y bajo nivel de aceite en el depósito, controladores de temperatura, etc.

Las ventajas más importantes de un sistema circulatorio por presión son:

- Provee la cantidad de aceite suficiente para lubricar y refrigerar.
- Evacúa el polvo y otras sustancias contaminantes de los elementos lubricados, las cuales a menudo son abrasivas y causan un desgaste excesivo.
- El consumo de aceite es mínimo y con un sistema de filtración adecuado, el aceite se puede utilizar durante prolongados períodos de tiempo.
- Es automático y muy confiable.
- Su única desventaja es su alto costo inicial.

3.- CENTRALIZADO POR PRESION

En este caso el sistema de bombeo sirve para lubricar varias máquinas simultáneamente permitiendo remover el calor más fácilmente y haciendo que el aceite tenga más tiempo para reacondicionarse.

Los elementos básicos que lo constituyen son un bomba principal y otra auxiliar, un enfriador principal y otro auxiliar, un filtro principal y otro auxiliar, una válvula de seguridad, una o varias platinas de orificio, tubería, depósito de aceite y boquillas para atomización del aceite (cuando el sistema centralizado hace parte del sistema de lubricación de cada equipo).

Este sistema se puede emplear para lubricar o para refrigerar el aceite de varios equipos simultáneamente. En el primer caso, es más complicado por cuanto requiere más elementos de control, mientras que en el segundo, puede ser mucho más simple porque solo se requiere que el aceite fluya hasta donde está el aceite de cada equipo, se mezcle con él y regrese nuevamente al depósito principal.

A continuación se en listan los elementos que constituyen un Sistema Circulatorio Por presión.

- Unidad motriz para impulsar la bomba.

- Bomba de lubricación.
- Tubería del circuito de lubricación.
- Regulador de flujo.
- Válvula para control de presión.
- Boquillas atomizadoras de aceite.
- Filtros.
- Enfriadores.
- Sistema de lubricación de emergencia.
- Recipientes o tanques.
- Instrumentos monitores.
- Visores

Una variante de los sistemas de aceite, es el tipo de plena pérdida, consiste en un tanque de aceite presurizado por una corriente de aire de aproximadamente de 15 ó 20 psi. La línea de aire cuenta con un filtro, un deshumidificador, un regulador de presión y un controlador de tiempo que acciona una válvula solenoide normalmente cerrada, que permite el paso de la corriente de aire a presión cada determinado tiempo. Las tuberías pueden ser metálicas o de material flexible de alta presión. El controlador de tiempo debe ser calibrado para que abra la válvula solenoide, de acuerdo con la frecuencia establecida, la cual debe ser la misma que si no se estuviese utilizando el sistema. El aire a presión, al entrar al tanque, queda en contacto con el aceite y lo obliga a fluir por los conductos hasta los elementos a lubricar. Al final de cada conducto hay una válvula de cheque que impide que el aceite regrese al depósito. En cada tubería secundaria hay una válvula que permite aislar el elemento que se está lubricando, facilitando así cualquier reparación que sea necesario hacerle.

4.0- GENERALIDADES DEL ANALISIS DE ACEITE.

Uno de los elementos constitutivos más importantes en un equipo es el lubricante que protege sus diferentes componentes. Un funcionamiento defectuoso del equipo depende en muchos casos, tanto de la calidad del aceite utilizado como de la degradación que éste pueda sufrir a través del tiempo. En la industria hay equipos en los cuales la frecuencia del mantenimiento preventivo está sujeta al cambio de aceite usado, es posible dejar el equipo en operación durante un período de tiempo más prolongado. Tal es el caso de turbocompresores en refinerías que trabajan con 3000 o mas galones, en los cuales cambiar el aceite resulta costoso, aparte que para hacerlo es necesario parar el equipo.

Es probable que uno de los elementos de monitoreo más valiosos con que cuenta la gerencia técnica de una planta, sea el análisis periódico de laboratorio, tanto al aceite nuevo como el que esta en operación. Este permitirá corroborar que la calidad del aceite nuevo, sí corresponde a la recomendada por el fabricante del equipo y permite determinar la protección que éste le asigna a los diferentes mecanismos, al igual que la frecuencia con la cual se debe cambiar.

Un programa permanente que monitorea la condición de una maquina, mediante el análisis de aceite en operación, aplicando pruebas básicas y técnicas diseñadas especialmente para este objetivo, a realizarse en muestras de aceite, tomadas en base al tipo y grado del aceite y al equipo del cual se extrae, es denominado "MONITOREO TRIBOLOGICO". El termino tribológico es referente a la ciencia que se ocupa de estudiar los fenómenos relacionados con la fricción, desgaste y lubricación.

El procedimiento del Monitoreo Tribológico consiste en forma genérica en analizar muestras de lubricante para determinar algunas propiedades físicas así como la presencia de elementos químicos, contaminantes, estado de los aditivos y partículas de desgaste, los datos obtenidos se relacionan, con la información histórica de cada sistema bajo monitoreo, para estudiar tendencias de resultados de muestras sucesivas. Así cambios bruscos de las tendencias, permiten detectar anticipadamente las anomalías que ocurran en el sistema, mediante la interrelación de todos los parámetros y sus tendencias.

Un Monitoreo Tribológico ofrece una panorámica general de un aceite en servicio. El programa debe usarse para determinar la idoneidad de continuar el uso de lubricante en servicio y

los períodos óptimos para actividades normales de mantenimiento preventivo. Es importante señalar que no debe usarse ninguna prueba ó elemento del programa, por sí solo, a fin de determinar el rendimiento del lubricante durante el mes anterior, durante los últimos dos meses, etc.

Para que el Monitoreo Tribológico sea eficaz como herramienta útil de mantenimiento preventivo/predictivo, es sumamente importante que primero se determine que equipos se monitorearán y cuales pruebas ofrecerán la información más útil para la aplicación. La realización de pruebas que no sean las apropiadas puede conducir a interpretaciones y conclusiones erróneas, poniendo así en duda la validez y credibilidad de los procedimientos de mantenimiento.

Para que el Monitoreo Tribológico juegue un papel importante en el éxito general del programa de mantenimiento, debe primeramente estar determinado el tipo de programa que se desea implantar. El Monitoreo Tribológico constituye un gran apoyo para cualquier programa de mantenimiento predictivo. Debido a que en el mercado moderno, es cada vez más esencial reducir los costos en todas las áreas posibles.

4.1.- OBJETIVOS DEL ANALISIS DE ACEITE.

El análisis de aceite puede tener dos objetivos:

1. Certificar la calidad.
2. Monitorear su desempeño.

El primer objetivo surgió como una necesidad de los fabricante de conocer exactamente la cantidad de aditivos y elementos que constituye el lubricante para poder certificar la calidad al comprador y conocer las propiedades que posee, algunos fabricantes se refieren a este tipo de análisis como "Análisis elemental", el segundo objetivo es de lo que trata este trabajo, el monitoreo puede tener varios resultados, que van desde provocar el desechar el lubricante, hasta descubrir problemas en al maquinaria. En las siguientes secciones se tratara el análisis del aceite solamente como una técnica de monitoreo.

Los costos de mantenimiento pueden deberse al desgaste normal, descuido o falta de capacitación del personal de mantenimiento, lubricación inadecuada o selección incorrecta de lubricantes o por no efectuar las reparaciones o los ajustes pequeños antes de que se conviertan

en fallas catastróficas. Un diseño defectuoso de los equipos o componentes, las cargas o velocidades excesivas o el uso de piezas de repuesto de baja calidad pueden conducir a costos adicionales de mantenimiento.

El enfoque del mantenimiento más completo es el denominado mantenimiento "predictivo". Esto implica que, al utilizar diversas técnicas analíticas, es posible evaluar donde y cuando empiezan a surgir problemas tales como desgaste anormal. Esto permite que los departamentos de mantenimiento programen tiempo de baja para trabajos menores de mantenimiento (por ejemplo, cambios de aceite y filtros), a fin de evitar los problemas más graves ó catastróficos. Este enfoque es de suma importancia en un entorno económico difícil, cuando los presupuestos de mantenimiento se encuentran en un nivel más bajo que nunca. El mantenimiento debe enfocarse desde el punto de vista de una inversión y no de un gasto. Esto nos lleva al tema del análisis del aceite usado, la piedra angular de un programa de lubricación y mantenimiento predictivo.

El mantenimiento predictivo en general, ayuda a evitar:

1.- Costosas reparaciones de equipo.

Un seguimiento continuo del estado del equipo a través del mantenimiento predictivo, se anticipa a los fallos del mismo y evita costosas reparaciones a un costo muy inferior al del equipo que se está controlando, además de eliminar los efectos secundarios de estas fallas, los que generalmente son de mayor cuantía.

2.- Paradas Innecesarias.

Un fallo inesperado del equipo puede tener repercusiones muy importantes en todo un proceso y originar elevados costos por parada. Diagnósticos continuos pueden prever la necesidad de una reparación futura y hacer coincidir ésta con una parada del equipo ya programada.

3.- Gastos innecesarios de tiempo.

En casos de problemas graves en el equipo, el monitoreo tribológico probablemente tenga la localización de los mismos. Al tener localizado el punto del equipo en el que se diagnostica un fallo, es posible proceder inmediatamente a su reparación, con el consiguiente ahorro de tiempo, aumentando la horas efectivas de disponibilidad operacional de los equipos, lo que permitirá el beneficio de la producción que es propia de la maquina, en forma continua.

Como el aceite está en contacto directo con muchas de las partes mecánicas de la maquinaria. Es evidente que contendrá información sobre contaminación, fragmentos y partículas metálicas producidas por desgaste, productos formados por degradación del aceite, etc., que pueden, en conjunto, reducir la vida de los elementos mecánicos e incluso provocar graves daños en el mismo, si no son detectados a tiempo. En conclusión para un encargado del mantenimiento resulta muy atractivo aumentar la productividad y confiabilidad de sus equipos, basándose en mantenimiento predictivo, tomando una simple muestra de aceite. Esta es principal razón para implantar el Monitoreo Tribológico.

Un requisito para una lubricación eficiente en una planta es la selección de los métodos y los lubricantes. Aun existen lineamientos básicos a seguir para seleccionarlos, la mayoría de los proveedores de lubricantes cuentan con personal, con gran experiencia en la selección de lubricantes para aplicaciones específicas, siendo éstos un apoyo para la persona de mantenimiento que tiene la función de elegir el lubricante adecuado. En cuanto al método de lubricación, este debe ser actualizado cada cierto periodo haciendo uso de las tecnologías que aparezcan.

Además es primordial la selección de un programa adecuado de pruebas de aceite este en consonancia con el lubricante y la aplicación específicos. Si las pruebas realizadas no son las apropiadas o adecuadas, el programa de aceite usado no ofrecerá información completa y podrá conducir a conclusiones erróneas. Cuando esto ocurre, puede ocasionar el desperdicio de los presupuestos de mantenimiento.

La toma y envío de muestras de monitoreo tribológico debe constituir una consideración de gran importancia. Para que el análisis de aceite en operación sea efectivo, la muestra bajo análisis debe ser representativa del sistema y la toma debe efectuarse de manera tal de garantizar que la muestra no se contamine, sino, lo logrado con la buena selección de lubricante y el método perdería importancia, es entonces que la interpretación de los resultados de los análisis de laboratorio podrá ser válida.

4.2.- PRUEBAS DEL MONITOREO TRIBOLOGICO.

Todos los aceites no utilizados a plena pérdida, sino en sistemas cerrados o de circulación, se oxidan y/o se contaminan durante su servicio y los aditivos que poseen se agotan. Como ya se menciono el método más confiable para determinar si un aceite puede continuar en servicio o no es por medio del Monitoreo Tribológico, el éxito de este no depende solamente de saber realizar las

pruebas y en interpretar los resultados obtenidos, sino en también en conocer exactamente cuales son las que se deben efectuar, por ejemplo una prueba para aceite de turbina no es importante para un aceite para engranajes. Además pueden realizarse pruebas adicionales a fin de confirmar o definir con mayor precisión los resultados obtenidos del programa. La tabla 4.1 ofrece una lista de los métodos comunes aplicados a programas de análisis de aceite para diferentes aplicaciones industriales y automotrices sugeridas por un fabricante.

Según la tabla 4.1 las pruebas de las que se vale el monitoreo Tribológico pueden dividirse según sus procedimientos y equipos empleados en:

- Sensoriales
 - Color
 - Olor
 - Presencia de contaminantes
- Pruebas físicas
 - Puntos de chispa, combustión y fluidez.
 - Viscosidad y IV.
 - Generación de espuma.
 - Residuos de Carbón.
- Químicas
 - acidez
 - Presencia de humedad
 - Porcentaje de cenizas y carbones
- Químico analíticas
 - Espectrometría por emisión atómica
 - Espectrometría por absorción atómica
 - Espectrometría por fluorescencia de rayos X.
- Especiales
 - Rayos infrarrojos
 - Conteo de partículas
 - Ferrografía

TABLA 4.1 Pruebas de laboratorio a aceites en operación de acuerdo con el tipo de servicio

PRUEBA	Motor gasolina	Motor Gas natural	Motor Diesel automotriz	Motor Diesel marítimo	Compresor	Engranajes	Turbinas	hidráulicos	Sistema circulatorios
Aspecto	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Olor	*	*	*	*	(h)	*	*	*	*
% agua (crentación)	*	*	*	*		*	*	*	*
% agua (Karl Fischer)	*(a)	*(a)	*(a)	*(a)	(i)	*	(j)	(j)	
Viscosidad @ 40 °C	*	*	*	*	*		*	*	*
Viscosidad @ 100 °C	*	*	*	*					
Indice de viscosidad (IV)									
Insolubles en pentano				*					
Corrosión	*		*		*		*	*	
Numero Acido total			(g)		(j)	(j)	(j)	(j)	
Conteo de partículas					(k)		(k)	(k)	
Dilución de combustible (Destilación)	(b)								
Dilución de combustible (Cromatografía de gas)			(b)	(c)					
Hollín del combustible			(d)						
Insolubles en tolueno						*			
Contenido de cenizas	*		*	*				(l)	(l)
Contenido de glicol	(e)	(e)	(e)						
Numero Básico total	*	*	*	*					
Formación de espuma	(l)	(l)	(l)	(l)	(l)	(l)	(l)	(l)	(l)
Punto de inflamación	*	*	*	*					
Punto de combustión	*	*	*	*					
Contenido de azufre						*			
Eapctrometria infrarroja	*	(f)	*		*		*	*	
Numero de neutralización		*			*	*	*	*	*
Gravedad específica	(l)	(l)	(l)	(l)	(l)	(l)	(l)	(l)	(l)

TABLA 4.1 Pruebas de laboratorio a aceites en operación de acuerdo con el tipo de servicio (continuación)

PRUEBA	Motor gasolina	Motor Gas natural	Motor Diesel automotriz	Motor Diesel marítimo	Compresor	Engranajes	Turbinas	hidráulicos	Sistema circulatorios
Contenido de herrumbre	*	*	*	*					
Por medio de la Espectrometría contenido de:									
Silicio	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Calcio	*	*	*	*					
Bario	*	*	*	*					
Manganeso	*	*	*	*					
Hierro	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Cromo	*	*	*	*					
aluminio	*	*	*	*					
Estaño	*	*	*	*					
Cobre	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Plata	*	*	*	*					
Plomo	*	*	*	*					
Vanadio	*	*	*	*					
Sodio	*	*	*	*					
Níquel	*	*	*	*					
Boro	*	*	*	*					
(a) Sólo se determina en caso de prueba de crepitación positiva.									
(b) Determinada en caso de baja viscosidad y si la dilución de combustible es un factor crítico.									
(c) Calculada a partir del punto de inflamación.									
(d) Determinada en caso de viscosidad alta o si el hollín en el combustible es un factor crítico.									
(e) Determinado si hay sodio y boro presentes en la espectrometría de emisiones.									
(f) Para la determinación de oxidación y/o nitración.									
(g) Determinado sólo para motores críticos o en caso de bajo nivel de aditivos.									
(h) Tenga precaución al examinar aceites provenientes de sistemas de amoníaco u otros gases nocivos.									
(i) Determinada en caso de muestra turbia o si el contenido de agua es un factor crítico.									
(j) Determinado cuando los métodos de detección sensoria o infrarroja indiquen la necesidad.									
(k) Determinado si la limpieza es un criterio importante o a fin de satisfacer las recomendaciones de fabricantes de los equipos.									
(l) Opcional en raras veces se hace									



4.3.- ANALISIS SENSORIAL DEL ACEITE.

Si bien el aspecto es una evaluación subjetiva, un observador experimentado podrá reconocer si la muestra es típica del producto y del tipo de servicio. A menudo se detectan evidencias de contaminación o deterioro mediante la inspección sensorial (Vista, Olfato), un color o olor inusual a la aplicación; puede ser un indicativo importante, esta inspección dará la pauta para proceder a un examen completo y mas exhaustivo a la muestra que "no pase la inspección".

El análisis sensorial normalizado mas importante es el color, el olor simplemente revelara un contaminante si su olor es sobresaliente al olor natural del aceite, como es el caso de la dilución de combustible así como la presencia de carbón y ceniza en los motores de combustión interna.

Un aceite se debe analizar cuando huele a quemado, presenta un color opaco u oscuro, en el caso de los aceites industriales, a menudo se quiere determinar cuál es la frecuencia entre cambios o el nivel de protección que éste le da a los mecanismos lubricados.

4.3.1.- Prueba para determinar el Color del lubricante. METODO ASTM D – 1500

Actualmente esta característica carece de valor como criterio de evaluación de los aceites nuevos, porque pueden ser modificados o enmascarados por los aditivos. El color de un aceite se especifica con un número, de acuerdo con la escala ASTM D – 1500 que aparece en el gráfico 4.1.

Para hallar el número correspondiente a un determinado color, se localiza éste en la escala de la izquierda y/o en la derecha, respectivamente. Se traza una horizontal por dichos puntos y en el punto donde corte la escala ASTM, se lee el número correspondiente a este color. Esta prueba realizada en los aceites usados, por sí sola no indica nada, porque mucho aceites durante su servicio cambian de color aunque se puedan hallar en buenas condiciones. Esta prueba se emplea para confirmar otras.

4.4.- ANALISIS FISICO DEL ACEITE.

En el monitoreo Tribológico se requiere determinar los productos de la oxidación y las características físicas más importantes del aceite, como la viscosidad, la gravedad específica, porcentaje de agua, etc.

Un análisis físico bien elaborado es muy valioso dentro de cualquier programa de mantenimiento preventivo porque permite corregir anomalías en el diseño original de algunos mecanismos, evaluar la calidad de los repuestos y reducir considerablemente los costos por consumo de lubricantes. En las próximas secciones se describirán las pruebas físicas que se recomiendan en la tabla 4.1.

4.4.1.- Determinación de la Gravedad Específica y API. METODO ASTM D – 287

La gravedad específica de los aceites derivados del petróleo siempre es menor de 1.0. La gravedad específica en °API se emplea más en el análisis de los aceites usados y está basada en una escala arbitraria en la cual el agua tiene un valor de 10° API. En este caso los aceites derivados del petróleo tienen una gravedad en °API mayor que la del agua.

La gravedad específica 60/60 °F se determina en el laboratorio por medio de un hidrómetro. Ver figura 4.1. Para realizar esta prueba se toma un tubo de vidrio y se llena hasta cierto nivel con la muestra de aceite que se va a analizar, luego se introduce cuidadosamente el hidrómetro en la muestra y cuando empiece a flotar, se deja libre. El hidrómetro debe quedar totalmente separado de las paredes interiores del tubo porque si queda tocándolas, la lectura será incorrecta.

El valor de la gravedad específica considerado aisladamente no es un parámetro fundamental para definir si un aceite usado puede o no continuar en servicio, porque un aumento en este valor puede indicar oxidación o contaminación con partículas sólidas.

En ambos casos se presenta un aumento en la viscosidad, pero en el primero el aceite posiblemente se deba cambiar, mientras que en el segundo, el aceite se puede reacondicionar, sometiéndolo a un proceso de limpieza. Esta prueba permite confirmar los resultados obtenidos en otras, como la prueba de viscosidad, la del número de neutralización y la de insolubles en pentano y en benceno.

En la práctica por lo general esta prueba no se reporta en los resultados del análisis de laboratorio al aceite usado.

GRAFICO 4.1 Escala de comparación y conversión numérica aproximada de colores.

REFERENCIA	ESCALA ASTM D 1500	REFERENCIA
A		A
B BLANCO AGUA		B
C BLANCO PRIMARIO		C
D		D
E		E
F		F
G BLANCO PATRON		G
H		H
I		I
J BLANCO LILA	1	J
K BLANCO CRÉMA	1 1/2	K
L EXTRA PALIDO	2	L
M LIMON EXTRAPALIDO	2 1/2	M
N LIMON PALIDO	3	N
O ANARANJADO EXTRAPALIDO	3 1/2	O
P ANARANJADO PALIDO	4	P
Q PALIDO	4 1/2	Q
R ROJO CLARO	5	R
S ROJO OSCURO	6	S
T ROJO VINTINTO	7	T
U	8	U
V		V

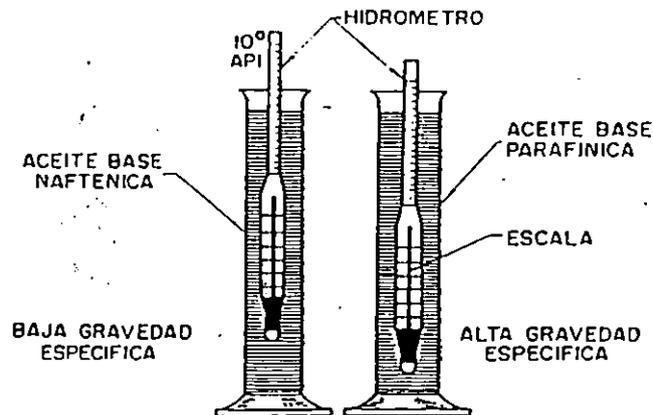


FIGURA 4.1

Lectura de la gravedad específica.

4.4.2.- Determinación de la Viscosidad. METODO ASTM D – 88 Y ASTM D – 445

La viscosidad del aceite usado es uno de los factores más significativos para determinar si puede o no continuar en servicio.

La viscosidad de todos los aceites puede aumentar o disminuir, dependiendo del tipo de contaminante que se halle presente: los productos de la oxidación y de la polimerización del aceite permanecen en suspensión y solubles en él, al igual que la humedad y las materias sólidas extrañas. Estos contaminantes aumentan la viscosidad del aceite, mientras que la contaminación con combustible la disminuye (dilución). Los factores que alteran la viscosidad del aceite pueden ser físicos (contaminación) o químicos (oxidación). La viscosidad del aceite en segundos Saybolt Universal (SSU) se evalúa a 100° F y a 210°F, mediante el método ASTM D – 88 y en Centistokes (cSt) a 40°C y a 100°C, según el método ASTM D – 445. Algunas veces se emplean otros viscosímetros, como el Redwood y el Engler. Sin embargo, se puede emplear cualquier viscosímetro y luego convertir la viscosidad hallada en las unidades requeridas.

El viscosímetro Saybolt se muestra en la figura 4.2 (a). Básicamente está constituido por un recipiente cilíndrico de 28 mm de diámetro y 90 mm de largo, con un tubo de descarga en el fondo de 1.765 mm de diámetro y 12 mm de largo, el cual se halla taponado con un corcho. Debajo del corcho hay otro recipiente de forma semiesférica, que posee una capacidad un poco mayor de 60 cc (una marca delimita este volumen). En la parte exterior al recipiente hay una especie de camisa o de chaqueta que contiene agua, la cual se calienta y permite mantener la muestra de aceite a la temperatura deseada, en este caso a 100° o a 210° F. Una vez que se coloca la muestra de aceite en el viscosímetro, y se alcanza la temperatura deseada, se quita el corcho y se registra con un cronómetro el tiempo (en segundos) necesario para llenar el recipiente semiesférico hasta la marca de 60 cc. Este tiempo es el número de SSU a 100° o a 210° F, según el caso. El viscosímetro Saybolt se emplea para aceites de mediana y de baja viscosidad. Para los de alta viscosidad se utiliza el viscosímetro Furol (SSF). El valor obtenido de la viscosidad debe ir acompañado de la temperatura a la cual se realiza la prueba.

La viscosidad cinemática se determina con un instrumento llamado viscosímetro cinemático Ostwald, que consiste en un sistema de tubos comunicantes de vidrio en forma de U, con tres depósitos, A, B y C. Como se muestra en la figura 4.2 (b), el diámetro del tubo capilar se selecciona previamente, de acuerdo con la viscosidad del aceite, liviana, mediana o pesada.

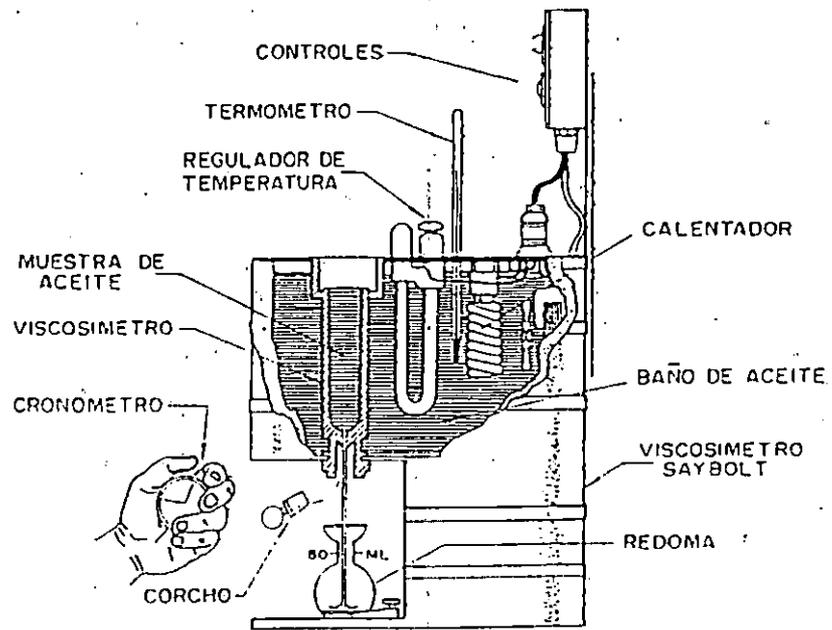


FIGURA 4.2 (a) Esquema de un medidor de viscosidad.

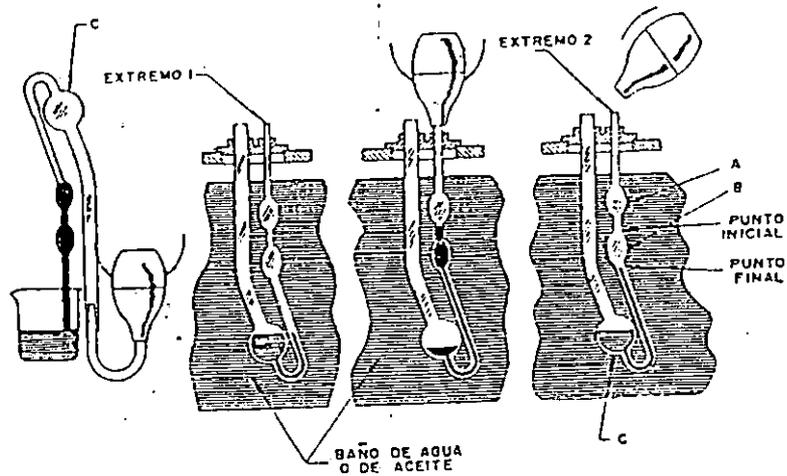


FIGURA 4.2 (b) Viscosímetro Ostwald.

Para hallar la viscosidad cinemática de la muestra de aceite se invierte el viscosímetro y se sumerge el extremo (1) en la muestra del aceite; por el extremo (2) se hace vacío hasta llenar totalmente los depósitos A y B. Se invierte de nuevo el viscosímetro y se coloca dentro de un baño de agua que se encuentra a la temperatura del ensayo. Al invertir el viscosímetro el aceite fluye hacia el depósito C y una vez que éste alcanza la temperatura deseada, se hace vacío y se anota el tiempo en segundos que se demora la muestra de aceite en descender desde la marca superior hasta la marca inferior del bulbo B. El tiempo invertido se multiplica por la constante del viscosímetro y se obtiene la viscosidad cinemática del aceite a la temperatura de prueba.

El valor hallado de la viscosidad, considerado aisladamente, no tiene razón valedera porque aunque éste puede ser exactamente igual al del aceite original, el aceite analizado puede estar oxidado y diluido en la misma proporción, lo cual hace que su viscosidad no varíe.

En la figura 4.3 se observa un viscosímetro automático, con controlador de temperatura y capas de realizar 4 pruebas simultáneamente en unos cuantos segundos.

4.4.3.- Determinación del Índice de Viscosidad (IV). METODO ASTM D – 2270

EL Índice de viscosidad (IV) de un aceite es un número empírico y se evalúa solamente para aceites nuevos; en aceites usados puede dar un valor incorrecto de la estabilidad del aceite. Sin embargo si se analiza, un incremento o una disminución puede indicar contaminación con otro producto. Si disminuye, puede ser un indicio de la baja resistencia a la cizalladura de los aditivos mejoradores de IV.

Esto es común que se presente en ciertos aceites para transmisiones automáticas y en aceites automotores, principalmente multigrados. En unos pocos casos, la oxidación causa un incremento en el IV del aceite usado.

El IV puede calcularse mediante las siguientes ecuaciones:

$$IV = \frac{L - v}{L - H} \times 100 \quad (\text{ecu 4.1})$$

Donde:

L: Viscosidad en cSt a 40° C de un aceite que tiene un IV de cero y una viscosidad en cSt a 100°C igual a la muestra de aceite.

v : Viscosidad en cSt, a 40°C, de la muestra de aceite.

H : Viscosidad en cSt, a 40°C de un aceite que tiene un IV de 100 y una viscosidad en cSt, a 100°C, igual a la muestra de aceite.

Para aceites con IV de 100 y mayores:

$$IV = \frac{\text{AntiLog } N-1}{0.00715} + 100 \quad (\text{ecu 4.2})$$

N se calcula de:

$$IV = \frac{\text{Log } H - \text{Log } v}{\text{Log } Y} \quad (\text{ecu 4.3})$$

Donde:

Y: Viscosidad en cSt, a 100°C, de la muestra de aceite.

El IV se puede hallar directamente de las tablas basadas en el método ASTM D -2270-74, conociendo las viscosidades del aceite en cSt, a 40 °C y a 100°C.

Para tener una idea del IV aproximado, se puede utilizar el gráfico 4.2, para IV entre 0 y 100 y el gráfico 4.3, para IV entre 100 y 400. Ambos gráficos están basados en el método ASTM D 2270 - 74.

Los cálculos se pueden evitar utilizando los gráficos 4.2 y 4.3.

4.4.4.- Determinación del Punto De Inflamación o De Chispa. METODO ASTM D-92 Y ASTM D-93

En los aceites nuevos se emplea como parámetro de referencia para determinar la temperatura máxima hasta la cual se pueden emplear sin riesgo alguno; y en los aceites un combustible, está contaminado con un aceite de menor viscosidad, o se ha craqueado debido a temperaturas de trabajo excesivamente altas. Si el punto de inflamación del aceite usado ha aumentado, es porque lo han mezclado con un aceite de mayor viscosidad.

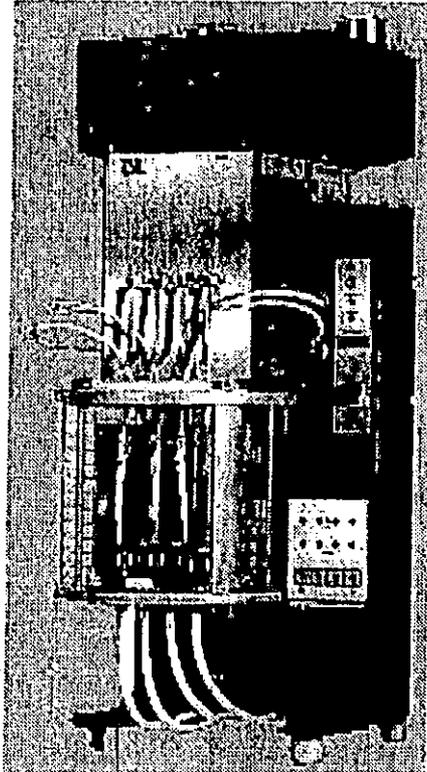


FIGURA 4.3 **Viscosímetro Automático.**

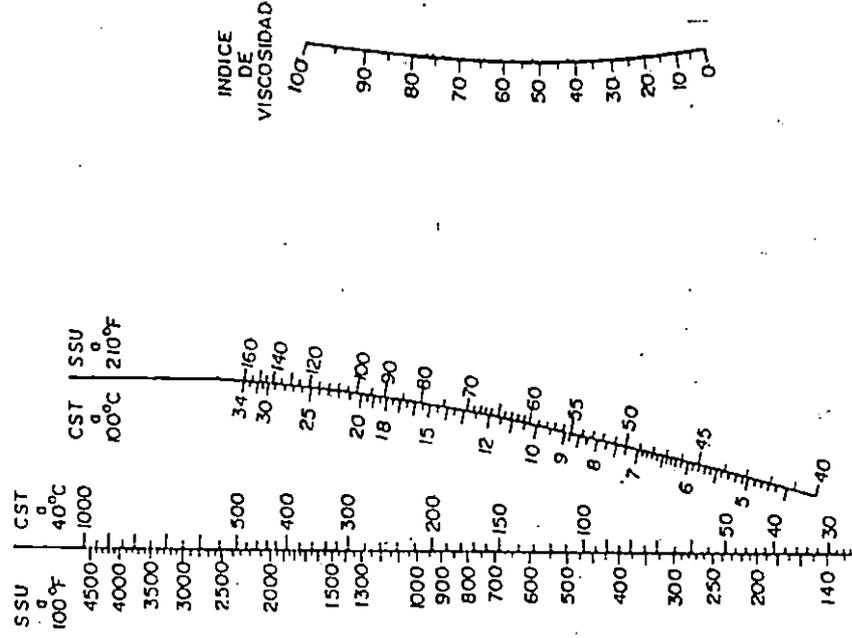
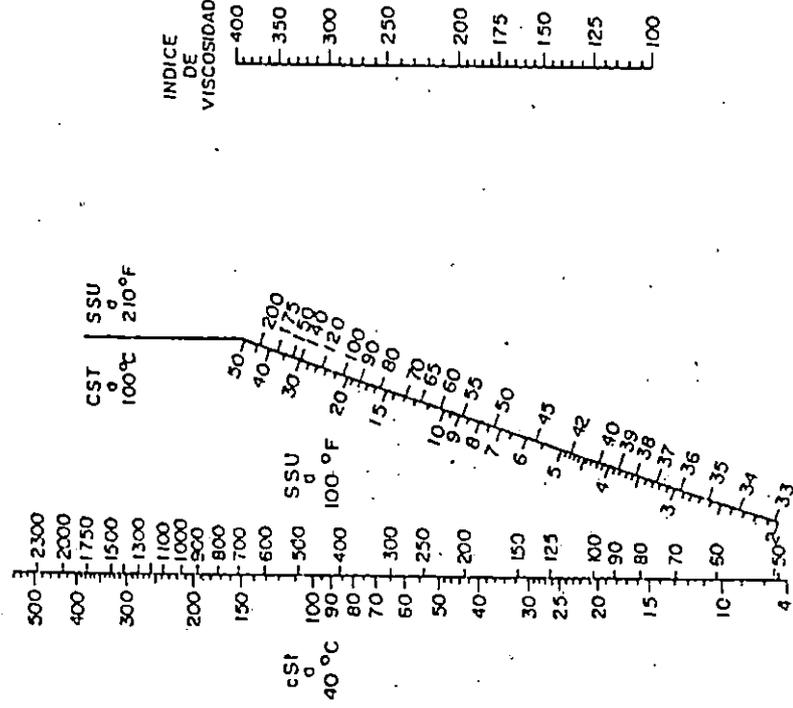


GRAFICO 4.3

Indice de viscosidad entre 100-400. Método ASTM D-2270.



El punto de inflamación se determina calentando la muestra en aparatos normalizados y aplicando una llama en la proximidad de su superficie.

Se pueden efectuar en vaso abierto para el caso de puntos de inflamación elevados (open cup o cleveland), o en vaso cerrado para aceites más ligeros o de más baja inflamabilidad (closed cup o pensk – materns). Para un mismo producto, la inflamabilidad con el primer procedimiento da un valor más alto que con el segundo. La temperatura a la cual los vapores que desprende el aceite, producen una chispa al aproximarse una llama se conoce como punto de inflamación y si estos vapores se inflaman y permanecen en combustión durante 5 segundos como mínimo, se denomina punto de combustión y se determina en el mismo aparato empleado para hallar el punto de inflamación en vaso abierto. Para lograr una mayor precisión en la realización de la prueba se recomienda hacerla en un cuarto oscuro. Ver figura 4.4 (a) y figura 4.4 (b).

4.4.5.- Determinación del Punto De Fluidez. METODO ASTM D – 97

Se analiza solamente a aceites nuevos que van a trabajar a bajas temperaturas. Esta prueba es importante para determinar la fluidez del aceite a bajas temperaturas.

Consiste en someter una muestra del aceite nuevo a un proceso de enfriamiento y se registra la temperatura más baja a la cual el aceite aún fluye. Ver figura 4.5.

Los puntos de congelación y de enturbiamiento del aceite no son importantes desde el punto de vista de lubricación.

Otra característica que vale la pena tener en cuenta es el punto de floculación en los aceites para compresores de refrigeración que trabajan con refrigerantes miscibles en el aceite y puede orientar sobre su comportamiento en los serpentines del evaporador. Esta característica comparada con el punto de fluidez presenta un valor más bajo. Así por ejemplo, un aceite para refrigeración puede tener un punto de fluidez de 40 °C, mientras que el de floculación puede estar por el orden de los 15 °C. Por lo tanto, un aceite de este tipo se selecciona con el punto de floculación y no con el de fluidez.

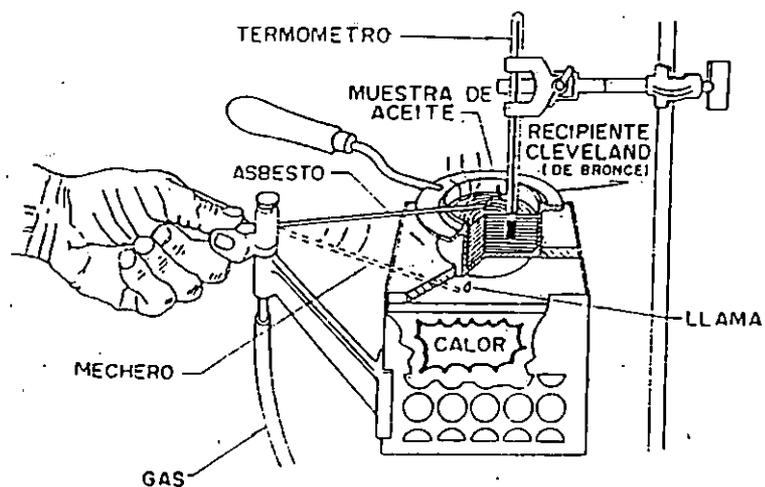


FIGURA 4.4 (a) Equipo de vaso abierto para el punto de inflamación.

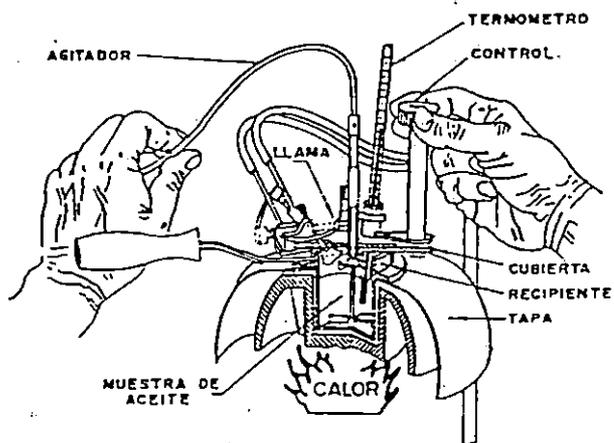


FIGURA 4.4 (b) Equipo de vaso cerrado para el punto de inflamación.

4.4.6.- Determinación de Residuos De Carbón CO RADSON. METODO ASTM D-189 y RAMSBOTTOM. ASTM D – 524

Se emplea solamente para aceites nuevos utilizados en la lubricación de cilindros de compresores, de motores de combustión interna, de 2 y de 4 tiempos (depósitos en la zonas de combustión), aceites de transferencia de calor (termofluidos), aceites para laminación y en aquellos mecanismos en los cuales el aceite va a trabajar a temperaturas superiores a los 80° C.

Se define como el porcentaje de depósitos carbonosos que se obtienen al someter a una muestra de aceite a evaporación y pirólisis en las condiciones normales de ensayo. Se utilizan dos métodos para determinar esta característica: Conradson y Ramsbottom, dando valores diferentes para un mismo aceite. El procedimiento Conradson se realiza en un crisol abierto finamente pulimentado, en el que se coloca una cantidad de aceite, escrupulosamente pesada (casi siempre 10 gramos) y se somete a la temperatura de ebullición hasta que por evaporación se consume todo el líquido, quedando un residuo, el cual una vez pesado, equivale a la proporción de carbón (carbón Conradson) que hay en el aceite.

El ensayo Ramsbottom se fundamenta en someter la misma cantidad de aceite (o de grasa) en una botella cerrada, a una temperatura de 550° C, durante 20 minutos en el interior de un horno. Una vez pesado el residuo, se establece la proporción con la cantidad inicial. Ver figura 4.6.

Esta característica permite obtener, siempre con reservas, algunas conclusiones sobre la tendencia a la carbonización de los aceites. Aumenta con la viscosidad, y al igual que la viscosidad, los aceites parafínicos dejan más residuos que los nafténicos. Los residuos de los nafténicos son pulverulentos y poco adherentes, mientras que los de los parafínicos son granulares y adherentes. Los porcentajes por peso de carbón admisibles en los aceites lubricantes son de 0.1 hasta 0.9 %.

4.4.7.- Determinación de la Dilución por combustible. METODO ASTM D – 322

Una dilución exagerada por gasolina o gasoil, en los aceites automotores puede tener serias consecuencias sobre el engrase y la seguridad de funcionamiento del motor, debido a la disminución de la viscosidad, del punto de inflamación y de la calidad del aceite. La dilución por combustible puede ser originada por una de las siguientes causas:

- Anillos y/o cilindros gastados.
- Excesiva cantidad de combustible en la relación aire/combustible (mezcla demasiado cara).
- Largos períodos de funcionamiento a bajas temperaturas. La temperatura del agua de enfriamiento del motor debe ser de 82° C (180° F) y la temperatura del aceite en el motor de 71°C (160°F).
- Ventilación deficiente del cárter por estar obstruido el respiradero del motor.
- Acelerar demasiado rápido.
- Bombear el acelerador con el motor apagado.
- Estrangulación excesiva del motor.
- Dejar trabajar el motor durante largo tiempo sin carga.
- Prender y apagar el motor frecuentemente.
- Demasiado juego en las guías de las válvulas.
- En algunos tipos de bombas de combustible cuando el diafragma está deteriorado.
- Cuando el regulador termostático de los gases del exhausto está pegado o funciona mal.
- Gasolina que contiene un alto porcentaje de hidrocarburos pesados.

Un intervalo adecuado de mantenimiento es un factor muy importante para preservar la integridad de un motor. La contaminación del aceite lubricante es el resultado directo del funcionamiento del motor y del factor de carga que esto implica. El nivel de contaminación generado depende de la cantidad de combustible que consume el motor. Pruebas en el laboratorio y en el campo han demostrado que cuando se utiliza los aceites y filtros de calidad recomendada, un motor turboalimentado en buenas condiciones y con un filtro de aceite en derivación, puede consumir 255 galones de combustible por cada galón de aceite en el sistema de lubricación antes de alcanzar el nivel máximo de contaminación de aceite.

Una de las principales causas de la dilución del aceite por combustible es el tráfico en las ciudades durante las horas pico, donde el vehículo funciona con paradas y arrancadas frecuentes. De ahí que el aceite por lo general se deba cambiar por dilución, aun cuando todavía le queda una buena reserva alcalina (TBN).

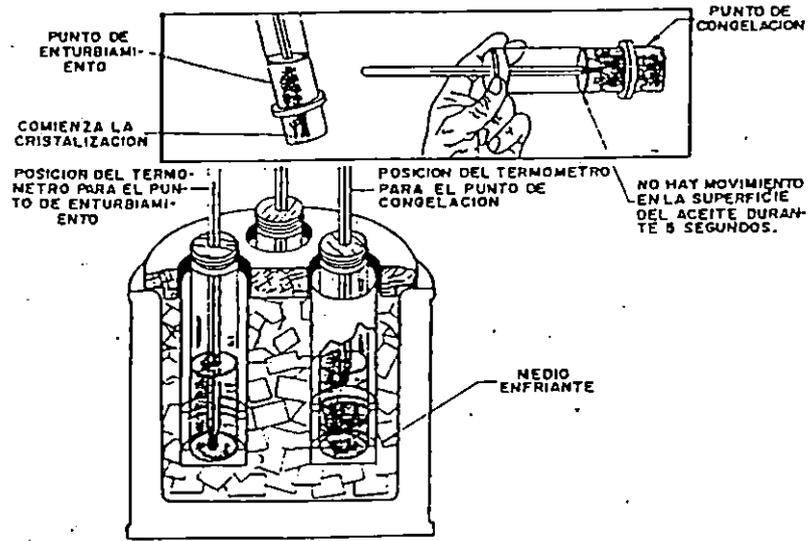


FIGURA 4.5 Determinación del punto de congelación.

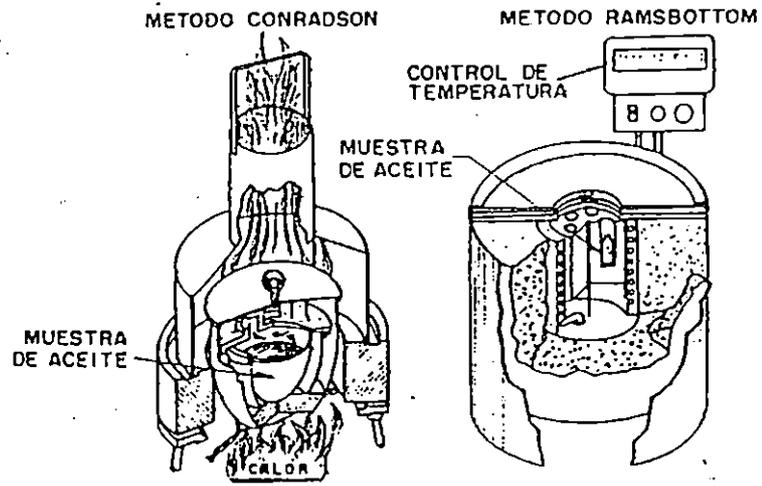


FIGURA 4.6 Contenido de carbón Conradson por el método ASTM D-189 y Ramsbottom por el ASTM D-524

La dilución en los aceites para motores a gasolina se determina por destilación, según el método ASTM D – 322 y en los motores Diesel al analizar la disminución de la viscosidad del aceite y compararla con la del aceite original.

El método ASTM D – 322 consiste en agregar 500 ml de agua al aceite por cada 25 ml de éste que se vaya a analizar y se somete a una temperatura tal que sea igual a la del punto de ebullición del agua. En este caso se aprovecha la mayor volatilidad del combustible, el cual se evapora primero que el aceite y lo hace junto con el agua. Estos vapores se hacen pasar por un condensador en donde se licúan, la mezcla obtenida se coloca en un tubo graduado (en ml ó cc), que permite determinar la cantidad de gasolina obtenida ya que ésta, por ser menos densa que el agua, va a aparecer en la parte superior. El volumen de agua agregado a la muestra de aceite debe ser alto, con el fin de que garantice que en todo momento, durante la prueba a alta temperatura va a haber suficiente cantidad de ésta hasta que se evapore la totalidad del combustible presente.

Además se debe conservar la temperatura en el punto de ebullición del agua. Esta se debe mantener constante hasta que en el condensado que se obtiene de agua y de gasolina no aparezca más gasolina después de transcurridos 15 minutos. Se determina el volumen de gasolina y se halla el porcentaje por volumen con respecto a la muestra original que se tenía de aceite. En este caso se permite un porcentaje máximo de dilución por gasolina hasta un 2%. Por encima de este valor el aceite pierde sus propiedades lubricantes, disminuye su viscosidad y da lugar al contacto metálico entre las partes que lubrica.

El método que se emplea está basado en determinar la viscosidad de la muestra de aceite usado, y luego, con la viscosidad del aceite original y la viscosidad del combustible empleado, hallar el grado de dilución utilizando un gráfico. Si la viscosidad del combustible Diesel no se conoce, se puede suponer con bastante aproximación una viscosidad de 38 SSU a 100° F. En este caso se permite un porcentaje máximo de dilución por combustible del 5%. Para el caso de la gasolina, este método no se puede aplicar porque su viscosidad es demasiado baja.

La dilución en este tipo de aceites se puede verificar también analizándole el punto de inflamación. Si disminuye, el aceite está contaminado con combustible.

4.4.8.- Determinación de la Demulsibilidad. METODO ASTM D – 1401 Y ASTM D – 2711

El método estándar ASTM D – 1401 se utiliza para los aceites sintéticos y para los de turbinas de vapor con una viscosidad entre un grado ISO 32 y un 100. El ASTM D – 2711 para los demás tipos, incluyendo los de EP.

La prueba de demulsibilidad consiste en mezclar una parte de aceite con otra de agua destilada en el ASTM D – 1401, 40 cc (ml) de aceite con 40 cc (ml) de agua destilada, y en el ASTM D – 2711, 405 cc (ml) de aceite con 45 cc (ml) de agua destilada, y agitar la mezcla durante 5 minutos, a una temperatura determinada (130° F en el método ASTM D – 1401 y 180° F en el ASTM D – 2711. Transcurrido este tiempo, se deja la mezcla en reposo y se chequea el tiempo requerido para que la emulsión de agua y de aceite se separen completamente. Los resultados obtenidos en esta prueba deben ser como mínimo 40 cc (ml) de aceite, 37 cc (ml) de agua y 3 cc (ml) de emulsión para un tiempo de 20 minutos. Un aceite posee buenas características de demulsibilidad cuando la mezcla de agua y de aceite se separa completamente en un tiempo de un minuto. La agitación ayuda a que la emulsión de un aceite con agua persista, pero, una vez éste se encuentre en reposo, debe desaparecer inmediatamente; de lo contrario, ésta puede causar problemas de corrosión y de formación de herrumbre en todos los circuitos por donde fluya el aceite. Por otro lado, los ácidos orgánicos que empiezan a formarse en el aceite como resultado de su oxidación normal, se vuelven más corrosivos en presencia de agua y alguno de los inhibidores de la oxidación pueden ser disueltos por ella.

Los aceites automotores no poseen aditivos antiemulsionantes debido a que estos reaccionan con los aditivos detergentes – dispersantes (fenatos y sulfonatos), descomponiendo el aceite. Ver figura 4.7.

El agua con el aceite forma una emulsión que, dependiendo del tipo de aceite, es estable o no. En el caso de aceites para maquinado, se requiere que la emulsión sea altamente estable, mientras que en otros, como los aceites para turbinas de vapor, sistemas hidráulicos, reductores, compresores, transformadores y para sistemas de circulación se necesita que tenga buenas propiedades demulsificantes.

Un aceite industrial emulsionado por lo general presenta un color opaco, pero este color desaparece y el aceite adquiere un color claro (si no está oxidado), cuando se calienta a una temperatura de 100° C. En el caso de los aceites automotores, esta prueba es poco significativa porque su color opaco se debe básicamente a sus características de detergencia – dispersancia.

Esta característica es de especial importancia en el caso de aceites de turbina, hidráulicos y en general de todos aquellos expuestos a trabajar en contacto con el agua, siendo la presencia de ésta generalmente muy perjudicial para la lubricación, deseándose, que la originó o después de un cierto tiempo de reposo. Si persiste, se trata de una emulsión estable. Los factores que favorecen la estabilidad de las emulsiones son:

- Una tensión Interfacial suficientemente baja.
- Viscosidad muy elevada del aceite.
- Pequeña diferencia de densidad entre ambos líquidos.
- Presencia de sulfonatos por oxidación del aceite.

4.4.9.- Prueba de Resistencia a la formación de espuma. METODO ASTM D – 892

Entre las causas que favorecen la formación de espuma, se tienen: un bajo nivel de aceite en la consola, tubo de retorno del aceite por encima del nivel normal, entrada de aire en la tubería de succión de la bomba, y agua en el aceite. Los aceites de baja viscosidad favorecen la resistencia a la formación de espuma porque liberan más fácilmente el aire que los de alta viscosidad. Trazas de contaminación en el lubricante causadas por materiales activos, tales como los preservativos de herrumbre y detergentes de espuma.

El método ASTM D – 892 consiste en barbotear aire seco durante 5 minutos en 200 cc, de la muestra de aceite nuevo, a una temperatura dada. Transcurrido este tiempo se determina la tendencia a la formación de espuma. Al cabo de 10 minutos de reposo se efectúa una segunda lectura del volumen de espuma y se obtiene la medida de la estabilidad de las espumas. Las especificaciones de los aceites fijan los volúmenes límites admisibles en ambas lecturas que corresponden a ensayos efectuados a 75° F, a 200° F y a 75° F luego de haber enfriado el aceite desde 200° F. Ver figura 4.8.

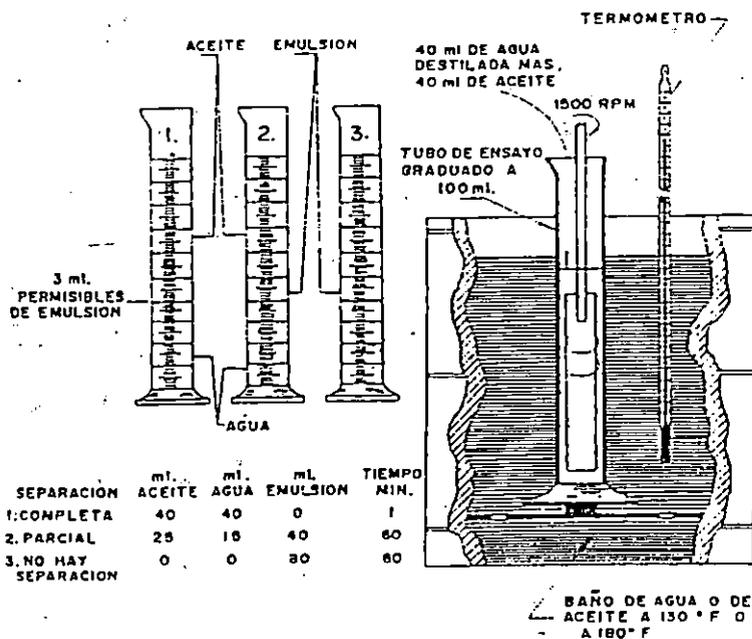


FIGURA 4.7 Método ASTM 1401 para evaluar las características de demulsibilidad de un aceite cuando se encuentra en presencia de agua.

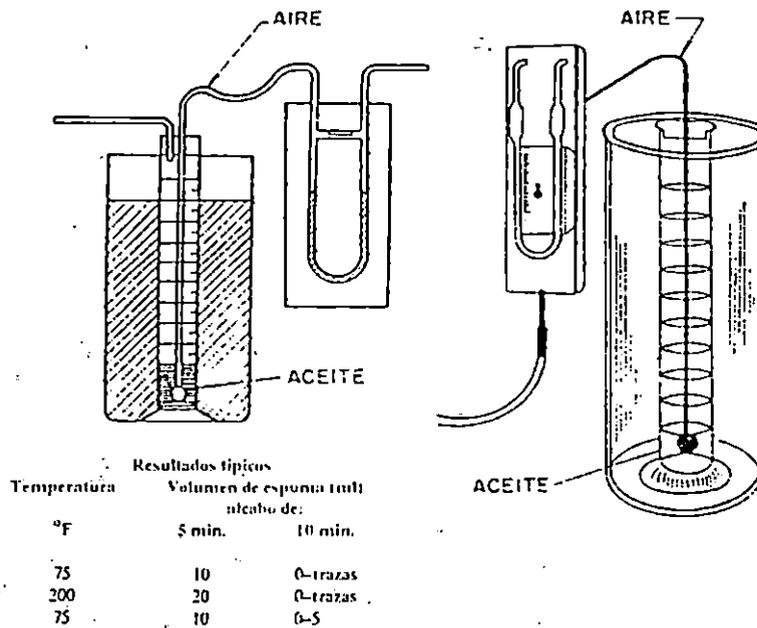


FIGURA 4.8 Equipo para determinar la resistencia a formación de espuma, según el método ASTM D-892.

4.4.10.- Determinación de la Herrumbre. METODO ASTM D – 665

La herrumbre es causada por el agua y el aire sobre el hierro y el acero (materiales ferrosos). Su acción se previene con los aditivos de tipo polar que forman capas protectoras sobre las superficies metálicas, pero el porcentaje de estos en el aceite se debe controlar porque pueden ejercer una acción negativa sobre las propiedades antiespumantes, antioxidantes y de demulsibilidad.

El método para evaluar esta característica está constituido por dos partes: el procedimiento A, usando agua destilada y el B, utilizando agua sintética de mar. Muchos lubricantes son formulados para pasar el procedimiento A o el B, otros, como los de turbinas de vapor, reductores y fluidos hidráulicos son formulados para pasar el procedimiento B. Para efectuar la prueba, la muestra de aceite nuevo o usado se mezcla con 10% de agua, y luego se introduce en ella una lámina pulida de acero carbón 1018, en la cual se chequea posteriormente el grado de herrumbre. Los laboratorios por lo regular dan el reporte, mencionando si el aceite "pasa" o "no pasa" la prueba de herrumbre. Problemas de herrumbre severos pueden ser el resultado de una alto grado de contaminación del aceite oxidado con agua. Para efectuar la prueba de herrumbre se requieren como mínimo 500 cc de aceite. Ver figura 4.9.

4.4.11.- Determinación del Contenido de Cenizas. METODO ASTM D-482 y ASTM D-874

Para evaluar el contenido de cenizas, en una muestra de un aceite nuevo o usado, se emplean dos métodos. El ASTM D – 482 para aquellos aceites formulados con aditivos sin cenizas y el ASTM D – 874 para los que contienen aditivos con cenizas. Los aditivos que mayor cantidad de cenizas producen son los detergentes, como el bario y el calcio, empleados en los aceites para motores de combustión interna. El análisis de porcentaje consiste en mantener 300 ml de aceite nuevo a una temperatura de 95° C, en presencia de 60 ml de agua, oxígeno y un catalizador que puede ser hierro o cobre. Cada 50 a 200 horas se sacan 10 ml de aceite y se le chequea el número de neutralización, ya sea por el método colorimétrico ASTM D – 974 o por el potenciométrico ASTM D – 664. El aceite sobrepasa la prueba si alcanza 1000 horas de ensayo como mínimo, con un NN por debajo o máximo de 2.0. La desventaja de esta prueba es el tiempo de duración que es bastante largo. Los aceites que se vayan a utilizar en la lubricación de turbinas de vapor deben sobrepasar esta prueba. En la actualidad hay aceites que al evaluarlos dan entre 2000 y 5000 horas para un NN de 2.0 mgr KOH/gr.ac.usado. Ver figura 4.10 (a).

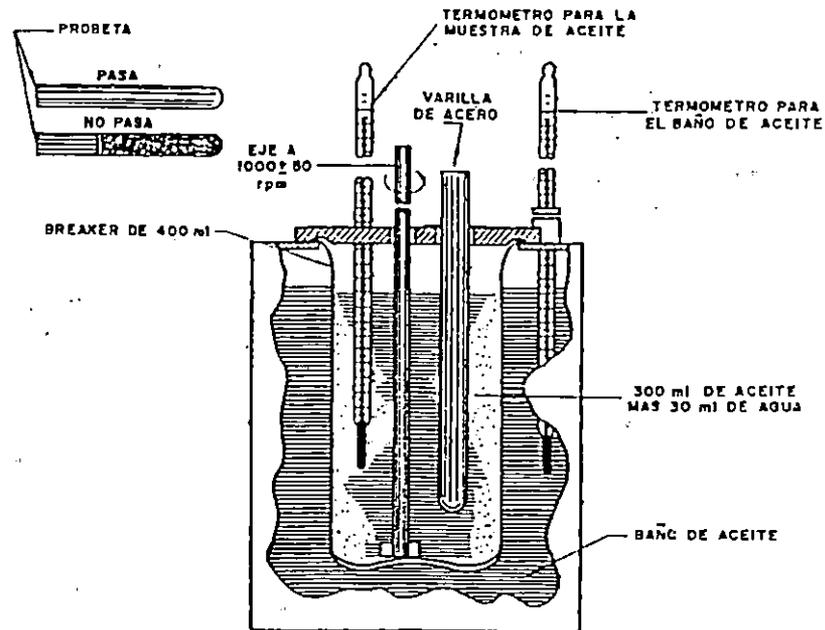


FIGURA 4.9

Equipo para medir las propiedades antiherrumbre, según el método ASTM C-665.

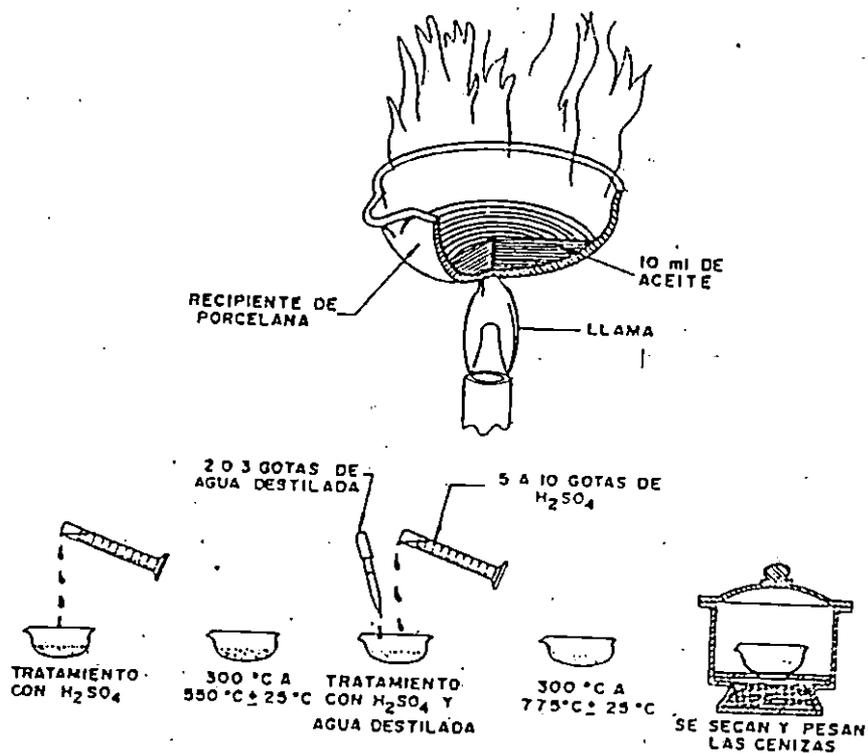


FIGURA 4.10 Determinación del contenido de ceniza, método ASTM D-874

Para evaluar la estabilidad a la oxidación de los aceites para turbinas de vapor hay otros dos métodos que requieren menos tiempo de ejecución.

4.4.12.- Determinación del Contenido de Azufre. METODO ASTM D – 1266, D – 1662

Se determina sometiendo una muestra del aceite nuevo a una corriente de oxígeno presurizado y quemándola luego. Los productos de la combustión se acumulan y se precipita el azufre como sulfato de bario en porcentaje por peso.

A excepción de los aceites de tipo EP, en los cuales el azufre les imparte sus características de soporte de carga resulta ser un compuesto indeseable en los demás aceites, y removerlo requiere costosos y complejos sistemas de refinación.

4.4.13.- Prueba Cualitativa De La Mancha Para Aceites Detergentes.

Es un método práctico para evaluar los aceites detergentes usados. Permite analizar cualitativamente si el aceite está contaminado y cuál es la capacidad de detergencia – dispersancia que aún le queda.

El método consiste en colocar una gota del aceite usado en un pedazo de papel secante 240 M. Este es absorbido por el papel y forma un patrón característico, el cual determina el estado del aceite.

Hay cuatro patrones característicos:

- Excelentes dispersancia y bajo contenido insolubles. La mancha es muy tenue y muestra un color oscuro en el centro, la periferia no es uniforme. Ver figura 4.11 (a).
- Alta dispersancia y moderado contenido de insolubles. El patrón muestra un centro relativamente claro, con una banda vellosa en la periferia. Ver figura 4.11 (b).
- Despersancia deteriorada debido al agua. La mancha muestra una periferia puntiaguda (indicando agua) y un centro oscuro uniforme. Ver figura 4.11 (c).
- Dispersancia ausente debido a la pérdida total de la alcalinidad. El patrón muestra una periferia puntiaguda y un campo oscuro totalmente uniforme. La densidad del patrón depende de la cantidad de contaminantes. Ver figura 4.12 (d).

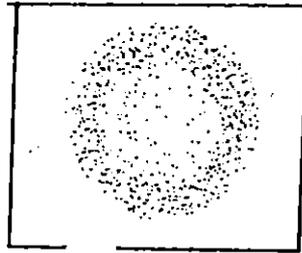


FIGURA 4.11 (a) Excelente dispersancia y bajo contenido de insolubles

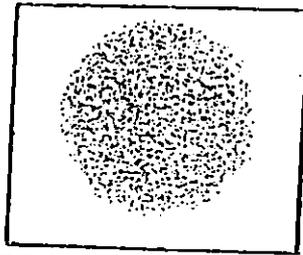


FIGURA 4.11 (b) Alta dispersancia y moderado contenido de insolubles

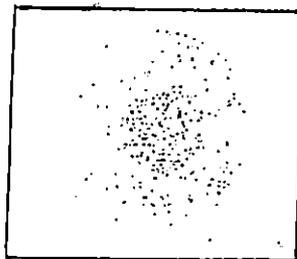


FIGURA 4.11 (c) Deterioro de la dispersancia debido al agua

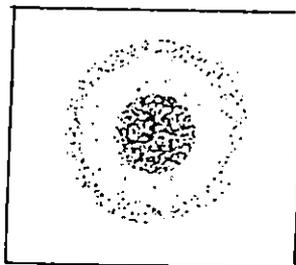


FIGURA 4.11 (d) Dispersancia ausente debido a la pérdida total de la alcalinidad.

4.5.- ANALISIS QUIMICO DEL ACEITE.

Por medio de análisis químico se evalúan los tipos de contaminantes que pueda tener la muestra del aceite usado, como polvo, partículas abrasivas (sílice), partículas metálicas provenientes del desgaste de los diferentes mecanismos que dicho aceite lubrica (hierro, zinc, plomo, cobre, plata, etc.),

Básicamente un aceite deja de ser apropiado por dos razones: cuando ocurre un cambio químico en su composición como resultado de su oxidación y cuando el contenido de contaminantes es muy elevado.

4.5.1.- Numero de Neutralización (NN) O TAN. METODO ASTM D – 664 Y ASTM D – 974

Constituye una medida de la acidez total del aceite usado y su valor debe compararse con respecto a la acidez del aceite original. Está íntimamente relacionado con el TAN (Número Acido Total), el cual determina todos los constituyentes ácidos presentes en la muestra de aceite, débiles y fuertes. Todos los aceites durante su servicio se oxidan, y si los productos de la oxidación son peróxidos o ácidos orgánicos, producen desgaste corrosivo sobre las piezas que lubrican. En el caso de los motores de combustión interna el desgaste corrosivo se incrementa como resultado de los ácidos originados en la combustión. Los combustibles están constituidos en su mayor parte por hidrógeno y carbono, y en menor proporción, por oxígeno, nitrógeno y azufre. Cuando se realiza la combustión del carbono, éste reacciona con el oxígeno y forma monóxido y bióxido de carbono; el hidrógeno reacciona con el oxígeno y produce vapor de agua y por último, el oxígeno al oxidarse produce bióxido de azufre. En un momento dado, bajo ciertas condiciones de temperatura y de presión, el vapor de agua se condensa y reacciona con el bióxido de azufre, dando lugar a los ácidos sulfúricos y sulfurosos, los cuales pasan entre los anillos y pistones hasta el cárter, contaminando el aceite. Estos ácidos formados tienen un doble efecto: por un lado atacan directamente algunos metales ocasionando desgaste corrosivo, y por otro lado, aceleran la oxidación del aceite.

El método ASTM D – 664 es un método potenciométrico y se define como el número de miligramos de una base, en términos de hidróxido de potasio (KOH) que es necesario añadirle a un gramo de la muestra de aceite para que reaccione con los constituyentes ácidos y alcance un punto final equivalente a un pH de 11.

El método ASTM D – 974 es colorímetro y se utiliza para evaluar la acidez de los aceites de color claro, en donde el cambio de color es evidente. Ver figura 4.12.

Los factores que más inciden en el valor del número de neutralización del aceite nuevo son el grado de refinación de la base lubricante, el tipo de base (nafténica o parafínica) y el tipo de aditivos. Hay algunos productos, como los fluidos hidráulicos antidesgaste, que a menudo contienen aditivos organometálicos, tales como el dialkil ditiofosfato de zinc que elevan el valor inicial del número de neutralización, el cual una vez en servicio el aceite, disminuye ligeramente (como consecuencia de la reacción de éste con las superficies metálicas) y permanece estable durante algún tiempo, al cabo del cual se incrementa y sobrepasa su valor original, iniciándose propiamente el proceso de oxidación.

De igual manera los aceites nuevos para engranajes, tanto industriales como automotores, debido al contenido de aditivos EP (a base de azufre, cloro y fósforo) poseen un TAN inicial entre 0.3 y 1.3 o más, pero contienen una acidez orgánica no corrosiva que no debe confundirse con la acidez mineral procedente de ácidos residuales, que quedan después del refinado de la base lubricante.

El valor máximo permisible del NN para un aceite usado no se puede generalizar para todos, sino que es único para cada uno en particular. Un número de neutralización alto no indica necesariamente que el aceite usado se deba cambiar, porque puede ser consecuencia de la concentración de ácidos corrosivos y por lo tanto, no atacan los metales, especialmente el Babbit. Los peróxidos y los ácidos orgánicos sí crean problemas de corrosión, principalmente los primeros. Como en la práctica es difícil saber cuándo un ácido es corrosivo o no, lo mejor en todos los casos es considerar como valores intolerables del NN incrementos por encima de 1.0.

El número de neutralización de un aceite nuevo indica su calidad, y en un aceite usado representa su grado de descomposición. Cuando el aumento en la viscosidad de un aceite usado es debido a su oxidación, el número de neutralización o TAN aumenta. Para evaluar esta característica es necesario conocer el valor del TAN del aceite nuevo.

En algunos casos el grado de acidez o de basicidad de un aceite se expresa de acuerdo con el valor del pH, el cual en los aceites derivados del petróleo, tanto industriales como automotores, pueden representar valores comprendidos entre 4 y 11, sin que dé lugar a desgaste corrosivo de las piezas que lubrica. Entre 4 y 7, el aceite representa ácidos de bases débiles o una combinación equilibrada de los dos. A medida que el aceite se oxida disminuye su pH y aumenta su acidez.

Por debajo de 4 se considera que los ácidos minerales (peróxidos) inician el ataque corrosivo hacia las superficies metálicas y es necesario, por lo tanto, cuando se presenta este valor cambiar el aceite inmediatamente.

Un método sencillo y práctico para determinar rápidamente el valor aproximado del pH de un aceite, es por medio de un indicador de pH o peachímetro, el cual trae los diferentes valores del pH asociados con un color. Este se presenta un vez que el indicador o papel se introduce en el aceite (sometido a un baño de María). Se saca y se deja secar. El color que dé el indicador se compara con uno de los que aparecen en el peachímetro y se obtiene de esta manera el pH del aceite.

Ver figura 4.13.

Una elevada concentración de peróxidos (producto de la oxidación del aceite) en un aceite, es mucho más peligrosa que una elevada concentración de ácidos orgánicos porque su acción corrosiva es mayor y tienden a activar más el grado de oxidación de aceite. Los peróxidos en su mayor parte tienen su origen en el funcionamiento de los mecanismos bajo elevadas temperaturas y durante prolongados períodos de tiempo. En este caso, los inhibidores de la oxidación y de la corrosión no son suficientes para contrarrestar su efecto.

Los ácidos orgánicos (contienen halógenos y azufre altamente corrosivos) son el resultado del funcionamiento del mecanismo a bajas temperaturas y sus características corrosivas se expresan de acuerdo con el Número Acido Fuerte (SAN).

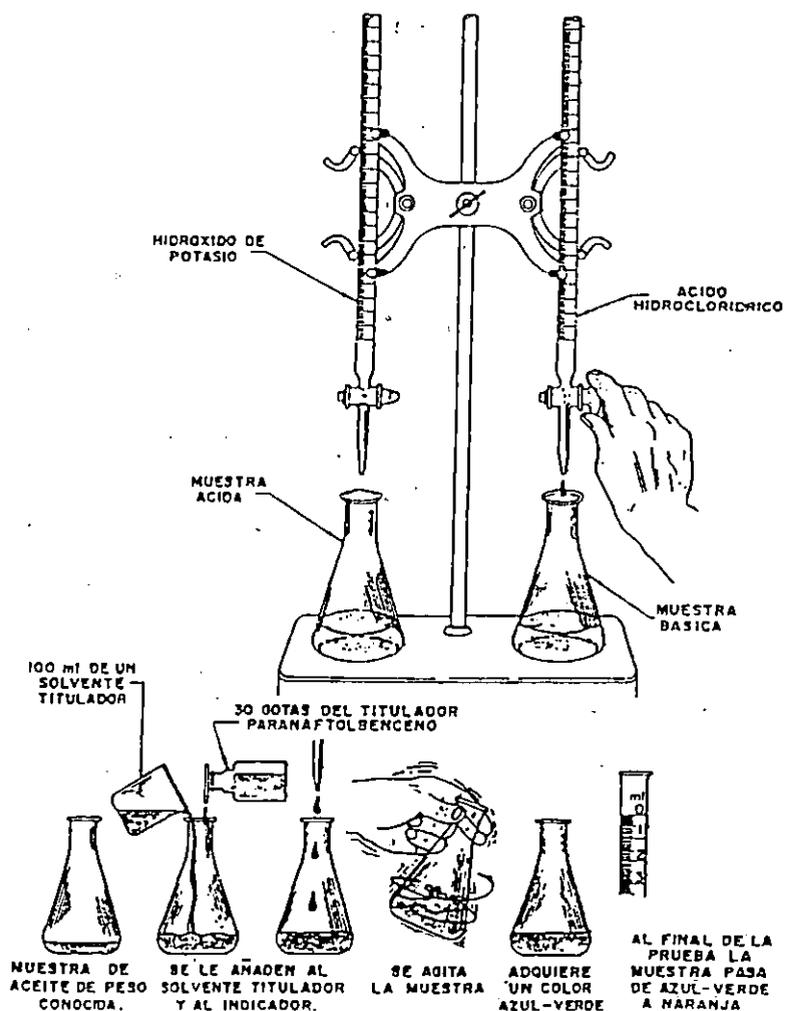


FIGURA 4.12 Método ASTM D-974 para determinar el numero de neutralización.

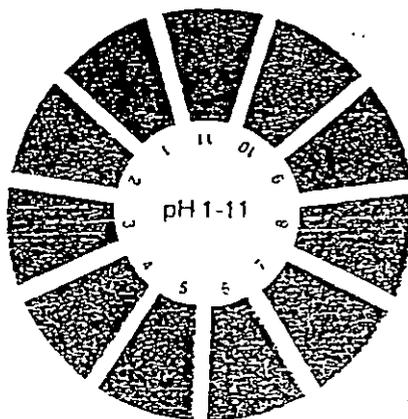


FIGURA 4.13 Patrón de colores para la comprobación de pH.

4.5.2.- Numero Básico Total (TBN) METODO ASTM D – 664 Y ASTM D – 2896

El TBN es básicamente una medida del potencial que tiene el aceite para neutralizar los ácidos que se vayan formando, como son: los compuestos de azufre, cloro y bromo. El TBN analizado por el método ASTM D – 664 indica la cantidad de miligramos de ácido clorhídrico (HCL), y si es por el método ASTM D – 2896, el de miligramos de ácido perclórico, que es necesario añadirle a un gramo de la muestra de aceite para neutralizar todos sus componentes básicos. La cantidad añadida de algunos de estos ácidos se puede dar en función de miligramos de hidróxido de potasio (KOH), hallando el número equivalente.

El TBN analizado por el método ASTM D – 2896 (colorimétrico) da mayor que por el ASTM D – 664 (potenciométrico): por consiguiente, siempre que se evalúe esta característica con fines comparativos se debe hacer por el mismo método. La tendencia actual es utilizar solamente el método ASTM D – 664. Aunque este método es considerado por algunos organismos como obsoleto y es reemplazado por el ASTM D – 4739.

El TBN en un aceite de motor está relacionado con su capacidad de detergencia – dispersancia; a medida que disminuye se reduce la capacidad de limpieza del aceite hacia las partes del motor, en especial en la zona de la cabeza del pistón y en los anillos de compresión y raspador de aceite.

Los aceites de motor presentan valores de TBN o alcalinidad elevados y TAN de 2 a 3, debido a la composición de su paquete de aditivos.

Un aceite con un TBN de 12 tiene una eficiencia en la capacidad de limpieza de las partes del motor del 90%.

4.6.- PRUEBAS QUIMICO ANALITICAS PARA EN MONITOREO TRIBOLOGICO Y PARA DETERMINAR LA CALIDAD DEL ACEITE.

Al decidir como manejar un problema analítico como el análisis elemental, hay que prestar una cuidadosa consideración a la naturaleza de las muestras y los requisitos impuestos en los resultados del análisis. La composición de la muestra, los elementos a determinarse, la exactitud y precisión necesarias, dictarán la inversión requerida para proporcionar una información adecuada. Típicamente las muestras de lubricantes se componen de un aceite básico al cual se han incorporado componentes para dar rendimiento (aditivos).

En la fabricación, hay que analizar los lubricantes nuevos para comprobar su contenido de aditivos, mediante una determinación de los niveles de concentración de elementos presentes como componentes de los aditivos. Los niveles de concentración típicos fluctúan entre varias partes por millón (mg/kg) hasta varios puntos porcentuales de masa. Los resultados deberán ser exactos para permitir que la planta de mezclados decida si el lubricante se ha fabricado correctamente. Así mismo, deberán ser precisos para permitir la toma de decisiones basadas en rangos de especificaciones, típicamente de ± 3 al 10%, en relación con los valores deseados. Así mismo, los resultados deberán obtenerse rápidamente a fin de permitir programas de producción eficiente. En consecuencia, en las plantas de mezclado, el analista deberá ofrecer resultados con incertidumbres totales relativas no mayores del 2 al 4% dentro de un período de aproximadamente de 30 minutos después de haber recibido la muestra.

En laboratorios de desarrollo de lubricantes, las restricciones de tiempo por lo general no son tan intensas, pero el análisis deberá ser capaz de manejar una variedad de materiales mucho más amplia. Si bien un fabricante produce una gama fija de productos. Un laboratorio de investigación crea sustancias nuevas y singulares. Adicionalmente grupos químicos analíticos de investigación deberán ser capaces de asistir a los laboratorios de los fabricantes y los clientes en la realización de cualquier técnica de análisis que hayan seleccionado.

Los químicos analistas deberán tener la capacidad suficientes para aplicar a la mayoría de los métodos disponibles a cualquier muestra sometida. En el caso de los lubricantes en operación implican un conjunto adicional de requisitos, porque a menudo contienen elevados niveles de numerosos contaminantes. Las grasas presentan retos especiales para el análisis elemental y el

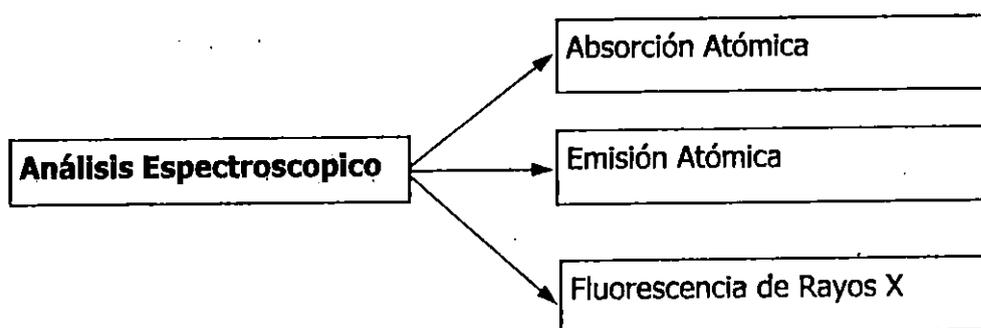
de operación. Debido a que son semisólidas y a menudo contienen polvos dispersados, la mayoría de las grasas no pueden ser manejadas y analizadas por métodos diseñados para muestras líquidas. Hasta hace poco, habían publicado unos pocos métodos de análisis elemental, los cuales estaban destinados a determinar los metales de desgaste y contaminantes de las grasas usadas.

Recientemente se ha establecido un método de análisis de grasas de aplicación universal para determinar los elementos aditivos, en conjunto con una cantidad de métodos especiales para grasas específicas.

4.6.1- Análisis Espectroscópico

El análisis espectroscópico implica la interacción de radiación electromagnética (LUZ) con la material. El espectro electromagnético fluctúa entre rayos gamma de longitud de onda corta y alta energía, hasta las ondas de radio de longitud de onda larga y baja energía. La naturaleza de la interacción de la luz usada. Los rayos gamma tienen mucha energía y con excepción de ciertas aplicaciones especiales, quedan fuera del rango de utilidad analítica normal. El análisis espectroscópico implica la interacción de la luz con los electrones que rodean el núcleo del átomo y ocurre en la región de rayos x, ultravioletas visibles del espectro. En longitudes de onda más largas, incluso las regiones infrarrojas de microondas y de ondas de radio, la luz interactúa con los enlaces entre átomos en las moléculas, haciendo que vibren y giren. Estas regiones son útiles en la espectroscopía molecular usada para identificar compuestos. Se examinan en técnicas espectroscópicas elementales que usan longitudes de onda inferiores a 7×10^{-7} m.

En el análisis espectroscópico elemental, existen tres procesos mediante los cuales la luz interactúa con los átomos. El siguiente esquema se observan los tres procesos mencionados, para que en las siguientes secciones se expongan sus fundamentos y utilidades en el análisis de aceite.



Un átomo en fase en mínima energía puede absorber luz, poniéndolo así en un estado de excitación mediante un proceso llamado "Absorción Atómica".

Un átomo ya en estado de excitación puede regresar a la fase de mínima energía por emisión de luz en un proceso llamado fluorescencia, es un caso especial en el cual se absorbe la luz de una longitud de onda específica y luego se remite a una longitud de onda más larga.

La espectroscopía es posible debido a que estos tres procesos ocurren a longitudes de onda muy específicas asociadas con los niveles de energía de los electrones en un átomo y no sobre una región continua de longitud de onda. Debido a que cada átomo cuenta con su propio conjunto de niveles de energía, un elemento específico tendrá un conjunto exclusivo de longitud de onda de luz a las cuales observará, emitirá y flourescerá. Como resultado, la observación de una longitud de onda de luz específica, identificará el elemento presente. Debido a que la cantidad de la luz absorbida, emitida o flourescida es proporcional al número de átomos presentes, puede usarse la medición de la intensidad de la luz para determinar la concentración del elemento, la espectrometría elemental es tanto cualitativa como cuantitativa.

4.6.1.1.- Fundamentos de Espectroscopia por Absorción Atómica.

Un átomo en fase de mínima energía puede absorber luz para convertirse en un átomo en estado de excitación mediante el proceso de absorción atómica. Este proceso en realidad implica la transición de un electrón exterior al átomo de su nivel normal de energía a un nivel más alto. Cada elemento tiene un conjunto exclusivo de niveles de energía igual a la diferencia energética entre los dos niveles. Debido a que la energía de la luz varía dependiendo de su longitud de onda y por eso, la absorción atómica es un técnica específica para elementos.

Si se Irradia una muestra con una longitud de onda característica de un elemento, sólo los átomos de dicho elemento podrán absorber la luz. La intensidad de la luz se mide y la disminución es proporcional a la concentración de dicho elemento en la muestra. Consecuentemente, la absorción atómica requiere un fuente de luz externa a una longitud de onda específica del elemento a determinarse.

Con más frecuencia, la fuente de luz es una lámpara catódica hueca con un cátodo compuesto del elemento a analizarse. Al aplicarse un voltaje a través del ánodo y cátodo, los átomos se desprenden del cátodo por bombardeo iónico y se excitan. Los átomos excitados emiten

luz a longitudes de onda específicas para dicho elemento. Otra fuente de luz es la lámpara de descarga sin electrodo que usa energía de radio frecuencia para vaporizar y excitar un elemento sellado en un bolsillo de cuarzo. El requisito de una fuente de luz que proporcione una longitud de onda de luz específica es una de las limitaciones de la espectrometría de absorción atómica a saber, que la técnica sólo es capaz de determinar un elemento a la vez.

La absorción de luz para ocasionar transiciones de electrones exteriores de un átomo supone que estos electrones, pueden moverse libremente entre niveles de energía. Esto conduce a otro requisito de la absorción atómica, el cual es, que el elemento no puede estar ligado dentro de un compuesto molecular, sino que deberá existir como átomo libre. Por eso, para determinar la presencia de un elemento mediante absorción atómica, hay que separar sus compuestos moleculares en sus átomos constituyentes a fin de que puedan absorber la luz de una longitud de onda específica. Esto se logra con un dispositivo llamado atomizador, que normalmente crea átomos mediante descomposición térmica de la muestra a alta temperatura.

Los atomizadores típicos consisten en quemadores que usan llamas de aire/ acetileno ó de óxido nitroso/acetileno, para lograr temperaturas entre 2200 y 2800°C. también se usan como atomizadores tubos de grafito calentados eléctricamente capaces de operar a temperaturas de hasta 2700°C en una técnica muy sensible llamada Espectrometría de Absorción Atómica de Horno de Grafito (AAHG) que tiene una amplia aplicación en el análisis ambiental. La espectrometría (AAHG) tiene una sensibilidad mucho más alta que la requerida para el análisis de lubricantes, y por eso la mayoría de las determinaciones se realizan con atomizadores de llama.

Las muestras para análisis no se pueden colocar directamente dentro de la llama del atomizador y en consecuencia la absorción atómica por lo general requiere algún tipo de preparación de muestras. Normalmente para los lubricantes y aditivos, implica la disolución en un solvente orgánico que luego se rocía a través de un nebulizador neumático para entrega al atomizador de llama en forma de AEROSOL FINO.

El componente final necesario para un análisis de absorción atómica es un medio de aislar la longitud de onda de luz deseada y medir la intensidad de la luz de la fuente. Esta labor corresponde al espectrometro, que contiene un rejilla de difracción que dispersa la luz y separa

longitud de onda de interés de otras radiaciones y un tubo fotomultiplicador que convierte la intensidad de luz que lo impacta de una señal eléctrica que se registre.

La relación lineal entre la absorción y la concentración del elemento analizado solo se mantiene sobre un rango de concentraciones limitada, así que el espectrometro se calibra con patrones dentro de dicho rango. Las muestras deberán diluirse para caer dentro de este rango de concentraciones, esto implica que debe tenerse una idea de la concentración del elemento.

El uso de una fuente de luz externa origina una absorción atómica esencialmente libre de interferencias espectrales, pero la limitación que sólo absorberán los átomos libres en fase de mínima energía hace que la técnica sea susceptible a interferencias químicas. Esto ocurre más frecuentemente cuando el elemento analizado está presente en forma de compuesto refractario en la muestra en el atomizador, para formar compuestos refractarios que no se descomponen fácilmente a las temperaturas de llama disponible.

Adicionalmente, puede ocurrir interferencia ionizante cuando un elemento que se ioniza fácilmente pierde un electrón para convertirse en ion libre en el atomizador. Debido a que el ion tiene niveles de energía distintos a los del átomo, la longitud de onda usada para detectar el elemento en forma de átomo, no será absorbida por los IONES. Es posible reducir los efectos de ambos problemas, mediante la incorporación en la muestra de modificadores químicos y supresores de ionización, pero para ciertos elementos, se verá menos cavada la sensibilidad de la absorción atómica. La ordenación óptica esquemática de un espectrometro de absorción atómica se observa en la figura 4.14.

4.6.1.2.- Fundamentos de la Espectroscopía por Emisión Atómica.

La emisión atómica es un proceso mediante el cual un átomo en estado de excitación (es decir, con un electrón exterior en un nivel de energía más alto que su fase de energía mínima) regresa espontáneamente a la fase de energía mínima al emitir luz. La longitud de onda de la luz emitida dependerá de la diferencia de energía entre dos niveles de transición electrónica.

Existen múltiples niveles de energía dentro del átomo capaces de originar cientos de posibles transiciones electrónicas en consecuencia, cientos de longitudes de onda ó líneas de emisión por elemento. Cada elemento producirá un espectro exclusivo de líneas de emisión que podrá usarse para identificar dicho elemento.

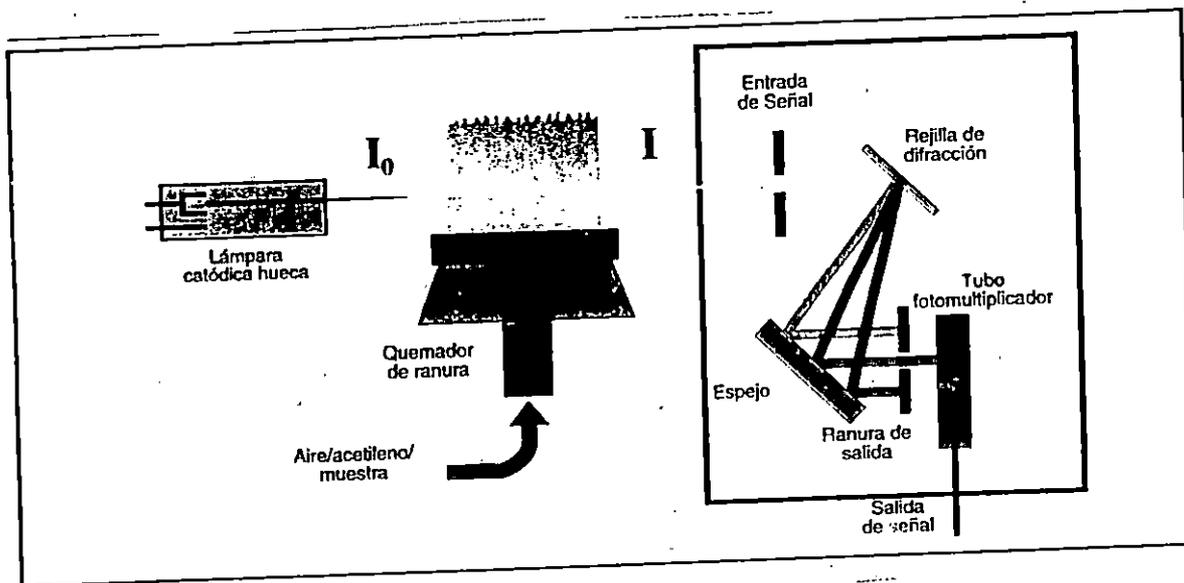


FIGURA 4.14 Esquema de ordenación óptica de un espectrómetro de absorción atómica.

A diferencia de la absorción atómica, que mide la intensidad de una fuente de luz externa, la luz medida en la emisión atómica es generada por los átomos del elemento analizado en sí. Esto confiere a la emisión atómica varias ventajas con respecto a la absorción atómica. Debido a que no se requiere una fuente de luz externa para la emisión atómica, pueden determinarse muchos elementos simultáneamente, mediante la medición de las intensidades de sus líneas de emisión. Para los elementos que se ionizan, las longitudes de onda emitidas por el ion también pueden medirse. La intensidad de la luz emitida es directamente proporcional a la concentración del elemento presente y a la relación lineal se mantiene sobre una gamma de concentraciones mucho más amplia que en la absorción atómica. Estos factores hacen que la espectrometría de emisión atómica sea más fácil de calibrar.

De manera similar a la absorción atómica, la emisión atómica exige que el elemento esté presente en forma de átomos libres o iones y por esto también se necesita un ionizador. No obstante, el atomizador para la emisión atómica también deberá suministrar suficiente energía térmica para excitar los átomos o iones generados. Debido a que los elementos en el atomizador emiten la luz que se mide en el atomizador para la espectroscopía de emisión se denomina la "fuente". Si bien la llama de un quemador puede usarse para ciertos metales alcalinos fácilmente excitados, no tienen la capacidad de lograr las temperaturas suficientemente altas para construir una buena fuente para la espectroscopía de emisiones.

Tradicionalmente, la fuente para la espectroscopía de emisiones ha sido descargada eléctricamente entre electrodos de grafito, ya sea en forma de arco o chispa. Gran parte de los trabajos de análisis de aceite se realizan con un electrodo de disco rotatorio en los espectrómetros de fuente de chispa. No obstante, una innovación en las fuentes de emisión atómica, denominada "plasma de argón" tiende a reemplazar las fuentes de chispa de descarga eléctrica para muchas aplicaciones, entre ellas el análisis de aceite. El término "plasma de argón" significa una corriente altamente ionizada de gas de argón de alta temperatura.

Hoy en día se usan dos tipos de fuente de plasma: el plasma de Corriente Directa (PCD) y el plasma de Acoplamiento Inductivo (PAI). Ambos tipos producen una región de alta temperatura térmicamente más uniforme y estable para la atomización de la muestra que descargas eléctricas.

En un espectrómetro PCD, se aplica un voltaje alto a través de un cátodo superior y dos ánodos inferiores sobre los cuales fluyen corrientes de argón. Una chispa de ignición ioniza parte

del argón, convirtiéndolo en el camino de conducción de la corriente eléctrica. A medida que se ionice más argón se forma el plasma de alta temperatura de 10,000°C. la muestra disuelta en disolvente orgánico se rocía mediante un nebulizador neumático y es llevado por una corriente de argón dentro del plasma, hasta un punto por debajo de la intersección de los brazos de la "Y", la muestra en aerosol viaja hacia arriba por la superficie del plasma pero lo penetra. La región de excitación justo debajo del plasma alcanza temperaturas de 6,000 a 7,000°C el punto en que la muestra se atomiza y excita.

En un espectrómetro PAI, la energía de radiofrecuencia que fluye a través de una bobina. Esta corriente ocasiona más ionización y calentamiento lo que enciende el plasma. La antorcha consiste en dos tubos de cuarzo concéntricos, cada uno de los cuales tiene una entrada de argón. El tubo exterior lleva la mayor parte del argón para el plasma, que sube tangencialmente en espiral dentro del tubo para confinar el plasma y evitar que haga contacto con el cuarzo. Esto se denomina "argón de enfriamiento". El tubo interior lleva una pequeña cantidad de argón, denominada el "argón auxiliar" a la base del plasma.

Dentro de la bobina se origina un plasma en forma de rosquilla, que llega a temperaturas de hasta 10,000°C. el plasma se ahusa hacia una punta cónica por arriba de la antorcha. Un tercer tubo llamado "el inyector de muestras" queda en el centro de la antorcha por debajo del plasma.

La muestra del elemento analizado, disuelta en un disolvente orgánico, se rocía mediante un nebulizador neumático, y es llevada por una corriente de argón hacia arriba por el centro del inyector. La muestra en aerosol resultante atraviesa el canal central del plasma en una región cuya temperatura varía entre 6,000 y 8,000°C. el espectrómetro observa la luz del canal central en un área cerca de la parte superior del plasma, alejado de la luz blanca intensa emitida por el cuerpo principal del plasma. En la espectroscopia de emisiones atómicas, la intensidad de la luz de la fuente es directamente proporcional a la concentración del elemento.

Al igual que en la absorción atómica, se necesita un espectrómetro para aislar la longitud de onda de interés y medir su intensidad. No obstante, este asunto es más complejo en la emisión atómica, debido a múltiples longitudes de onda de luz emitidas al mismo tiempo por todos los elementos de la muestra. Se necesita un espectrómetro de resolución mucho más elevada para separar todas las longitudes de onda entre sí. Esto requiere una longitud óptica focal más

larga y por eso los instrumentos de emisión generalmente son más grandes y cuestan más que los instrumentos de absorción. Existen diversos tipos de diseños ópticos para los espectrómetros que emplean una energía de difracción para dispersar la luz y separar las longitudes de onda. Los detectores de tubo fotomultiplicador miden la intensidad. Se emplean dos disposiciones generales de detector: simultánea y secuencial. La disposición simultánea tiene la ventaja de la capacidad multielemental de la espectroscopia de emisión, mediante el uso de múltiples detectores para medir muchos elementos al mismo tiempo. La principal ventaja de este diseño es la velocidad de análisis.

La luz emanada de la fuente a través de una ranura de entrada impacta contra una rejilla de difracción cóncava y se dispersan las diferentes longitudes de onda. Los detectores se posicionan para interceptar las longitudes de onda de interés. Las desventajas de este diseño son que sólo pueden determinarse los elementos para los cuales hayan detectores instalados correspondientes a su longitud de onda y el uso de múltiples detectores aumentan el costo del instrumento. Los espectrómetros secuenciales, usan un solo detector y miden una longitud de onda a la vez, ya sea:

- a) Girando la rejilla de difracción para enfocar una longitud de onda específica en el detector.
- b) Situando el detector en una posición en la cual impacta una longitud de onda específica.

Los elementos deseados se determinan secuencialmente, al reposicionar el detector o rejilla para cada elemento consecutivo. La desventaja de esta disposición es que el análisis tarda progresivamente más tiempo a medida que se determinen más elementos, haciendo que un instrumento secuencial sea mucho más lento que uno simultáneo. El costo del espectrómetro secuencial es considerablemente inferior, ya que se ha eliminado la necesidad de múltiples detectores. Existen instrumentos combinados que tienen un espectrómetro simultáneo y un secuencial que comparten la misma fuente a fin de aprovechar las ventajas de ambos.

Las altas temperaturas de los plasmas de acoplamiento deductivo y de corriente directa son capaces de descomponer fácilmente los compuestos más refractarios, de manera que las interferencias químicas no presentan los mismos problemas que en la espectroscopía de absorción atómica. No obstante, de la absorción atómica, que conserva una sola longitud de onda de luz, la multitud de longitudes de onda de un espectrómetro PCD ó PAI hace que las interferencias espectrales ocurran cuando una longitud de onda cercana de otro elemento traslapa la longitud de onda del elemento analizado, debido a una resolución insuficiente dentro del espectrómetro. Asimismo puede ocurrir cuando los componentes de la muestra elevan el fondo espectral en la región general de la longitud de onda del elemento analizado. Si no puede usarse una longitud de

onda de emisión alternativa para el elemento ha ser analizado, el traslape espectral se corrige mediante la aplicación de "factores de interferencia espectral entre elementos", para restar aquella parte de la señal que no se debe al elemento analizado. La elevación de fondo puede corregirse mediante la medición de la intensidad de la luz a longitudes de onda ligeramente superiores e inferiores a la longitud de onda del elemento analizado y usando estas medidas para aproximar el valor base real.

4.6.2.- Fundamentos de Espectroscopia por Fluorescencia de Rayos X

Los rayos x son luz de longitudes de onda muy cortas y energía muy elevada, en comparación con la luz visible y ultravioleta usada en las espectroscopías de absorción y emisión. El proceso de fluorescencia de rayos x comienza con la expulsión de uno o más electrones, confinados estrechamente cerca del núcleo del átomo. La energía requerida para expulsar un electrón de núcleo se obtiene cuando el átomo es impactado por rayos x, electrones o protones de alta energía. En este punto, el átomo existe en forma de ion con sus elementos en estado excitado. Regresa a la fase de energía mínima a medida que los electrones exteriores poco confinados ocupen las vacantes interiores dejadas por los electrones expulsados. Los electrones exteriores pierden energía por fluorescencia, es decir, emiten rayos x. Luego, los iones capturan los electrones libres para llenar las vacantes dejadas por los electrones exteriores.

La longitud de onda de un rayo x emitido depende de la diferencia energética entre los orbitales atómicos involucrados en la transición. Debido a que los átomos de cada elemento tienen sus propios niveles de energía exclusivos, cada elemento presente crea un conjunto de rayos x que permite una identificación cualitativa de los elementos presentes. La medición de la intensidad de una longitud de onda característica permite una determinación cuantitativa de la concentración de dicho elemento.

El primer componente de un espectrómetro de fluorescencia de rayos x es la fuente usada para excitar los átomos en la muestra. Los tipos más comunes de fuente son tubos de rayos x y minerales radioactivos. Los tubos de rayos x consisten en un filamento y un bloque de metal encerrados en un recinto evacuado. El filamento se calienta, haciendo que emita electrones. Los

electrones son acelerados hacia el bloque de metal mediante un voltaje alto aplicado entre el filamento y el bloque. Cuando los electrones impactan contra el bloque, hacen que los átomos de metal fluorescan. La combinación de elevadas corrientes del filamento y altos voltajes crean un haz intenso de rayos x dirigidos sobre la muestra.

Los minerales radioactivos usados como fuente de fluorescencia de rayos x se refinan y se moldean en discos pequeños. Cada fuente contiene un radioisótopo único, más comúnmente Fe^{55} (hierro) y Cd^{109} (Cadmio). La descomposición radioactiva de estos isótopos crea una intensa emisión de rayos x. En contraste con las espectroscopías de emisión y absorción atómica, las longitudes de onda de rayos x no se ven afectadas por la unión química del átomo, ya que la mayoría de las transiciones de electrones que generan rayos x involucran niveles de energía cercanos al núcleo. Esto significa que es posible analizar una muestra sin tener que atomizarla. Las muestras líquidas y sólidas pueden colocarse directamente delante de un fuente de excitación para iniciar el proceso de fluorescencia, haciendo de la fluorescencia por rayos x una técnica no destructiva. Se requiere una colocación precisa cerca de la fuente para que todas las muestras experimenten exactamente la misma cantidad de rayos x de el tubo.

Una muestra líquida como lubricante deberá colocarse en una taza con una membrana plástica sumamente delgada extendida sobre el fondo. La membrana mantiene la muestra plana y en posición repetible, permitiendo que los rayos x entren y salgan de la misma. Es posible que algunos rayos x entren y salgan de la misma. Es posible que algunos rayos x de longitud de onda más larga sólo viajen una distancia más corta a través del aire o la membrana. En consecuencia, se usan las membranas más delgadas posibles, típicamente de 4×10^{-6} . La mayoría de los instrumentos permite que se vacíe el aire y se reemplace por helio para líquidos y polvos ó que se mantenga en un vacío para los sólidos a fin de minimizar la pérdida de rayos x antes de poder medirlos.

Una vez que la muestra se haya excitado y sus átomos hayan comenzado a fluorescer, los rayos x fluorescentes deberán separarse y medirse. Se originarán de la muestra rayos x de diversas longitudes de ondas y los rayos x de la fuente serán reflejados por la muestra. El espectrómetro deberá ofrecer un medio para separar estos rayos x para poder observar longitudes de onda individuales. Existen dos maneras comunes de lograr esta tarea. En ciertos espectrómetros, se permitirá que los rayos x de la muestra caigan sobre un cristal puro, por ejemplo, fluoruro de litio o germanio. El cristal difracta los rayos x, dispersándolos en muchas direcciones para que sea posible

posicionar un detector que intercepte los rayos x de cada elemento. El detector podrá ser un cristal emisor de luz que se mide por un tubo fotomultiplicador detrás de dicho cristal al ser impactado por rayos x o un contador proporcional que recoge la corriente eléctrica creada cuando los rayos x entran en una cámara llena de gas. Los espectrómetros que emplean la difracción por cristal se denominan instrumentos de dispersión de longitudes de onda.

Todos los componentes de un espectrómetro de rayos x moderno se contienen en un sola unidad controlada por computadora. El software de computadora controla las condiciones variables del espectrómetro, recoge los datos de intensidad de los detectores, realiza los cálculos matemáticos asociados con la calibración y almacena o informa los resultados de los análisis. Los espectrómetros más modernos y sensibles son capaces de detectar elementos desde el Boro hasta el Uranio en la tabla periódica. Los requisitos de manejo de las muestras líquidas limitan los elementos detectables del Sodio hasta el Uranio. En la figura 4.15 (a), se observa la apariencia exterior de un espectrometro de fluorescencia de Rayos X y en la figura 4.15 (b) el ordenamiento esquemático de los elementos.

4.6.3.- Métodos Espectroscópicos para Análisis de Lubricantes

Las organizaciones de normas internacionales han elaborado Métodos de Prueba Estándar para el análisis de elementos de aditivos de lubricantes con estas técnicas. La Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) y el Instituto del Petróleo (IP) sancionan una diversidad de métodos.

Los métodos cubren tan solo seis de los catorce elementos de interés. No obstante, muchas corporaciones individuales han desarrollado métodos para uso interno a fin de manejar los elementos restantes, generalmente por extensión de la metodología usada en los métodos ASTM e IP. Por ejemplo, los elementos Na, Mg, Si, Cl, K, Cu y Mo pueden detectarse mediante fluorescencia de rayos x, ampliando el alcance del método ASTM D 4927. Generalmente, las trazas de metales se incluyen con los elementos aditivos en los métodos que usa la espectroscopía de emisión atómica. El método estándar ASTM D 5185 es el primero que incluye una larga lista de elementos en trazas asociados con procesos de desgaste en aplicaciones de transporte e industriales.



FIGURA 4.15 (a) Aspecto exterior de un Espectrómetro de fluorescencia de RX.

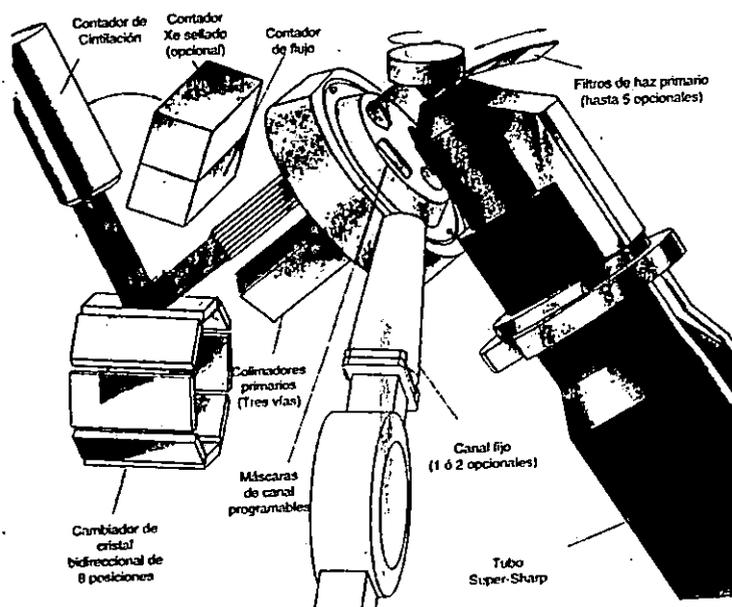


FIGURA 4.15 (b) Esquema de los componentes internos del Espectrómetro de fluorescencia de RX.

4.6.4.- Aplicación de la Absorción Atómica en Análisis de Lubricantes.

Si bien la absorción atómica es menos sensible que la emisión atómica y no se aplica con tanta facilidad como la fluorescencia de rayos x, es por mucho el método menos costoso entre las tres técnicas y por ende es ampliamente usada en el análisis de los lubricantes. Se han desarrollado métodos para determinar los metales aditivos comunes en los lubricantes y paquetes aditivos.

La temperatura relativamente baja de los atomizadores de llamas hace que la absorción atómica sea susceptible a interferencia química. Por lo general este problema se controla mediante una modificación de matriz, que implica la incorporación de sustancias químicas en la muestra analizada que impiden una reacción de los componentes de interferencia con el elemento analizado.

Los metales de aditivos como Magnesio, Calcio y Bario también son susceptibles a ionización en la llama. A fin de inhibir este proceso, como práctica común se preparan muestras para análisis con la incorporación de un exceso de Potasio. El potasio se ioniza más fácilmente que los metales aditivos y su producción de electrones libres en el atomizador suprime la ionización de los demás metales.

También debe monitorearse estrechamente el flujo de la muestra a través del nebulizador neumático usado para entregar la muestra a la llama. La viscosidad y tensión superficial de la muestra pueden afectar el régimen de flujo de una muestra disuelta a través del nebulizador. Si la muestra fluye más rápido o más lento que los patrones de calibración, los resultados reflejarán valores falsos altos o bajos, respectivamente. Este problema, llamado interferencia de transporte de muestras, se maneja haciendo coincidir la composición física de los patrones con la de las muestras. Normalmente, los patrones de calibración se preparan con aceite básico incorporado para igualar el contenido de aceite de las muestras.

La absorción atómica es útil para determinar los metales de aditivos comunes, pero la limitación de "un solo elemento a la vez" la restringe a unos pocos elementos por muestra. Sería poco práctico realizar por absorción atómica el análisis de metales de desgaste que implica veinte o más elementos por muestra. El método de absorción atómica es excepcional para determinar los metales alcalinos livianos. Por otra parte no se intenta la determinación de los metales refractorios, Boro, Fósforo, Azufre y Cloro por esta técnica, debido a limitaciones del atomizador de llamas y consideraciones espectrales.

Por lo general, la emisión atómica y la fluorescencia de rayos x dan mejor resultado que la absorción atómica en muchas categorías, pero la disponibilidad de espectrómetros de absorción atómica a un costo relativamente bajo dictarán el uso continuado de esta técnica para el análisis de los lubricantes.

4.6.5.- Aplicación de la Emisión Atómica en el Análisis del Lubricante

La principal ventaja de la espectroscopía de emisión atómica radica en el campo de los metales de desgaste. Por lo general, se analizan los aceites lubricantes usados para detectar la presencia de metales de desgaste como parte de un programa fijo de mantenimiento preventivo. En caso de detectarse un exceso de metales de desgaste, se programa el servicio y reparación de la unidad antes de que se averíe en operación y potencialmente ocasione daños irreparables o costosas reparaciones y excesivo tiempo en paro imprevisto. El análisis de metales de desgaste también se emplea durante el desarrollo de formulaciones nuevas del lubricantes a fin de examinar el grado de protección que el lubricante brinda a un motor. Un laboratorio de análisis de aceite comercial puede determinar veinte o más metales de desgaste en diez mil muestras de aceite al mes. Para estos niveles de volúmenes de muestra, se requiere un técnica simultánea de múltiples elementos.

El desarrollo de los lubricantes exige la determinación de metales aditivos a bajos niveles porcentuales, así como de metales de desgaste a microniveles en la misma muestra y al mismo tiempo. Esta necesidad requiere una técnica sensible y que tenga una gama de trabajo lineal carga. La espectroscopía de emisión atómica, especialmente como la fuente PCD ó PAI, cumple estos requisitos.

Las muestras de aceite usado deben diluirse por lo menos diez veces en un disolvente, por ejemplo, Kerosene a fin de rociarlo a través de un nebulizador neumático en la fuente de plasma. Incluso con el factor de disolución, las fuentes PSI y PAI tienen suficiente sensibilidad para determinar los metales de desgaste a bajos niveles de ppm.

El uso de un nebulizador neumático también origina la misma interferencia de transporte de muestra que ocurre en la absorción atómica en el análisis de lubricante de viscosidad variable. Puede aplicarse la igualación matricial de muestras y patrones, pero en la espectroscopía de emisión a menudo se emplea un procedimiento de elaboración de patrones internos. Esto se logra añadiendo un elemento que no ocurre en las muestras al patrón y a las muestras mismas, a la

misma concentración. Las intensidades medidas para los elementos analizados se dividen entre la intensidad medida para este elemento patrón interno; la concentración del elemento analizado se determina en base a esta razón.

Cualquier cosa que afecte los elementos analizados en la muestra afecta de igual manera al patrón interno y esto normaliza la señal de las muestras y los patrones para eliminar cualesquiera diferencias debida a interferencias de transporte de muestras.

La alta temperatura de la fuente de plasma hace que la espectroscopía de emisión sea idónea para la determinación de los metales refractarios. Su elevada sensibilidad y larga gama lineal la hace útil para trabajos de trazas y niveles normales de aditivos. La capacidad de un espectrómetro de emisión simultánea de determinar docenas de elementos por muestra en menos de un minuto la hace muy útil cuando hay necesidad de medir muchos elementos en un gran número de muestras. Así mismo, la espectroscopía de emisión tiene la capacidad de determinar los elementos ligeros que no pueden medirse mediante fluorescencia de rayos , tales como Litio, Berilio y Boro. No obstante, debido a consideraciones espectrales, no es posible determinar el Cloro y el Azufre exige un espectrógrafo purgado o de vacío. Así mismo, los metales alcalinos de elevada longitud de onda se determina mejor mediante la absorción atómica.

4.6.6.- Aplicación de la Fluorescencia de Rayos X en el Análisis de Lubricantes.

Los métodos de fluorescencia de rayos x (FRX) están ampliamente aceptados para la determinación de elementos de aditivos y ciertos elementos en trazas en los aceites lubricantes y aditivos sobre una amplia gama de concentraciones. La mayoría de los métodos FRX miden entre cinco y diez elementos a la vez en menos de cinco minutos por muestra. Las muestras se vierten en tazas con mirillas de película delgada y son observadas desde el fondo por el espectrómetro. Este enfoque tiene una desventaja a saber, que cualesquier partícula en el líquido puede asentarse en el fondo y distorsionar la medición. En consecuencia, los métodos FRX no pueden usarse con aceites usados intensamente contaminados.

La principal ventaja de los espectrómetros de fluorescencia de rayos x es su capacidad de medir numerosos elementos aditivos y contaminantes en una muestra sin preparación de muestras, excepto cuando hay que diluir en aceite mineral en paquetes de aditivos de alta concentración. Con un sofisticado espectrómetro y programa de software, puede implantarse un solo método para

determinar diez o más elementos en casi todos los aceites lubricantes. Así mismo, es posible analizar las grasas aunque se requiere cierto trabajo de preparación de muestras.

Si bien los espectrómetros de fluorescencia de rayos x son relativamente fáciles de operar, el desarrollo de un método exacto y preciso para un tipo de muestra específico exige un personal capacitado y experimentado. Esto se debe a que las mediciones de fluorescencia de rayos x se complican con las interacciones naturales de los rayos x dentro de la muestra. Cuando un átomo fluoresce, el rayo x debe escaparse de la muestra antes de que pueda detectarse. A menudo, un rayo x de nueva creación puede impactar con otro átomo y ser absorbido antes de poder escaparse para análisis. La probabilidad de que esto ocurra varía, dependiendo de las concentraciones de otros elementos de la muestra.

Un enfoque para eliminar la interferencia de absorción es preparar un conjunto de patrones que imitan las concentraciones de los elementos, hay que tener a mano diez o más patrones. Después de una cuidadosa medición se usa un modelo matemático para calibrar los efectos de cada interferencia de absorción. En un método de diez elementos, hay cien efectos que deben calibrarse.

Un método alternativo se conoce como el "método de patrones internos". Para cada elemento analizado, se elige un elemento patrón y se incorpora en una cantidad fija a todos los patrones y muestras. En la emisión atómica, es posible que un elemento patrón interno sea suficiente. No obstante, en los métodos FRX, posiblemente se necesite un elemento patrón interno para cada elemento analizado. Obviamente, los métodos FRX de patrón interno de múltiples elementos exigen un trabajo considerable de preparación de muestras y no son factibles para las determinaciones de rutina.

Para contrarrestar las dificultades de calibración, los espectrómetros FRX son bastante estables y una vez que los modelos de calibración se hallan establecido y se haya comprobado su exactitud, no es necesario repetir el proceso de calibración. Los procedimientos de control de deriva y los procedimientos de recalibración simples y fáciles de usar permiten al analista mantener el método bajo control completo durante un período indefinido. Los espectrómetros automatizados con tubos de rayos x, cambiadores de muestra y gabinete de temperatura constante controlados por

computadora pueden usarse continuamente durante meses enteros.

4.6.7.- Espectrografía por Absorción Atómica en aceites industriales

Se emplea muy poco, excepto para aquellos equipos críticos que por su importancia dentro de un sistema de producción puedan en un momento dado parar toda una planta. Por lo general los metales que se analizan y su origen son:

- Hierro: Engranajes y rodamientos.
- Cobre: Babbitt de cojinetes de fricción o del separador en rodamientos (no en todos los casos).
- Silicio: Aire exterior.

Para determinar las concentraciones máximas permisibles de cada metal se procede en forma similar a lo ya visto para motores de combustión interna. Como es obvio el contenido de hierro será más o menos alto, dependiendo del tamaño y número de piñones. De igual forma cuando se presente desgaste abrasivo en los piñones el contenido de hierro.

4.6.7.1.- Ventajas de la Espectrografía por Absorción Atómica

Un buen análisis de espectrografía por absorción atómica ofrece una invaluable información que si el usuario la interpreta correctamente, le permite obtener las siguientes ventajas:

- Evita reparaciones innecesarias en los equipos.
- Predice fallas que se están iniciando en uno o en varios componentes.
- Evalúa la calidad del lubricante utilizado.
- Reduce el tiempo de mantenimiento preventivo porque antes de parar el equipo se conocen los elementos que es necesario cambiar.

4.6.7.2.- Análisis de los Aditivos de Aceite.

El análisis elemental, busca entre otras cosas la presencia y concentración de los elementos de los que están constituidos los aditivos, cada fabricante tiene sus propias formulaciones, pero en forma general se pueden encontrar los siguientes elementos en los aditivos:

- Nitrógeno. Proviene de los dispersantes y de los mejoradores de índice de viscosidad.
- Calcio, magnesio (bario, sodio). Proviene de los detergentes o de las goteras de anticongelante del radiador.
- Fósforo y zinc. Proviene de antidesgaste y del antioxidante.
- Otros elementos posibles pueden ser el cobre, molibdeno y boro. El cobre puede estar presente como aditivo hasta en 200 ppm. Este y el molibdeno pueden ser consecuencia también del desgaste de ciertos mecanismos lubricados. El boro puede proceder del anticongelante del radiador.

4.7.- PRUEBAS ESPECIALES EMPLEADAS EN EL MONITOREO TRIBOLOGICO.

Las pruebas especiales de análisis, son las que se realizan únicamente a aceites en operación y cuyo objetivo no es determinar una propiedad del aceite, sino buscar evidencia por medio de sus contaminantes de problemas en la máquina. Los laboratorios especializados idean cual es el tipo de pruebas que más y mejores resultados les brinde, haciendo las pruebas que diferente fabricantes ofrecen, en las siguientes secciones se describen cuatro tipos de pruebas que son comúnmente realizadas por diversos laboratorios.

4.7.1.- Análisis Infrarrojo Diferencial (DIR)

Permite analizar un aceite usado comparándolo con el original. El método consiste en hacer pasar un haz de luz infrarrojo a través de una delgada película del aceite sin usar, y otra de aceite usado. Esto da en cada caso una determinada longitud de onda. La diferencia es el resultado de la absorción de longitud de onda en micrones, por parte del aceite usado, la cual está relacionada directamente con el tipo de contaminante que el aceite contiene.

4.7.2.- Análisis por Ferrografía

La tendencia en la actualidad es reducir hasta llegar a eliminar el mantenimiento preventivo y trabajar de acuerdo con la predicción de la vida útil de los equipos. La clave fundamental del mantenimiento predictivo es la capacidad para generar en forma simultánea el diagnóstico y la predicción de la condición de los equipos rotatorios y alternativos. El diagnóstico sin predicción es de poca utilidad en la práctica industrial, en donde se requiere saber cuándo hay que intervenir. Por otro lado, predicción sin diagnóstico es inducir a intervenciones tan ciegas que normalmente deparan sorpresas al desarmar, convirtiendo esta operación en un mantenimiento correctivo al tener que cambiar elementos mecánicos que se encontraban en buen estado, pero que al tratar de montarlos de nuevo, no acoplan correctamente debido a que el desgaste no ha sido uniforme en todas las superficies friccionantes.

El diagnóstico y la predicción sólo pueden hacerse analizando claves para el mantenimiento predictivo. Es un hecho conocido que la lubricación es esencial para el trabajo de las máquinas. Normalmente el control de la lubricación se ha limitado a la vigilancia del nivel de aceite y a la posible degradación de éste, lo cual se verifica mediante pruebas físico - químicas, al aceite usado; todo esto es un control defensivo de la lubricación. La nueva visión tribológica se une al mantenimiento bajo la forma de control ofensivo de la lubricación orientada a prevenir predictivamente una lubricación anormal, considerando su interacción con la predicción y diagnóstico de problemas y fallas internas que lesionan la vida útil de la maquinaria.

Comparativamente debe pensarse que un lubricante circula a través de todas las partes internas en movimiento relativo del equipo, tal como lo hace la sangre en el cuerpo humano, recolectando innumerables partículas originadas por el desgaste adhesivo de los mecanismos, entrada de impurezas del medio ambiente o por compuestos procedentes de la descomposición del lubricante, de las cuales se puede extraer una gran cantidad de información sobre la condición de lubricación; en otras palabras, contiene y entrega un registro del proceso de formación de cada partícula de desgaste o del tipo de contaminante.

Para poder detectar procesos de lubricación anormales insuficientes y elegir la mejor técnica de lubricación, una importante alternativa es utilizar la ferrografía, la cual analiza la concentración, el tamaño, la forma y la procedencia de las partículas metálicas presentes en el aceite.

La ferrografía es la técnica más exitosa y de mayor validez y amplitud, de uso en la industria, la minería y plantas de servicios, la cual ha sido utilizada desde 1984 a nivel mundial, destacándose como una técnica que detecta, cuantifica, alerta, pronostica y diagnostica problemas mecánicos que pueden llegar a ser de gran seriedad.

La ferrografía capta partículas metálicas en el rango de 0.1 a 500 μm , con lo cual cubre no solamente el campo del desgaste anormal y traumático (10 a 100 μm), sino que opera también en el rango de los espectrógrafos (espectrofotometría por absorción atómica); esto significa que se pueden obtener mediciones valiables y completas en todo el rango.

La característica más visible de la ferrografía es que consiste en un método escalonado de detección, separación y conteo (cuantitativo) y estratificación, análisis y reconocimiento (cualitativo).

La ferrografía permite, entonces, en primer lugar, la detección temprana de un problema mecánico que se manifiesta a través del desprendimiento de una cantidad y un tamaño anormal de partículas de desgaste. Seguidamente almacena datos de dicho perfil de distribución y concentración de partículas en el tiempo, y asistida por un programa computacional, histórica y proyectada de dichas variables, la cual permite hacer predicción del agravamiento del problema mecánico interno.

Finalmente y a nivel de laboratorio, la ferrografía con la ayuda del microscopio y de patrones de reconocimiento, realiza un análisis de la forma y del tamaño de las partículas del desgaste. Esto significa avanzar hacia un preciso diagnóstico del origen del problema, de su naturaleza y evolución.

4.7.2.1.- Componentes del equipo de ferrografía

En la figura 4.16, se observan todos los equipos empleados en un análisis moderno por ferrografía. Los componentes de los equipos de ferrografía varían, según la forma en que se realicen las pruebas, a continuación se describen brevemente algunos de los equipos de ferrografía que se emplean:

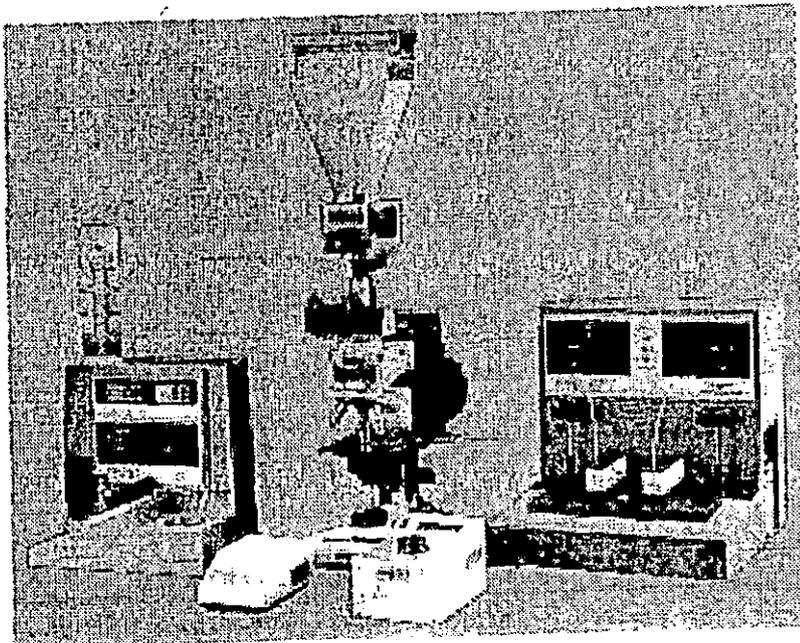


FIGURA 4.16 Componentes de un equipo de Ferrografia.

- Dos ferrógrafos de lectura directa, que permiten la toma periódica en línea de los valores cuantitativos de las partículas de desgaste. Estos datos almacenados en serie y asistidos por un programa y una computadora, permiten la detección temprana de un problema mecánico y el seguimiento de éste.
- Un ferrógrafo analítico dual, en el cual se estratifican las muestras automáticamente por diversas órdenes de tamaño.
- Un ferroscoPIO. Un equipo que permite, mediante un microscopio de diferentes aumentos (100,400,800,1.000, etc.), de luz polarizada y filtros ópticos, la obtención de los ferrogramas. Este equipo lleva incorporada una cámara fotográfica que permite tomar microfotografías de los ferrogramas.(Ver figura 4.16)
- Un atlas de partículas el cual permite, mediante la comparación, el rápido reconocimiento del tipo de partículas de desgaste y su posible origen.
- Hardware de computación constituido por un computador y una impresora.
- Software para el procesamiento en serie de las muestras, el cual almacena lectura, formas históricas, proyecta tendencias y alerta sobre problemas.

4.7.2.2.- Método de evaluación

La ferrografía consiste en tomar una muestra del aceite usado y pasarla inicialmente por el ferrógrafo de lectura directa (contador de partículas), donde se clasifican en dos grupos, de acuerdo con su tamaño. Si la concentración de partículas mayores de $10\mu\text{m}$ sobrepasa un límite preestablecido (normalmente por encima de 100), se le hace el ferrograma a la muestra de aceite: de lo contrario, no es necesario porque no hay indicios de que se esté presentando algún tipo de falla en el mecanismo. En caso positivo, se vierte parte de la muestra de aceite (3 cc aproximadamente) en una probeta plana y se coloca en el ferrógrafo analítico dual, sometiéndola a un campo magnético en el cual quedan orientadas paralelamente las partículas ferrosas que contengan el aceite. Posteriormente, se lleva la probeta al ferroscoPIO y por medio de aumentos en el microscopio se analiza el material de la partícula, el tamaño y su forma.

El tipo de material que permite determinar cuál mecanismo se está desgastando en el equipo, para lo cual es necesario conocer los materiales que conforman los diferentes mecanismos.

Una buena fórmula consiste en tomar patrones de estos materiales y tenerlos de referencia con fines comparativos. El tamaño de la partícula indica la gravedad de la falla y la forma el tipo de desgaste que se está presentando.

Los diferentes tipos de desgaste que se pueden evaluar en un ferrograma son:

- Adhesivo normal. No representa ningún peligro para el equipo.
- Adhesivo anormal. Debido a la interpretación y cizalladura de las superficies deslizantes.
- Por deslizamiento. Ocasionado por cargas excesivas y altas velocidades en superficies de deslizamiento.
- Por rodadura y deslizamiento combinados. Este tipo de desgaste se asocia principalmente con los engranajes.
- Por fatiga.

El ferrograma permite analizar adicionalmente metales no ferrosos, como el aluminio, plata, cromo, cadmio, magnesio, titanio, zinc; aleaciones de cobre y de plomo – estaño.

Las partículas metálicas son reconocidas como no ferrosas por un modelo de deposición no magnética sobre los ferrogramas. En lugar de alinearse en el campo magnético, ocupando un lugar en una hilera ordenada de partículas ferrosas, se depositan con orientación aleatoria, probabilística o entre hileras de partículas ferrosas.

Otros compuestos que son identificables por medio de la ferrografía son los óxidos (que se pueden clasificar en rojos y negros): Los residuos de desgaste corrosivo, los polímeros de fricción, el bisulfuro de molibdeno, polvo del medio ambiente, polvo de carbón, asbestos, materiales de filtros y residuos de empaquetaduras y retenedores.

4.7.2.3.- Espectrofotometría vs. Ferrografía

No hay un concepto universal sobre cuál de estos dos métodos analíticos es el más confiable para predecir la falla de un equipo. Hay usuarios que por medio de la espectrofotometría han obtenido excelentes resultados en el diagnóstico del desgaste en equipos dinámicos. Sin embargo, a medida que se expande más la utilización de la ferrografía, los usuarios han venido obteniendo resultados concretos con mayor rapidez y con un alto grado de precisión.

4.7.3.- Conteo de partículas, NORMA ISO 4416.

El conteo de partículas permite un control sobre la cantidad y tamaño de partículas sólidas que contaminan los fluidos hidráulicos y aceite, principalmente se emplea en aplicaciones donde la limpieza del lubricante es crítica, estos equipos a menudo necesitan la filtración fina de aceite en servicio. La prueba consiste en conectar un medidor electrónico en uno de los conductos por donde circula el lubricante, el medidor registra y muestra en un display los resultados.

La ISO 4416 establece el método estándar internacional, si existe agua a niveles superiores a 300 ppm, este ensayo es impracticable. En la figura 4.17 se observa un contador de partículas de una marca comercial.

4.7.4.- Medición del tamaño de las partículas.

Esta prueba es un complemento del conteo de partículas, y se emplean en las mismas aplicaciones, consiste en determinar el tamaño de las partículas, para definir el grado de limpieza del aceite, el código de contaminantes sólidos de la ISO, el método para clasificar la distribución de los tamaños de las partículas sólidas en los sistemas de lubricación, que típicamente registra gamas de tamaños de partículas de >5 y > 15 micrones. Las partículas de tamaño mayor de 15 micrones por lo general corresponden con contaminación de materia extraña, en tanto partículas de tamaño mayor de 5 corresponden a partículas de desgaste en el sistema.

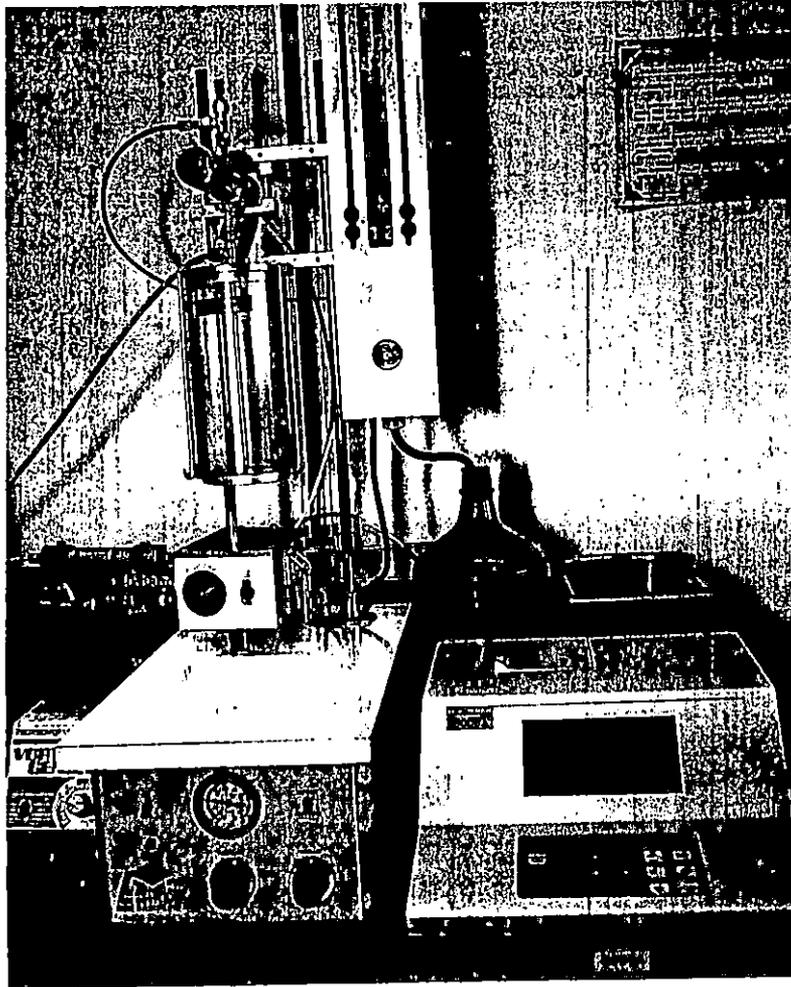


FIGURA 4.17 : Contador de partículas comercial.

5.0.- EL ANALISIS DE ACEITE COMO APOYO AL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

La lubricación es una de las funciones más importantes dentro de cualquier proceso productivo y una falla en su organización puede afectar seriamente las labores del departamento de Mantenimiento y de Operaciones. Esta organización solamente se puede llevar a cabo si se cuenta con un buen programa sistematizado de lubricación y con un personal de mantenimiento y lubricación bien capacitado.

Un problema relacionado con la lubricación en una planta, es conocer los parámetros necesarios para asegurar que la administración y labores de lubricación se esta haciendo en forma correcta, en solución a este problema, los entendidos sugirieren una serie de argumentos que se pueden tomar como base, para establecer criterios que sean empleados por los encargados de la lubricación para saber si están realizando el trabajo sistemáticamente correcto, entre estos argumentos se encuentran:

1. No incurrir en errores conceptuales, en el programa de lubricación.
2. Que el programa de mantenimiento sea una responsabilidad integral.
3. Que se tenga el optimo personal para las tareas de lubricación.
4. Lubricar con calidad.

En las siguientes secciones se detallan estos argumentos, para que se identifiquen cuales de estos, se valen del Monitoreo Tribologico para su aplicación, y con ello desarrollar un plan de implantación o mejoramiento de un programa de mantenimiento industrial por medio del Monitoreo Tribologico.

5.0.1.- Errores conceptuales en el programa de lubricación.

Primeramente existe una idea generalizada de que lubricar es simplemente aplicar grasa o aceite y que entre mayor sea la cantidad aplicada al mecanismo, éste funcionará con mayor eficiencia y quedará mejor protegido. Se cree además que si se utilizà un aceite de una viscosidad mayor que la recomendada por el fabricante del equipo, éste podrá soportar mayores cargas o presentará menor desgaste. Muchas veces se improvisan las tareas de lubricación, dejándolas en

manos de personas que poco o nada tienen que ver con este campo. Tal es el caso de aquellas empresas que cuentan con un solo lubricador y cuando éste sale a vacaciones o está incapacitado, se reemplaza por lo general con alguien que en la mayoría de los casos no tiene los conocimientos necesarios para cumplir con estas funciones. Sucede que esta persona al inicio de sus labores recibe la orden perentoria de mantener los equipos "bien lubricados", para lo cual tendrá que aplicar grasa o aceite a los mecanismos que así lo requieran, pero es poco probable que una persona que no ha sido entrenada debidamente ni posee conocimientos de mecánica industrial o automotriz pueda aplicar el lubricante correcto, en el momento preciso, la cantidad suficiente y a su debido tiempo.

Estos son algunos de los errores más comunes en lubricación, los cuales se deben corregir para lograr una correcta lubricación.

El realizar análisis de aceite en forma periódica, aseguraría la existencia de un experto lubricador y un continuo flujo de información entre este y los demás equipos y secciones del departamento de mantenimiento, lográndose una mejor continuidad de las labores de lubricación aun con la ausencia del encargado, debido a que un gran número de personas conocerá la situación con la que se encuentran la lubricación de los equipos.

5.0.2.- Programa de mantenimiento una responsabilidad integral.

El éxito de cualquier programa de mantenimiento industrial de una planta, no depende solamente del personal de mantenimiento o de las políticas que implementen los ingenieros de producción y de mantenimiento, sino en conjunto debe ser todo un programa bandera de la gerencia de la empresa. Si un programa de esta índole no tiene el respaldo de la gerencia, casi se pueden asegurar las probabilidades de fracaso como consecuencia de la resistencia normal de algunas estructuras internas de la empresa a la implementación de nuevas tecnologías o a la organización del trabajo mediante la utilización de la computadora, o para el caso, el diagnóstico de problemas mediante el análisis del lubricante, por ejemplo.

Como la lubricación juega un papel muy importante en la conservación de los equipos, esto aconseja necesariamente que las universidades y los institutos tecnológicos investiguen y profundicen en áreas tan fundamentales como ésta.

5.0.3.- Personal optimo para las tares de lubricación.

Un buen mecánico debe ser antes que nada un excelente lubricador, y viceversa, un buen lubricador debe ser un mecánico excelente. En nuestro medio el lubricador aspira a ser un buen mecánico, pero el mecánico rara vez aspira a ser un buen lubricador. Por el contrario, en la mayoría de los casos el mecánico piensa que si hace las veces de lubricador, ésta es una tarea denigrante que lo baja de categoría. La culpa no es de éste, sino de las directrices trazadas por la empresa.

En cualquier fábrica, el hombre clave debe ser el lubricador - mecánico o el mecánico-lubricador. En muchas fábricas se han presentado fallas irreparables en los equipos, debido a que el lubricador en un momento dado no ha podido detectar a tiempo un ruido anormal en el equipo, la temperatura anormal en el mecanismo o porque en lugar de aplicar un aceite hidráulico para un equipo que lo requiere se ha utilizado un aceite automotor. El lubricador debe ser dentro del personal de mantenimiento, quien más alta calificación tenga y debe ocupar un puesto al cual sólo pueda aspirar el más aventajado de los mecánicos. Para lograr que un programa de lubricación se pueda llevar a cabo y funcione como tal en la práctica, tal como ha sido planeado, es indispensable que todos los departamentos que de una u otra forma tengan que ver con el funcionamiento de la maquinaria, trabajen conjuntamente y estén dispuestos, en todo momento, a colaborar con los programas de lubricación establecidos.

Como ya se menciona, que la empresa tenga un programa de análisis de aceite, da por asentado que el encargado sea una persona capacitada, que tendrá entre sus funciones difundir sus conocimientos a los demás del personal mediante seminarios o conferencias.

5.0.4.- La calidad de la lubricación.

La lubricación enfocada desde el punto de vista de la tribología, es el alma de los procesos productivos porque es la responsable de permitir a los equipos seguir su funcionamiento sin tropiezos y en forma continua, si se mira a nivel de macros de la tribología aplicada a los procesos de lubricación en una planta para que sucedan con calidad total y que todo el esquema de producción se pueda llevar a cabo con igual filosofía.

Por lo regular, la lubricación en la planta depende del departamento de mantenimiento. Se puede asumir esto como principio general y que el departamento de mantenimiento tiene dentro de la empresa clientes internos y proveedores internos. Los clientes internos son los procesos a través

de los equipos, personalizados en el departamento de producción. Los proveedores internos suministran a la producción los insumos necesarios para cumplir con el propósito o misión del mantenimiento (entre ellos los lubricantes y elementos afines), personalizados en el departamento de compras.

5.0.4.1.- Identificación y definición de los requisitos de clientes internos.

Es primordial conocer cuáles son las necesidades vitales de producción en materia de funcionamiento de equipos y disponibilidad de los mismos, es poco probable que sean exactamente iguales, aunque existan parámetros comunes; de acuerdo con cada situación en especial, se debe plantear soluciones diferentes. También se deben conocer las necesidades de los equipos en materia de lubricación y tener plenamente identificados los puntos y definido su orden prioritario. Si no se tiene un listado completo y muy analítico (base de datos o expedientes) acerca de todos estos requerimientos, no se podrán satisfacer en su totalidad y con la mayor eficiencia las necesidades que existen; por lo tanto no podrá haber calidad en el proceso; elaborar estrategias para poder cumplir con ellos y entregar un producto de calidad, esto es un proceso de lubricación que garantice el normal funcionamiento de los equipos.

La calidad se garantiza desde la gerencia o se destruye desde la misma. Si la dirección no apoya los programas propuestos para desarrollar acciones hacia una lubricación con calidad, ésta se verá cercenada desde la raíz. Es fundamental que la gerencia se involucre y conozca con exactitud cuáles serán los beneficios de una lubricación que garantice el ininterrumpido funcionamiento de la planta, para que aporte sin recelo los recursos necesarios, que en ocasiones deberán ser significativos pero saludables, y jamás innecesarios.

5.0.4.2.- La utilidad de los métodos estadísticos para garantizar la calidad en el trabajo de mantenimiento.

La estadística es vital en la producción porque ella aporta los indicadores claves sobre la evolución de las cosas en la empresa y porque sin ellos, no es posible tomar decisiones acertadas. Si esto sucede al margen de los indicadores claves, se corre el riesgo de no apuntar hacia lo esencial porque las personas se inspiran en deseos, corazonadas, temores o empirismos. La estadística básica debe ser conocida y aplicada ampliamente por todo el personal, especialmente por

todos quienes tiene la función de dirigir. Los métodos de la estadística básica son : el diagrama de Pareto, que permite diferenciar las cosas importantes de las triviales; el diagrama de causa- efecto, que permite identificar las causas de error; el diagrama de flujo, que sirve para conocer los diferentes eventos de cada proceso; las gráficas de tendencias, controladoras de la marcha de las cosas a través del tiempo; las hojas de verificación o recopilación de datos, útiles para identificar el lugar de los errores; los diagramas de dispersión, que sirven para identificar la relación existente entre dos variables y los histogramas, utilizados para evaluar la uniformidad de los procesos.

Todos los métodos anteriores son herramientas indispensables para mantener bajo control cualquier proceso y de esta manera, garantizar la calidad en toda la empresa, es en esta área cuando el análisis de aceite programado cobra importancia, debido a que la información resultante es fácilmente tabulable y graficable, además con la experiencia los registros pueden ser relacionado tanto con el régimen de trabajo y el estado de la maquinaria.

5.0.4.3.- Garantizar la calidad de un sistema de lubricación, con la prevención.

En la mayoría de las empresas es tradicional esperar a que ocurran problemas, manifestados en daño de equipos o corta vida de los mismos, para entrar a pensar en la solución parcial. Se comprende fácilmente que éste es un proceso ineficaz e inútil. Es un sistema que hace inestable el trabajo, porque la gente se dedica a apagar incendios que van apareciendo, lo cual impide la regularidad en los procesos y en la actividad de las personas.

El método básico, contrario al anterior, que garantiza un proceso estable y continuo es la prevención, o sea, el control de todos en todo. El método preventivo incluye dos dimensiones: el análisis y la erradicación de causas y problemas reales, y el análisis y la prevención de problemas potenciales, enfocados ambos hacia el funcionamiento continuo de los equipos.

Las herramientas técnicas de las que se disponen en la actualidad, permiten tratar ambos asuntos a la vez. El primero, aprovechando toda la gama de nuevos aditivos, que ofrecen extraordinarias propiedades a los aceites minerales, o usando los aceites sintéticos con increíbles resultados; sin embargo, se pueden aplicar además los nuevos sistemas electrónicos o mecanismos de lubricación centralizada, etc. El segundo, haciendo pan de cada día el análisis de los aceites en el laboratorio y el seguimiento de los mismos. Es importante incluir la capacitación en este punto, a nivel de directivos y personal en general, en cuanto a la materia de lubricantes se refiere.

El mejoramiento de los sistemas de lubricación debe ser continuo y se logra sólo mediante un sistema de capacitación permanente. Cualquier jefe de mantenimiento debe tener en cuenta que en la capacitación del personal debe involucrarse asesores externos, porque constituyen la única vía para marchar el compás de los cambios acelerados y significativos presentes en el entorno industrial. Las tecnologías modernas expresan la naturaleza de estos cambios y traen incorporados sistemas de lubricación más sofisticados, debido a las mayores exigencias de los equipos.

La capacitación debe cumplir unos requisitos básicos, tales como: asignar tiempo y dinero suficientes; enfocar la capacitación a las necesidades reales; disponer de material didáctico de calidad. Pero, lo más importante es medir sus resultados.

Esto garantizará la permanencia del tema a través del tiempo; se tendrá así un grupo de personas dispuestas a sortear situaciones de emergencia, y lo mejor, motivadas y con un gran sentido de pertenencia a la empresa.

5.0.4.4.- El proceso de calidad total de la lubricación.

La diferencia entre la definición de "programa" y la definición de "proceso" radica en que una es mucho más grande que la otra; siempre que se habla de un programa, se entiende algo que se planea, se desarrolla y se termina. Además de esto, el programa es rígido, inflexible. Un proceso de lubricación con calidad total empieza pero jamás termina porque se retroalimenta y continúa mucho mejor, siendo siempre abierto a las correcciones e innovaciones.

Aunque en la empresa no se hayan adoptado un proceso de administración por calidad total, el ingeniero jefe de mantenimiento de la planta debe tomar la iniciativa y empezar a aplicar algunos de los principios en su departamento. Para él en este momento es crítica la lubricación y esto serán los primeros puntos que se deberá atacar:

1. Determinación de requerimientos de producción.

El encargado de mantenimiento junto a la producción se encargan a través de reuniones y por medio de un trabajo de grupo (la cohesión grupal es determinante para la calidad total) se establecen y acuerdan los requisitos de producción hacia mantenimiento, estos pueden ser por ejemplo:

- Los horarios de trabajo, como por ejemplo: se requiere que los equipos tengan un trabajo continuo las 24 horas del día, siete días a la semana, sin paradas repentinas para lubricar, o por daño mecánico.
- Eficiencia del mantenimiento, es decir, que las tareas de mantenimiento programadas sean lo más rápidas y efectivas posibles.
- La coordinación de los departamentos, primordialmente tener una buena comunicación facilita las labores, por ejemplo: el departamento de mantenimiento le informe con bastante anticipación a producción la requisición de un equipo para un trabajo no realizable en el paro programado (un cambio de aceite y/o revisión por exceso de partículas sólidas y metálicas en una muestra).
- La realización de tareas de lubricación sin interferencia con la producción.
- La garantía de la operaciones, o sea, que el proceso sea absolutamente predecible, y que se tenga absoluto control sobre cada uno de los equipos.

El ultimo punto citado solo puede ser alcanzado, si se posee algún método de diagnóstico confiable y practico así como un monitoreo constante. El análisis de aceite se presta para esta aplicación.

2. Definición de los puntos críticos de lubricación.

Luego de conocer internamente los requisitos de su cliente interno, el jefe de mantenimiento de la planta con la ayuda de su personal; utiliza una técnica de trabajo en grupo (como "la tormenta de ideas" por ejemplo) para así determinar los puntos más críticos de lubricación, estos pueden ser:

- Hay frecuentes paradas por falla en los rodamientos sellados de algunos cilindros.
- Muchas veces, por olvido del lubricador, se quedan muchas partes de equipos sin lubricar.
- Los equipos de lubricación no permiten hacer una labor de limpieza total por estar defectuosos
- Algunas grasas para alta temperatura no cumplen su cometido y permiten que el equipo aumente su temperatura interna por encima de lo permisible, debiendo aumentarse la frecuencia de cambio.
- Hay equipos que no se lubrican con la debida técnica.
- Las frecuencias de cambio de aceite en algunos equipos se hacen con mucha periodicidad, porque el ambiente es bastante contaminante.
- Los fabricantes recomiendan una frecuencia que se considera muy amplia para el cambio de aceite en un equipo critico.

Para los últimos dos puntos, interpretando adecuadamente la información de un monitoreo de las propiedades de los lubricantes, darían el tiempo óptimo de cambio de aceite, con ello los puntos críticos son subsanados.

5.0.4.5.- Que exista un Plan de Acción para el Mejoramiento continuo de la lubricación en la planta.

Un plan de acción de mejoramiento (PAM) involucra primero todo el convencimiento de quien lo realiza para hacer las cosas bien, porque la persona es consciente que hay mucho por mejorar, poniéndose como estándar de realización: cero defectos.

Si se hace inicialmente una evaluación sobre los puntos críticos a mejorar, conviene tener una lista del orden prioritario de los mismos. De acuerdo con esto, se trazan los objetivos específicos para cada uno de los puntos. Una vez determinados estos, se definirán las acciones a seguir para cumplir con los objetivos, y por último, se establecerán métodos de verificación que los objetivos se estén cumpliendo.

El mejoramiento continuo implica hacer avances pequeños todos los días, pero estos deben ser notorios para todo el personal de mantenimiento.

Plan de acción de mejoramiento (PAM). En este punto del proceso, el ingeniero de mantenimiento deberá fijar los objetivos de acuerdo con los puntos críticos y determinar las acciones a seguir, lo mismo que los elementos de verificación.

Es lógico pensar que instaurar, cualquier alternativa que apoye el programa mantenimiento tiene un gran atractivo, pero la realidad es que cualquier proyecto, debe ser ante todo rentable, para ser considerado por un departamento de mantenimiento.

5.1.- APLICACIONES DEL ANALISIS DE ACEITES EN EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Deberá entenderse, el termino "análisis de aceite" como el proceso de adquisición y manipulación de los datos de laboratorio obtenidos de las muestras de aceite, así como la comparación de estos datos contra criterios de aceptación ya establecidos.

Los pruebas de laboratorio, que se realizan en los aceites, auxilian a un programa de mantenimiento industrial de diferentes formas: aplicándolos en forma eventual o periódica, de emergencia, o en casos especiales.

A continuación se describen aplicaciones del análisis de aceite que son herramientas para el mantenimiento de una planta:

1. DETERMINACION SI ES NECESARIO SUSTITUIR EL ACEITE EN OPERACIÓN.

Cuando se sospecha que un aceite ha sido contaminado o a perdido una de sus propiedades, debido a que se observa un cambio en su aspecto, realizar un análisis de aceites en forma puntual revelara si es necesario el sustituirlo, las pruebas de laboratorio se hacen sin planificación y/o por emergencia.

El método de empleado para el análisis en este caso es muy sencillo, solamente se comparan propiedades físico químicas resultantes de las pruebas con las tolerables en la maquina o bien las condiciones del aceite nuevo, con base en eso, se toma una decisión de si todavía el aceite puede seguir en operación. Si la prueba resulta con seguir operando el aceite, se calcula empíricamente por medio de una gráfica de tendencia o por medio de otras pruebas cuando se debe desechar el aceite.

El apoyo al programa de mantenimiento, es muy pobre y solo factible si se tiene un gran volumen de aceite. Se cree erróneamente que esta es la única aplicación practica del análisis de aceite en operación. En empresas que posee un laboratorio especializado en análisis de aceite, este tipo de apoyo al programa de mantenimiento no es optimo.

Las empresas han puesto énfasis solamente en esta aplicación no en tanto para apoyar al programa de mantenimiento sino más bien para darle máxima utilidad a una sustancia que contiene elementos tóxicos y que trae problemas al medio ambiente.

2. DETERMINAR UN COMPORTAMIENTO FISICO O QUIMICO QUE NO APARECEN EN LOS MANUALES.

Como procedimiento estándar para la selección de un lubricantes se deben conocer las condiciones a las que estará sometido el aceite, pero para ciertas aplicaciones en una planta, los fabricantes de equipos, solo especifican un pequeño número de propiedades del tipo de lubricante

recomendado, debido a que el fabricante sabe que las condiciones (clima, temperatura de planta, carga) a las que operan sus equipos, pueden variar, el problema se complica cuando en los manuales de los fabricantes de aceite no aparecen algunas de las propiedades que el fabricante del equipo recomienda. Para este caso, la persona encargada de seleccionar el lubricante, puede enviar una muestra de aceites candidatos a un laboratorio para corroborar las propiedades que faltan para seleccionar el más adecuado, o bien solicitar al distribuidor del aceite amplíe los datos del manual.

El apoyo al programa de mantenimiento que se tiene de utilizar el análisis de aceite de esta forma, radica solamente en la seguridad que se tendrá al seleccionar el aceite más adecuado, si se incorpora nuevas máquinas.

3. EVALUACION DE CAMBIOS (DE DISEÑO DE LA MAQUINARIAS COMO SON AUMENTOS DE CARGA, VARIACION DE LA VELOCIDAD ETC.).

Cuando por circunstancias de la planta, se cambien los procesos de producción o cambien los régimen de trabajo, es necesario evaluar como variara el desempeño de los lubricantes que se ha estado utilizando en la maquinaria, para determinar si es necesario cambiarlo, existe un método estándar que hace uso de los análisis de los aceites y la ferrografía, para lograr eso.

Aunque evaluar cambios no es cubierto por el programa de mantenimiento industrial de la planta, esta aplicación del análisis de aceite es útil si la planta instalara maquinaria que a comprado usada.

4. COMO TÉCNICA DE MONITOREO PARA LA DETECCION Y ANALISIS DE PROBLEMAS

Aunque todos las demás formas que se pueden utilizar los análisis de aceite, pretenden mejorar la calidad de la lubricación, pero emplearlos todos en conjunto como una técnica de monitoreo (Monitoreo Tribologico), logran una máxima integración con un programa de mantenimiento, y una de las que alcanzaría mejores resultados.

Los análisis se realizan en forma programada para aceites nuevos (vírgenes) y cuando ya están en operación. Si en una planta no existe ninguna forma de análisis de aceite en operación, se tendrá que valer de las aplicaciones ya mencionadas para establecer un punto de partida para su implantación.

5.2.- EL ANALISIS DE ACEITE COMO TECNICA DE MONITOREO.

Con el análisis de aceite en operación, realizada en forma periódica pretende proporcionar información, que será utilizada para la toma de decisiones, por las personas responsables de la operación, mantenimiento e ingeniería de la maquinaria que necesita lubricación en la planta. esta información puede usarse para evaluar y decidir entre diversas alternativas (paro de emergencia, cambio de lubricante por ejemplo) que mejor se adapten a la situación.

Como en la industria, no están definidos métodos estándar para monitorear una máquina o una clase de máquinas, ni las necesidades del mantenimiento producto del tamaño y presupuesto de cada industria variaran tan significativamente, solo el desarrollo particular siguiendo una serie de lineamientos, es la alternativa para establecer el método de monitoreo adecuado, además el programa de monitoreo nunca deberá ser considerado como final, ya que este tendrá que ser actualizado durante su implantación y adaptarse a cambios en las necesidades y objetivos de la planta, y a la incorporación de nuevas tecnologías.

El procedimiento para establecimiento que aquí se plantea se inicia con la definición de objetivos y la definición de metas, basados en gran medida de las características deseables del PMT que dicte la política de la empresa. Este desarrollo sistemático de establecimiento es un método para evaluar cuidadosamente las diferentes alternativas del programa que resultan. Como en cualquier otro programa, se deben realizar varias revisiones del procedimiento para refinarlo en cada paso. También, mientras mayor cuidado se tenga en la planeación del programa, mayor probabilidad se tendrá de que el programa operara correctamente. Para realizar lo anterior descrito, en las próximas secciones se presentan las consideraciones generales, los procedimientos y material de referencia, necesarios.

5.2.1.- Características del Programa de Monitoreo Tribológico.

El marco conceptual del cual nace el programa de monitoreo tribológico, tiene base en un nuevo pensamiento, el cual busca corregir fallas existentes y futuras en el tiempo en que se realizan diagnósticos, y además se busca mantener un control y observación constante de la operación de los equipos, con el cual se garantice la lubricación con calidad; para ello se considera que las características del PMT (que se propone establecer en este trabajo) siguientes, se darían por satisfecho las condiciones, independiente de la proporción de la empresa:

1. Los parámetros de control deben ser de fácil acceso, es decir, cuando el programa de monitoreo tribológico requiera de información (principalmente muestras), o bien, cuando se requieran gráficos de tendencias y/o tablas de resultados, estos son de medición inmediata o de cálculo sencillo.
2. Esta constituido por procedimientos de fácil aplicación, o sea que el programa de monitoreo tribológico incluye procedimientos detallados, que anticipen las variaciones y eventualidades que puedan manifestarse, durante el desarrollo y operación del mismo.
3. Las consideraciones para estimar la eficiencia de los sistemas de lubricación se basan tanto en lo técnico, en lo humano como en lo ecológico. Aunque no se proporcione todos los conocimientos técnicos necesarios ni se establezcan responsabilidades del factor humano, y no se tengan reglamentos ecológicos específicos de los aceites lubricantes.
4. Crea una iniciativa para optimizar los sistemas de lubricación. El programa de monitoreo tribológico ofrece alternativas a los ejecutivos para reducir costos o sea posee un marco apropiado que incentiva su establecimiento.
5. Es económicamente atractivo, por que sugiere el empleo de un mínimo de tiempo, personal y recursos de la planta y del personal de mantenimiento, y al mismo tiempo es posible tener obtener ahorro y ganancias.
6. Definir el rol de todo el personal involucrado (Gerentes, lubricadores, Operadores, Personal de mantenimiento, etc.), estableciendo los papeles, obligaciones y responsabilidades.
7. Define cuales son los componentes que completan las actividades meramente técnicas, es decir que tanto influye el personal en la eficiencia del sistema de lubricación.
8. Se ejecuta con equipos y conocimientos de tecnología de punta, como equipo sofisticado de computación, o bien con tecnología apropiada diseñada especialmente para nuestro medio industrial.
9. Es aplicable a empresas que tienen desde un mínimo de equipo que emplee aceite y tengan pocos costos en lubricantes hasta empresas que tienen un gran número de maquinas y equipos cuya lubricación sea critica y sus costos en lubricantes sea elevado.

5.2.1.1.- El PMT como una opción para Producción Mas Limpia.

El medio ambiente se ha convertido en un factor importante en el proceso de toma de las decisiones de las compañías. Cada vez hay un mayor reconocimiento de que los asuntos ambientales están relacionados con casi todas las actividades de las empresas y especialmente en el mantenimiento. La forma tradicional de tratar los asuntos ambientales, es decir, esperando hasta que éstos se conviertan en problemas y después reaccionando, esta resultando un tanto inadecuadas como ineficaz.

Una forma eficaz de tratar el tema ambiental dentro de la empresas es mediante un manejo ambiental sistemático. La Organización Internacional de Estandarización (ISO) incluye dentro de su norma ISO 14000 elementos de un "Sistemas de Manejo Ambiental" (SMA) apegados a regulaciones internacionales.

El establecimiento de un SMA en una empresa con la filosofía de la calidad total permite asegurar, mediante la buena ejecución de las tareas, desde el comienzo del proceso, previene los impactos ambientales negativos al proceso, al menor nivel económico posible. Una de las herramientas para el logro de lo que se menciona en los anteriores párrafos, es la aplicación continua de una estrategia ambiental integral y preventiva a procesos y productos para reducir riesgos a las personas y el medio ambiente, concepto que es llamando "Producción Más Limpia", ésta abarca la prevención y la reducción en la generación de residuos en los distintos procesos que constituyen el sistema de producción de la empresa, y su reuso o recuperación en los casos que sean posibles.

La prevención de la contaminación por medio de la producción más limpia implica, entre otros, los siguientes beneficios:

- Reducción de los consumos de materias primas, del agua, de las emisiones y los costos de tratamientos requeridos.
- Mejoramiento de las condiciones de trabajo, de la eficiencia de los sistemas y por lo tanto, de la competitividad de la empresa.

Para llevar a cabo la prevención de la contaminación se requiere identificar el origen de todos los residuos, los problemas operativos (de producción y mantenimiento) y de otra naturaleza,

asociados a los sistemas de producción y aquellas áreas donde pudieran introducirse mejoras para mejorar y/o aprovechar el volumen y tipos de residuos generados. El PMT se apega exactamente como una alternativa de Producción Más Limpia, debido a que su establecimiento traerá calidad al proceso al mismo tiempo que se optimiza el uso de los aceites lubricantes.

Para que una alternativa de Producción Más Limpia sea considerada debe ser analizadas las limitaciones y conveniencias desde el punto de vista tecnológica y económica, para que al final se determine el impacto ambiental producto de la alternativa, en base a esto, a continuación se analiza brevemente en forma técnica, económica y ecológica el PMT

a).- Evaluación tecnológica.

La operación de un PMT requiere para determinar eficazmente la calidad del aceite en operación, de por lo menos de la utilización de equipo común de laboratorio de química (que esta disponible en cualquier centro de ventas del ramo) además de equipos especialmente diseñados para análisis de aceites (equipos de alta tecnología), ahora bien, para determinar problemas de desgastes y degradación específica de un aditivo son necesarios los espectrometros, equipos que son muy sofisticados y tienen un elevado costo. Aunque existe la alternativa de realizar pruebas no normalizadas con instrumentos portátiles que son vendidos por los fabricantes de aceite, para determinar en forma cualitativa y en menor grado cuantitativa del estado del lubricante y de problemas en la maquina, estas pruebas son sencillas, tanto que las plantas fácilmente con sus recursos humanos y técnicos pueden construir sus equipos y realizar investigaciones del desempeño de sus lubricantes y buscar relaciones entre parámetros del aceite y problemas en la máquina.

El nivel de especialización del personal, específicamente la formación química, es impartida en universidades del país, haciendo factible el empleo de profesionales químicos nacionales, en cuanto al personal que interpreta los resultados (Ingenieros y técnicos mecánicos), con su formación en el conocimiento de las maquinas y el estudio e investigación acerca del tema lo capacitaría para cubrir esta función.

b).- Evaluación Económica.

No se puede realizar una evaluación económica general para el PMT, por que variara según las necesidades de la empresa, es de mencionar que los equipos especializados y los espectrometros

tienen un elevado costo, pero como se vera más adelante (en los CANALES) existe alterativas diferentes a la compra de estos equipos, los principales beneficios del PMT vendrán con el ahorro del costo de mano de obra en el mantenimiento y costos de lubricantes (existen lubricantes que por ser especiales su precio y gastos de importación los hace muy valioso).

c).- Evaluación Ecológica.

Primeramente el problema de contaminación del medio ambiente que provoca el aceite usado se origina cuando es tiempo de disponer de este, si las personas que desechan el aceite usado, lo hace incorrectamente, tirándolo al drenaje o directamente sobre la superficie de la tierra o en los rellenos sanitarios. Según los expertos el 40 % de los contaminantes de los canales de Estados Unidos de Norteamérica es aceite usado (Brandl 1997).

Al desechos inadecuadamente el aceite residual, este puede contaminar las aguas subterráneas u otras afluentes de agua potable, con sustancias como el plomo, magnesio, zinc, cromo, arsénico y cloruros, etc. Una sustancia que podría contener los aceites para motor, son los anticongelantes. El químico más peligroso que se encuentra en los anticongelantes es el Etilenglicol, también pueden existir contaminantes como los combustibles.

El aceite usado, es poco soluble o insoluble y muy lento de degradar, en el medio ambiente se adhiere a playas, causes de ríos destruyendo la flora y fauna acuática. El poder destructivo del aceite residual es tal que una fracción de 0.25 galones crea en la tierra un compuesto venenoso parejo alrededor de un acre de diámetro, o si se bota en agua se crea una película aceitosa en la superficie que bloqueara la luz del sol, reduciendo el oxígeno necesario para la vida acuática. Según la US EPA, los productos químicos y metales pesados tóxicos de un galón de aceite residual pueden contaminar permanentemente un millón de galones de agua dulce.

En El Salvador no existen regulaciones o disposiciones finales que debe cumplir el aceite residual, sin embargo el Ministerio del Medio Ambiente y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, trabajan sobre un anteproyecto (basados en las regulaciones de la US EPA).

La US EPA emitió se reglamento final sobre aceite usado en 1992. En donde no clasificaron los aceites usados como un "desecho peligroso", para que no entraran en las regulaciones generales para desechos peligrosos, que están basados en características peligrosas (tóxicos, corrosivos, radioactivos e incendiarios), y se aplicara un reglamento dirigido especialmente a ellos.

Generalmente, los desechos de aceites lubricantes pueden ser recuperados y reciclados, ya sea directamente o después de un tratamiento, estas son alternativas cuando es inevitable el desechar grandes cantidades de aceite. Los procedimientos que más se emplean para reciclar el aceite usado son:

a).- Uso como combustible.

El aceite usado tiene un buen calor específico (13,000 a 19,000 Btu/lb) y puede ayudar a reducir la creciente demanda de energía, empleado como adulterante sustituto del combustible de uso común. El aceite residual puede hacerse pasar por un sistema de Regeneración para reducir al mínimo las emanaciones nocivas al quemarlo o emplearse directamente sin tratamiento, como sea que se emplee, los controles de emisión de aire son necesarios.

Los sistemas de las plantas reprocesadoras normalmente implican asentamiento, calentamiento, filtración en vacío y centrifugación, sin embargo, el proceso no reduce significativamente las cantidades de metales orgánicos y volátiles, el producto es denominado por la US EPA como "Combustible de aceite residual dentro de especificación".

El combustible de aceite residual fuera de especificación (sin tratamiento) debe ser quemado en lugares ubicados fuera del área urbana, en aplicaciones tales como hornos de cemento, hornos de explosión, calderas de plantas manufactureras y calentadores; pero no en calderas dentro de áreas urbanas, tales como hoteles, colegios y hospitales.

b).- Refinado.

Un mejor uso del aceite residual es su refinamiento para reutilizarlos como aceite base. En la maquina el aceite lubricante se ensucia y los aditivos se degradan, pero el aceite base (aproximadamente un 80% en volumen) no se degradan, permitiendo su redestilación. El proceso de refinación concentra los metales contaminantes en lodos residuales que son usados en producción de asfalto. Los productos de refinación son comparables en calidad con el material original.

En El Salvador el aceite residual es quemado por las plantas que utilizan Bunker como combustible de calderas y hornos, y algunas tienen procesos que extraen solamente la humedad, pero no existe ninguna planta de refinado, por tal motivo cualquier empresa que utiliza grandes cantidades de lubricantes y no puede reutilizar los desechados, estará obligada a realizar cambios

en sus procedimientos para realizar una producción más limpia, reduciendo sus volúmenes de aceite desechado por contaminación por o desperdicio de vida útil.

5.3.- OBJETIVOS Y METAS PARA EL MONITOREO TRIBOLÓGICO EN UNA PLANTA.

Cualquier nuevo programa en una planta, debe contribuir a lograr los objetivos generales de operación de la misma. Por lo tanto los objetivos generales deben revisarse cuidadosamente, es importante definir cuales pueden ser alcanzados mediante Monitoreo Tribológico y cuales no.

Los objetivos generales de un Programa de Monitoreo Tribológico (PMT) se definen en función de:

1. Políticas para mejorar la imagen de la empresa
2. Cumplir con reglamentos de descargas al ambiente
3. Incrementar la disponibilidad de los equipos
4. Reducir los costos de mantenimiento y/o energía
5. Cumplir con un sistema de calidad total, lubricando con calidad
6. Aumentar la seguridad del personal

5.3.1.- Mejorar la imagen de la empresa.

Las normas internacionales (ISO 14000) para el manejo ambiental determina que la empresa formulará y dará a conocer una Política Ambiental en donde establecerá las metas de su Sistema de Manejo Ambiental, dependiendo de sus valores y creencia de la empresa.

La Política Ambiental de una empresa expresa el primer principio del manejo ambiental: "Reconocer el manejo ambiental como una de las prioridades corporativas más elevadas y como un determinante clave para el desarrollo sostenible: establecer políticas, programas y prácticas con el fin de realizar operaciones de una manera ambientalmente sólida".

El desarrollo de la Política Ambiental, es muy importante por que establece públicamente el compromiso de la empresa y es una prueba visible del apoyo de la alta gerencia, y ante todo, que

puede tener implicaciones de largo alcance para las finanzas y la imagen de la empresa. Una Política Ambiental contiene entre muchos elementos, principios generales como lo sería definir el alcance de su responsabilidad y compromiso con el medio ambiente, definiendo así la relación que tendrá con la comunidad circundante, la empresa tendrá buena imagen, para empresas que son acusadas de manejar inadecuadamente sus residuos convirtiéndose en contaminantes, mejorarían su imagen al hacer publica su incorporación de tecnologías de Producción Más Limpia como lo es el PMT, para disminuir los volúmenes de aceite desechado.

5.3.2.- Cumplir con reglamentos de descargas al ambiente.

Puede que en la Política Ambiental de la empresa, solo establezca en sus metas el cumplimiento mínimo de los reglamentos ambientales vigentes, sin tomar en cuenta aspectos sociales, aun así el PMT puede ser de gran utilidad.

Como ya se menciona en El Salvador no existe reglamentación referente a los aceites, pero dentro de los nuevos reglamentos de Vertidos Líquidos se establece límites de lo que denominan "aceites y grasas", esto incumbe a las empresas que vierten los sobrantes en el drenaje o alcantarillas o bien dentro de su proceso existen maquinas en donde por ineficacia se mezclan aceites y fluidos de enfriamiento que luego son desechadas inadecuadamente, un PMT no solo optimizaría el uso de lubricante sino se controlaría problemas de fugas y/o contaminaciones a otros fluidos.

Muchas empresas en el área metropolitana de San Salvador piensan que con utilizar el lubricante de desecho como combustible, tiene solucionado el problema, pero en reglamentos futuros se tocara el tema de la calidad del aire y emisiones gaseosas, como ya se menciona el aceite debe ser tratado antes de utilizarse de combustible si es empleado en áreas urbanas para disminuir sus emisiones tóxicas, pocas empresas estarán en disposición de realizar tal inversión. Una alternativa es reducir de lubricantes de desecho.

5.3.3.- Incrementar la disponibilidad de los equipos.

El monitoreo de las propiedades de el aceite, proporciona información relativa a la condición de la máquina. Esta información permite a los departamentos de operación y mantenimiento, planeación e Ingeniería para realizar el trabajo requerido para disponer un alto nivel de

disponibilidad de la maquinaria. Si la maquinaria se monitorea adecuadamente se reduce la probabilidad de que no se detecte una falla que ocasioné un daño mayor. La detección oportuna de las fallas redundará en menos daños adicionales de la maquinaria, menores tiempos de reparación y paro, y una reducción de el número de paros forzados.

5.3.4.- Reducir los costos de mantenimiento y energía.

Un programa de Monitoreo Tribologico contribuye a la reducción de los costos de mantenimiento mediante:

- La mejor identificación de fallas.
- La reducción de daños secundarios mediante la detección de fallas tempranas.
- La planeación adecuada de las necesidades de mano de obra, equipos y repuestos necesarios así como los servicios externos.
- Incremento al máximo de la vida útil de los lubricantes.

El monitoreo Tribologico puede ser útil para la lograr la identificación precisa de problemas tales como: desgaste excesivo debido a lubricación deficiente a causa del lubricante o del método, contaminación del lubricante, fallas en los cojinetes, holguras sobre el límite, rozamientos. Una vez que se detecta una falla, el personal de mantenimiento y los repuestos requeridos pueden ser asignadas para la corrección de ésta. Esto reduce los costos asociados con las inspecciones y con un mantenimiento preventivo excesivo. El conocimiento oportuno del tipo de reparación o mantenimiento que debe realizarse permite la planeación de la mano de obra, repuestos y servicios necesarios para su ejecución, o bien, permite que el problema sea corregido durante un mantenimiento programado. Las necesidades del personal pueden ser programadas y así, lograr la utilización optima del personal.

En muchos casos, una falla particular puede deteriorar una máquina hasta un punto en el que ocurre daño adicional a otros componentes de la misma. Además una máquina mal lubricada y/o que el lubricante esta degradado, puede manifestar aumentos del consumo de energía, algunas veces en un nivel sutil o es en casos graves pueden aumentarse tanto que provoque interrupciones por fallo en sus sistemas de seguridad. En empresas que poseen un gran número de maquinas, la sumatoria de los aumentos mínimos de energía, pueden incrementar en gran manera la factura de energía. Otra de las ventajas del Monitoreo Tribologico presenta, que la refuerza como una alternativa de Producción Mas Limpia, es que contribuye a optimizar el uso de la energía

indirectamente, al mejorar el control de la lubricación de los elementos de transmisión y conversión de energía mecánica, aumentando la eficiencia.

5.3.5.- Cumplir con un sistema de calidad total, lubricando con calidad.

Si la empresa esta en camino de establecer un sistema de calidad total o ya lo tiene establecido, el mantenimiento mecánico es una de las mayores áreas de interés, debido a su importancia en la calidad de los procesos de producción, es de esa forma, que la calidad del mantenimiento mecánico debe sondeada.

Como ya se menciona, a través de métodos estándar que incluye análisis de aceite es posible sensor y controlar la calidad con la que se esta lubricando, métodos que están basados en sondeo del desempeño del lubricante así como el análisis del tamaño, forma y cantidad de partículas de desgaste. Así es posible desechar una determinada marca de lubricante (por ineficiente) y preferir otra, también permite verificar que el sistema y la administración de la lubricación esta funcionando adecuadamente. Cuando se detectan baja calidad en la lubricación el PMT puede llegar a establecer cual es la causa y el efecto de la baja calidad de lubricación.

5.3.6.- Aumentar la seguridad del personal.

Un programa de Monitoreo Tribologico incrementa la seguridad del personal mediante: la identificación de problemas de la máquina que giran a alta velocidad o son de gran tamaño, antes de que ocurra una falla catastrófica, lo cual puede resultar en accidentes personales, la limitación de trabajo de mantenimiento innecesario, y la reducción del trabajo que se debe realizar en condiciones de riesgo.

5.3.7.- Establecimiento de metas.

Las metas se definen en términos de la disponibilidad requerida, el tiempo máximo perdido por falla y los presupuestos de mantenimiento. Las metas se especifican de tal manera que la operación de la planta las satisfagan. La definición especifica de las metas es importante en un programa de monitoreo, dado que ellas definen puntos de revisión para el desarrollo del programa y niveles razonables de vigilancia de maquinaria especifica.

El establecimiento de las metas, requiere de la participación activa del personal, de todos los niveles y del personal a cargo del desarrollo de la planeación del Programa de Monitoreo Tribológico, es decir, es un proceso interactivo. Como con los objetivos, las metas requiere de obtener información, de supervisores y administradores que utilicen el programa. Además de que el personal asignado al programa puede aportar experiencia técnica necesaria para determinar si el programa puede o no satisfacer las metas.

La dirección, al decidirse establecer un Programa de Monitoreo Tribológico, convencido que este le traerá beneficios, es cuando debe estudiarse que magnitud tendrá y de cuanto presupuesto se asignara. Con la experiencia se gana, no establecer metas que están fuera de alcance y que produzcan el gasto de tiempo y recursos.

Las metas se pueden dividir al igual que los objetivos, en tres categorías:

1. Metas para la empresa
2. Metas productivas para la maquinaria
3. Metas para el programa

Las metas para la empresa, son las que se establecen por la dirección de la empresa como una meta general del programa, es decir, lo que la empresa persigue, puede ser por ejemplo:

- Poner en marcha durante los próximos 12 meses, la técnica de Monitoreo Tribológico por lo menos a un 50 % de los equipos de la empresa.
- Reducir el presupuesto del mantenimiento a un tanto por ciento en los próximos x años.
- Mantener la disponibilidad del equipo un tanto por ciento más que en años anteriores.
- Reducir el volumen de lubricante desechado por año (por motivos ambientales).
- Modernizar el programa de mantenimiento, haciendo uso de técnicas de mantenimiento predictivo.

Las metas productivas de la maquinaria la establece la dirección técnica del mantenimiento, y son referidas en forma específica a la producción de ciertas áreas de la empresa, por ejemplo si una empresa se dedica a generación eléctrica con motores estacionarios, algunas metas para la maquinaria serian:

- Mantener el turbo generador de mayor capacidad, sin fallos por lo menos en cuatro meses.
- Establecer cual es el periodo optimo de cambio de aceite de Cártter al motor No x.
- Establecer como afecta el clima, en el desempeño del aceite en los sistemas de lubricación del generador No x.

Las metas del programa de vigilancia, las establecen los encargados de operar el programa de monitoreo, y están orientadas al desarrollo y mejoramiento continuo del programa, estas metas pueden ser de tipo administrativo o técnico, las de tipo administrativo son encaminadas al fortalecimiento y perfeccionamiento de la logística del programa y las del tipo técnico al desarrollo de habilidades que proporcionen un mejor desempeño del personal a cargo.

A continuación se menciona algunos ejemplos de metas para el programa independiente de lo que se dedique la empresa:

- Llevar el porcentaje de errores de diagnostico a cero.
- Tener el conocimiento de la solución de los problemas de la maquinaria antes de que sean paradas para mantenimiento.
- Capacitar a operadores y mecánicos, para interpretar la información resultante del monitoreo.
- Elaborar reportes más concisos y tener resultados en un 50 % del tiempo, en que sean requeridos.
- Coordinar mejor la interacción de los departamentos de mantenimiento y operaciones.

En conclusión la carencia de objetivos y metas puede llevar al departamento de mantenimiento a tener una aplicación del monitoreo Tribologico, realizado a la deriva, con ningún sentido de programa, que a la larga no logran mayor apoyo al programa de mantenimiento industrial, por ende el fracaso de este, siendo útil solamente en casos eventuales.

5.4.- ETAPAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL MONITOREO

El Monitoreo Tribologico como todo programa que tiene una diversidad de actividades y que cubren aspectos tanto técnicos como administrativos, requiere una estructura de organización que demuestre su entorno lógico, entonces resulta muy conveniente dividirlo en etapas y sub dividirlo en secciones.

La implementación de un Programa de Monitoreo Tribológico, se divide en tres etapas que comprenden la revisión inicial a la planta, evaluaciones del estado del mantenimiento en general y capacidad del personal, así como también, la creación de medidas para la establecimiento. Cada una de la etapas se subdivide en secciones que son desarrolladas no exactamente en secuencia, varias secciones se hacen mejor en paralelo, ya que se complementan al proporcionarse información entre si. La figura 5.1 representa las tres etapas sugeridas.



FIGURA 5.1 ETAPAS IMPLANTACIÓN DEL PMT

5.4.1.- Etapa de Revisión Inicial

Esta etapa comprende la adquisición de documentos e información rutinaria, importante para planificar las acciones de diagnóstico e implementación, además se persigue observar las características generales de la empresa, para visualizar la factibilidad de aplicación de PMT y que cantidad de trabajo será necesario si es factible. La información se sugiere que sea acerca de:

1. DECLARACION DE LOS ALCANCES ACORDADOS PARA EL PROGRAMA, DECIDIDOS POR LA ALTA DIRECCIÓN DE LA EMPRESA.
2. INVENTARIO DE LUBRICANTES
3. INVENTARIOS DE MÉTODOS DE LUBRICACIÓN
4. VOLÚMENES Y COSTOS DE LUBRICANTES
5. FACTIBILIDAD
6. ANTECEDENTES DE FALLOS ANTERIORES

La fuente principal de esta información son los archivos de la empresa, los archivos de los fabricantes, e inspecciones a la empresa. Se requerirá un sistema de verificación que este dirigido a que no se excluya ninguna información importante. La forma sugerida es emplear listas y formularios.

5.4.1.1.- Declaración de los Alcances acordados para el programa, decididos por la alta dirección de la empresa.

Independientemente de quien sea la iniciativa de implantar un PMT, la alta gerencia de la empresa, asigna o acuerda la magnitud de los alcances del PMT con la persona o el equipo que estará a cargo.

Los objetivos, alcances, recursos y metas del PMT, debe estar incluido en un documento que tenga el papel de anteproyecto y sea material de referencia para el personal que establece los procedimientos y asigna las tareas (propias del PMT).

5.4.1.2.- inventario de lubricantes

Se debe tener presente, la variedad de marcas, grados y aplicaciones que se tengan de los lubricantes, no solo por hecho de conocer las necesidades de los clientes internos, sino por que esta información será el punto de partida para la determinación de la factibilidad y para planificar las acciones futuras. Además la realización de un inventario de lubricantes en la planta, es necesaria para elaborar una base de datos (archivos o expedientes) de cada lubricante, indispensable para el desarrollo del PMT (en la sección 5.5.2 se observan el método que se sugiere emplear).

5.4.1.3.- Inventarios de métodos de lubricación

Al igual que el inventario de lubricantes, el inventario de los métodos de lubricación, servirá como información para la base de datos, pero también expondrá problemas relacionados con la forma en la que se realiza la lubricación, es decir, si los métodos son los adecuados para el lubricante y viceversa, o bien si el método es obsoleto o produce mucha perdida de lubricante.

El inventario de lubricantes, es más importante cuando se a tomado la decisión de implantar el PMT, y se busca en que máquinas se realizará el monitoreo, lo que dará la pauta para esto es el método que se emplee en la lubricación de la maquina, debido a que en los métodos de lubricación

por pérdida completa, no es factible el monitoreo (en la sección 5.5.2 se observan el método que se sugiere emplear).

5.4.1.4.- Volúmenes y costos de lubricante.

Esta información es necesaria para determinar la factibilidad del Monitoreo Tribológico, que complementa al inventario de lubricantes, aunque los costos del lubricante varían con el tiempo, conocer al inicio del monitoreo su costo y cantidad utilizada al año, son valores indicativos para la dirección del mantenimiento, que vale la pena económicamente, invertir en esta área, o cuando en un diagnóstico ambiental realizado en la planta, se recomienda bajar el volumen de productos contaminantes (como ya se mencionó el aceite lubricante es una sustancia altamente contaminante). El procedimiento para procesar la información, se realiza fácilmente con una hoja electrónica, al mismo tiempo que el inventario de lubricantes y métodos de lubricación. En este inventario se debe tomar en cuenta los volúmenes de los aditivos empleados.

5.4.1.5.- Factibilidad

El método para determinar la factibilidad del PMT es simplemente, estimar los costos del PMT de acuerdo a los objetivos y las metas deseadas compararlos contra las consecuencias económicas resultados de una lubricación deficiente o cuando se emplean lubricantes que no cumplan con las características físico – químicas que se requieren para el correcto funcionamiento de un mecanismo.

Los siguientes factores afectan el presupuesto del departamento de mantenimiento y deben evaluarse sus mejoras por medio del PMT, e incluirlo en la factibilidad:

- Consumo de repuestos, por fallas en la lubricación.
- Pérdidas de producción por paradas no programadas del equipo.
- Costos por mano de obra, debido al cambio de las piezas deterioradas.
- Consumo extras de lubricantes, por desperdicio y contaminaciones.

Una dificultad en la evaluación de la rentabilidad del PMT radica en que, en la mayoría de los casos no se tiene registros e estos factores, quedando solamente su estimación subjetiva, hecha por expertos de la planta.

5.4.1.6.- Antecedentes de fallos anteriores.

Un excelente punto de partida para encontrar soluciones a la hora de un fallo, es tener todos los antecedentes posibles de fallos anteriores, obtenidos por medio de los reportes de rutina que se acostumbra realizar en programas de mantenimiento serios después de una intervención o inspección a una maquina, como pasa en muchas empresas, no se cuenta con esta facilidad, entrevistas al personal más antiguo y más experimentado son las únicas referencias, para comenzar inmediatamente el registro, es de esperarse que el registro no llegue a ser practico en forma inmediata, es por eso que debe mantenerse actualizando durante un largo tiempo (por lo menos un año).

5.4.2.- ETAPA DE DIAGNOSTICO

La etapa de diagnostico es sumamente importante, ya que es el preámbulo de todo el PMT. Es en esta etapa cuando se establece cuantitativamente y cualitativamente el grado de eficiencia con que se esta lubricando, en el momento de la evaluación. Básicamente esta etapa de diagnostico consiste en la evaluación del programa de lubricación, como por ejemplo, la condición de operación de los equipos, la condición de la lubricación en general , etc. , así como también, la evaluación del nivel de conocimiento teórico y técnico con que cuenta el personal de mantenimiento con relación a la lubricación, al mismo tiempo se evalúa la disponibilidad que pueda tener el personal ejecutivo en la formulación de planes para mejorar el mantenimiento. En la figura 5.2 se muestra los tópicos a evaluar en el diagnostico general, cada uno de ellos se abordara con mas detalle en las siguientes secciones.



FIGURA 5.2 REPRESENTACIÓN DE LA ETAPA DE DIAGNOSTICO

5.4.2.1.- Validación de los lubricantes en uso.

Es necesario tener en cuenta que los lubricantes no se hicieron para corregir defectos de diseño o de montaje y aprender a identificar cuándo un problema es verdaderamente de lubricación es el inicio del éxito del mantenimiento en cualquier operación.

La selección correcta del lubricante para una máquina es tan importante como su mismo diseño, fabricación y puesta en operación. Grandes capitales se pierden anualmente como resultado de una selección inapropiada, ya sea porque no se tienen en cuenta todos los parámetros que el fabricante del equipo especifica, o porque esta responsabilidad se deja en manos de personal con pocos conocimientos sobre este tema, o en manos de vendedores de lubricantes, no profesionales, que no tienen en cuenta los efectos después de la venta, sino la venta inmediata y por una sola vez.

El personal de mantenimiento (ingeniero o supervisor) son quienes debe ratificar la correcta selección de los lubricantes en operación, haciendo los estudios respectivos, cuando se detectan problemas de lubricación o se tengan dudas de su selección y antes de emprender la tarea de implantar un PMT.

Para la validación de la correcta selección del lubricante, no es necesario que se realice en todas las máquinas que se inventariaron como candidatas para el PMT, la validación también se extiende a máquinas con pequeños volúmenes de aceite. En la sección 5.5.1 se sugiere un método para la validación de la correcta selección del lubricante.

5.4.2.2.- Condición de la lubricación en general.

El mantenimiento en todas sus aplicaciones, busca mantener en operación permanente la maquinaria, para el caso los sistemas de lubricación. Anteriormente se menciono los costos económicos en que incurre la empresa ante cualquier fallo en el proceso, de ahí que un buen programa de mantenimiento es vital para mantener la eficiencia de este.

Para conocer la condición del mantenimiento del sistema, se debe realizar una investigación que empieza entrevistando a la dirección del departamento de mantenimiento mecánico (el método para realizar esta evaluación se muestra en la sección 5.5.3.2). El objetivo de esta entrevista básicamente es estudiar aspectos de la administración de las tareas de lubricación, relacionados a la calidad del proceso, aspectos como:

1. El tipo de mantenimiento que se realiza.

La efectividad del mantenimiento dependerá del tipo del mantenimiento que se utilice, así tenemos: mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y el mantenimiento predictivo; siendo los que dan mejores resultados los dos últimos.

2. Si existe un departamento o persona , que planifique las tareas de mantenimiento.

Es esencial que exista personal que tenga, como función específica que planifique. Si existe, es necesario conocer el desempeño de este, realizando una entrevista directamente con la dirección de mantenimiento, esta debe reflejar el responsable directo, si no, en todo caso debe reflejar la cantidad de personal a cargo del mantenimiento del proceso, las horas de operación del sistema y el número de turnos que laboran por día.

La existencia de un departamento encargado de la planificación facilitaría el análisis, ya que ellos proveerían de cualquier tipo de antecedentes (de calidad, ecológicos) necesarios para el PMT, además su capacitación facilita la implementación de las actividades de este.

3. La asignación de responsabilidades en lubricación.

A la persona encargada de la lubricación no se le deben dar simultáneamente varias responsabilidades porque cuando ocurra algún problema de lubricación y sea necesario tomar una decisión rápidamente, éste no podrá hacerlo. De la misma manera cada lubricador debe tener funciones específicas acerca de los mecanismos que debe lubricar y no que ello sea un criterio

5. El empleo de un numero reducido de marcas de lubricantes.

Las recomendaciones de los fabricantes de los equipos se deben seguir al pie de la letra; sin embargo, se deben buscar las equivalencias entre marcas de lubricantes para evitar el empleo de varias marcas porque esto trae más problemas que beneficios. Muchos equipos además de contar con el catálogo técnico, traen una placa metálica en la cual aparecen de nuevo las recomendaciones de los fabricantes (practica poco común en nuestro país), en la tabla 5.1 se muestra una lista de aceites para diferentes marcas e igual utilización y que son de aplicación común en nuestro país, esta lista puede ser empleada comparando las propiedades de las diferentes marcas y nombres de aceite, es de notar que son al rededor de 80 tipos de lubricantes. En el anexo A se muestra la distribución del mercado de aceites lubricantes en El Salvador en 1998.

Además la investigación para determinar la condición de la lubricación debe abarcar, el estudio de aspectos técnicos de los sistemas de lubricación haciendo uso de las inspecciones, entre estos aspectos se pueden mencionar:

1. Mantenimiento de los sistemas automáticos de lubricación.

En la actualidad una gran cantidad de maquinaria trae incorporados equipos automáticos de lubricación. Estos trabajan eficientemente, pero como cualquier otro equipo es necesario hacerles mantenimiento, de lo contrario terminará por arruinarse y dejará de funcionar, hasta llegar al punto que es necesario quitarlo, y regresar al sistema de lubricación manual.

2. El uso racional los lubricantes.

Los lubricantes usados en sistemas cerrados se deben cambiar dentro de los intervalos normales y no mucho antes de cumplir su vida útil, igual en sistemas de plena pérdida se debe aplicar la cantidad adecuada de lubricante.

3. Si son correctas las frecuencias de lubricación.

Las frecuencias con que se lubriquen los equipos de una planta no deben ser arbitrarias, sino que deben estar basadas en los diferentes aspectos técnicos. Algunas veces se lubrica con mucha frecuencia, dando lugar a altos costos de lubricación, y en otros casos, se lubrica con frecuencias muy amplias, siendo esto aun más crítico, por cuanto los mecanismos se gastan prematuramente.

**TABLA 5.1. COMPARACION ENTRE LOS LUBRICANTES
MAS COMUNES EN EL MERCADO NACIONAL**

NOMBRE	MARCA	GRADO	APLICACIÓN	VISCOSIDAD	
				40°C[cSt]	100°C[SUS]
REGAL R&O	TEXACO	ISO 46	COMPRESORES	41.4-50.6	214-262
REGAL R&O	TEXACO	ISO 68	COMPRESORES	61.2-74.8	317-389
REGAL R&O	TEXACO	ISO 100	COMPRESORES	90-110	468-574
ESSO COMPRESSOR OIL	ESSO	ISO 32	COMPRESORES	28.8-35.2	149-181.7
ESSO COMPRESSOR OIL	ESSO	ISO 68	COMPRESORES	61.2-74.8	317-389
ESSO COMPRESSOR OIL	ESSO	ISO 7	COMPRESORES	6.12-7.48	47.2-52.0
ESSO COMPRESSOR OIL	ESSO	ISO 150	COMPRESORES	135-165	709-866
SHELL CORENA P	SHELL	ISO 100	COMPRESORES	90-1100	468-574
SHELL CORENA P	SHELL	ISO 150	COMPRESORES	135-165	709-866
SHELL CORENA S	SHELL	ISO 68	COMPRESORES	61.2-74.8	317-389
MOBIL GLYGOYLE22	MOBIL	ISO 150	COMPRESORES	135-165	709-866
MOBIL GLYGOYLE 30	MOBIL	ISO 220	COMPRESORES	198-242	1047-1283
MOBIL RARUS 824	MOBIL	ISO 32	COMPRESORES	28.8-35.2	149-181.7
MOBIL RARUS 826	MOBIL	ISO 68	COMPRESORES	61.2-74.8	317-389
OMEGA 613	OMEGA	SAE 10	COMPRESORES	28.8-35.2	149.1-181.7
OMEGA 613	OMEGA	SAE 20	COMPRESORES	61.2-74.8	317-389
OMEGA 613	OMEGA	SAE 30	COMPRESORES	90.0-110	468-574
OMEGA 613	OMEGA	SAE 40	COMPRESORES	135-165	709-866
RANDO HD	TEXACO	ISO 46	HIDRAULICO	41.4-50.6	214-262
RANDO HD	TEXACO	ISO 68	HIDRAULICO	61.2-74.8	317-389
RANDO HD	TEXACO	ISO 100	HIDRAULICO	90-110	468-574
RANDO HD	TEXACO	ISO 150	HIDRAULICO	135-165	709-866
SYNESSTIC	ESSO	ISO 32	HIDRAULICO	28.8-35.2	149-181.7
SYNESSTIC	ESSO	ISO 68	HIDRAULICO	61.2-74.8	317-389
SYNESSTIC	ESSO	ISO 100	HIDRAULICO	90-110	468-574
TERESSO	ESSO	ISO 68	HIDRAULICO	61.2-74.8	317-389
TERESSO	ESSO	ISO 100	HIDRAULICO	90-1100	468-574
TERESSO	ESSO	ISO 150	HIDRAULICO	135-165	709-866
TERESSO	ESSO	ISO 220	HIDRAULICO	198-242	1047-1283
TERESSO	ESSO	ISO 320	HIDRAULICO	288-352	1533-1876

**TABLA 5.1. COMPARACION ENTRE LOS LUBRICANTES
MAS COMUNES EN EL MERCADO NACIONAL(CONTINUACION)**

NOMBRE	MARCA	GRADO	APLICACIÓN	VISCOSIDAD	
				40°C[cSt]	100°C[SUS]
SHELL TELLUS OIL	SHELL	ISO 46	HIDRAULICO	41.4-50.6	214-262
SHELL TELLUS OIL	SHELL	ISO 68	HIDRAULICO	61.2-74.8	317-389
SHELL TELLUS OIL	SHELL	ISO 100	HIDRAULICO	90-110	468-574
SHELL CLAVUS OIL	SHELL	ISO 68	HIDRAULICO	61.2-74.8	317-389
MOBIL GLYGOYLE22	MOBIL	ISO 150	HIDRAULICO	135-165	709-866
MOBIL GLYGOYLE 30	MOBIL	ISO 220	HIDRAULICO	198-242	1047-1283
MEGA 606	OMEGA	SAE 10W40	HIDRAULICO	135-165	
URSA SUPER PLUS	TEXACO	SAE 40	AUTOMOTRIZ	135-165	709-866
URSA SUPER PLUS	TEXACO	SAE 50	AUTOMOTRIZ	198-242	1047-1283
URSA SUPER PLUS	TEXACO	SAE 15W40	AUTOMOTRIZ	135-165	
URSA PREMIUN TDX	TEXACO	SAE 15W40	AUTOMOTRIZ	135-165	
HAVOLINE F3	TEXACO	SAE 40	AUTOMOTRIZ	135-165	709-866
HAVOLINE F3	TEXACO	SAE 10W30	AUTOMOTRIZ	68.23	
HAVOLINE F3	TEXACO	SAE 20W50	AUTOMOTRIZ	161.3	
ESSO MOTOR OIL	ESSO	SAE 40	AUTOMOTRIZ	135-165	709-866
ESSO MOTOR OIL	ESSO	SAE 50	AUTOMOTRIZ	198-242	1047-1283
ESSO EXTRA MOTOR OIL	ESSO	SAE 10w40	AUTOMOTRIZ	135-165	
ESSO EXTRA MOTOR OIL	ESSO	SAE 10W40	AUTOMOTRIZ	135-165	
ESSOLUB D-3D*	ESSO	SAE 40	AUTOMOTRIZ	135-165	709-866
SHELL HELIX	SHELL	SAE 40	AUTOMOTRIZ	135-165	709-866
SHELL HELIX	SHELL	SAE 50	AUTOMOTRIZ	198-242	1047-1283
SHELL RIMULA X	SHELL	SAE 15w40	AUTOMOTRIZ	135-165	
SHELL RIMULA OIL	SHELL	SAE30	AUTOMOTRIZ	90-110	468-574
SHELL RIMULA X	SHELL	SAE 50	AUTOMOTRIZ	198-242	1047-1283
SHELL HELIX SUPER	SHELL	SAE 20W50	AUTOMOTRIZ	161.3	
SHELL AGINA X*	SHELL	SAE 40	AUTOMOTRIZ	135-165	709-866
MOBIL DELVAC 1200D	MOBIL	SAE 30	AUTOMOTRIZ	68.23	468-574
MOBIL DELVAC 1200D	MOBIL	SAE 40	AUTOMOTRIZ	135-165	709-866
MOBIL DELVAC 1200	MOBIL	SAE 10W30	AUTOMOTRIZ	68.23	

**TABLA 5.1. COMPARACION ENTRE LOS LUBRICANTES
MAS COMUNES EN EL MERCADO NACIONAL(CONTINUACION)**

NOMBRE	MARCA	GRADO	APLICACIÓN	VISCOSIDAD	
				40°C[cSt]	100°C[SUS]
MOBIL DELVAC MEO 40	MOBIL	SAE 40	AUTOMOTRIZ	135-165	709-866
MOBILGARD 442*	MOBIL	SAE 40	AUTOMOTRIZ	135-165	709-866
OMEGA 643	OMEGA	SAE 40	AUTOMOTRIZ	135-165	709-866
OMEGA 643	OMEGA	SAE 50	AUTOMOTRIZ	198-242	1047-1283
REGAL R&O	TEXACO	ISO 150	ENGRANAJES	135-165	709-866
REGAL R&O	TEXACO	ISO 220	ENGRANAJES	198-242	1047-1283
REGAL R&O	TEXACO	ISO 320	ENGRANAJES	288-352	1533-1876
MEROPA	TEXACO	ISO 68	ENGRANAJES	61.2-74.8	317-389
MEROPA	TEXACO	ISO 100	ENGRANAJES	90-110	468-574
MEROPA	TEXACO	ISO 150	ENGRANAJES	135-165	709-866
MEROPA	TEXACO	ISO 220	ENGRANAJES	198-242	1047-1283
MEROPA	TEXACO	ISO 320	ENGRANAJES	288-352	1533-1876
MEROPA	TEXACO	ISO 460	ENGRANAJES	414-506	2214-2719
GETTY UNIVERSAL	TEXACO	SAE 90	ENGRANAJES	198-242	1047-1283
GETTY UNIVERSAL	TEXACO	SAE 140	ENGRANAJES	414-506	2214-2719
STARTAN EP	ESSO	ISO 100	ENGRANAJES	90-110	468-574
STARTAN EP	ESSO	ISO 150	ENGRANAJES	135-165	709-866
STARTAN EP	ESSO	ISO 220	ENGRANAJES	198-242	1047-1283
STARTAN EP	ESSO	ISO 320	ENGRANAJES	288-352	1533-1876
SHELL OMALA OIL	SHELL	ISO 150	ENGRANAJES	135-165	709-866
SHELL OMALA OIL	SHELL	ISO 220	ENGRANAJES	198-242	1047-1283
SHELL OMALA OIL	SHELL	ISO 320	ENGRANAJES	288-352	1533-1876
MOBILGEAR 626	MOBIL	ISO 68	ENGRANAJES	61.2-74.8	317-389
MOBILGEAR 627	MOBIL	ISO 100	ENGRANAJES	90-110	468-574
MOBILGEAR 629	MOBIL	ISO 150	ENGRANAJES	135-165	709-866
MOBILGEAR 630	MOBIL	ISO 220	ENGRANAJES	198-242	1047-1283
MOBILGEAR 632	MOBIL	ISO 320	ENGRANAJES	288-352	1533-1876
OMEGA 690 EP	OMEGA	SAE 90	ENGRANAJES	198-242	1047-1283
OMEGA 690 EP	OMEGA	SAE 140	ENGRANAJES	414-506	2214-2719
TARO XL	TEXACO	SAE 40	M ESTACIONARIO	135-165	709-866

Para hallar la frecuencia correcta se toman como base las recomendaciones del fabricante del equipo y se ajustan de acuerdo con el medio donde funcione, la tabla 5.2 puede ser empleada cuando no se tiene mayor información.

4. Señalización de los equipos a lubricar.

Es una buena práctica marcar los puntos de lubricación de los equipos de la planta con los símbolos estándares británicos establecidos para especificar las frecuencias de lubricación. La forma geométrica de estos símbolos indica la frecuencia y su color el tipo de lubricante. Dentro de cada símbolo aparece la palabra ISO ó SAE acompañada de un número si se trata de un aceite, o la NLGI con un número si es una grasa. Una planta adecuadamente señalizada es síntoma de una lubricación eficiente.

TABLA 5.2 FRECUENCIAS APROXIMADAS DE LUBRICACION

EQUIPO	Revisar y aplicar si es necesario	FRECUENCIAS CAMBIO	
		MESES	HORAS
Cojinetes lisos con aceite (anillo o collar)	diario	6	
Reductores con aceite	semanal	6	
Engranajes abiertos con aceite	diario	12	
Sistemas centralizados de aceite a plena pérdida	diario		
Sistemas centralizados de aceite circulatorio	semanal	6	
Acoplamientos aceitados	semanal		
Cadena de rodillos aceitados	diario		
Cadenas de rodillos por inmersión	semanal	12	
Guías aceitadas	c/turno		
Lubricador en línea de aceite	diario		
Sistemas hidráulicos	semanal	6	
Compresores de aire (pistones)	diario		200
Compresores de aire (rotativos)	diario		500
Motores de gasolina Estacionario	diario		300
Motores Diesel Estacionarios	diario		300

5. El almacenamiento y manipulación correcta de los lubricantes.

Es muy importante este aspecto, por que muchos lubricantes se deterioran y se contaminan, quedando inservibles como consecuencia de un mal almacenamiento o de un manejo incorrecto durante su aplicación.

6. El montaje correcto de las tuberías de conducción del lubricante.

Algunas veces no se montan rígidas sobre una estructura y se van deformando hasta que impiden el paso del lubricante a través de ellas, se puede tener un correcto programa de aplicación de lubricante pero si no se pone énfasis en el mantenimiento de los sistemas de lubricación, el trabajo no será eficiente.

7. Si existen métodos apropiados de disposición del aceite Desechado.

La filtración del aceite durante su servicio prolonga su vida útil pero al final siempre será desechado, lo que hace necesario implementar sistemas adecuados de tratamiento, tales como los de filtros cloacales, procesos de centrifugación o por vacío, dependiendo del tipo de contaminantes que tenga el aceite o bien, solamente concentrados en recipientes adecuados, todo depende del volumen total que se genera en la empresa.

8. Como se atienden las fugas de lubricantes.

La atención rápida y oportuna de las fugas y derrames de aceite permite mantener la cantidad correcta del lubricante dentro del mecanismo, eliminando los riesgos de que se produzca una falla catastrófica del mismo y a la vez se reducen los costos por pérdida de lubricante.

9. La forma en que se lubrican los equipos nuevos.

Antes de poner en operación un equipo nuevo es necesario revisar que esté correctamente lubricado. Muchos equipos que se lubrican por salpique vienen de fábrica con un producto anticorrosivo que protege los diferentes elementos lubricados de la humedad del medio ambiente durante su transporte y almacenamiento. En muchos casos, algunos de estos equipos se han puesto en operación con este producto, presentándose a las pocas horas de estar trabajando una falla importante del mismo. Por lo regular, el fabricante del equipo especifica mediante una placa metálica colocada en la carcaza que éste no ha sido lubricado en la fábrica y que por consiguiente se debe lubricar antes de ponerlo en operación. El producto anticorrosivo no es necesario lavarlo porque es soluble con cualquier tipo de aceite.

5.4.2.3.- Clasificación de los equipos.

Es necesario que el personal encargado de la operación y el mantenimiento de la maquinaria entienda lo que un programa de monitoreo puede hacer para apoyar su trabajo. La clasificación de la maquinaria y los casos históricos específicos auxiliaran explicación de como puede usarse un PMT. El desarrollo de un sistema de clasificación de la maquinaria ayudara en la definición de prioridades, importancia y atención que el PMT debe dedicar a una máquina en particular o a algunos tipos de máquinas.

Los métodos para la clasificación de maquinaria están basados en:

- El impacto que tiene la falla de una máquina particular en la producción o su costo de mantenimiento.
- Evaluar si el método de lubricación de la máquina hace practico el monitoreo de las propiedades del aceite.

En las plantas, se tienen diferentes máquinas y ellas no requieren el mismo tipo de atención por el PMT. Algunas de las máquinas son consideradas criticas o de alta prioridad con respecto a la producción. Estas máquinas requerirán más atención que una máquina que es de baja prioridad para la producción o es más barata de reemplazar.

Pero el factor definitivo para clasificar la maquinarias, es tomar en cuenta los sistemas de lubricación que existe en la maquinaria, en el momento del diagnostico. Para evaluar la facilidad de toma de muestras y si el análisis de aceite es significativo. Así se descartaran para el PMT las maquinas con métodos de lubricación de perdida completa (o bien se evalúa el cambio de método), las aplicaciones donde la máquina tiene volúmenes mínimos de lubricante, el lubricante esta expuesto a contaminación externa y cuando los lubricantes no son aceites fluidos.

Realizando la clasificación de los equipos por separado, se obtiene un listado con las máquinas ordenadas por orden de prioridad y las máquinas a las que es practico el monitoreo de las propiedades del aceite, las maquinas de la intersección de las dos listas, son las finalidad del PMT.

5.4.2.4.- Calidad del personal encargado de la lubricación.

Los operarios encargados de la lubricación son las personas sobre quienes recae el buen funcionamiento de la maquinaria de la empresa. El operario de lubricación como mínimo debe

haber sido ayudante de mecánica, pues es inadmisibles que una persona pretenda lubricar un mecanismo si no entiende cómo funciona, cuál es la temperatura normal de funcionamiento, cuándo una carga es crítica o no, o cuándo un lubricante no cumple sus funciones adecuadamente durante su trabajo.

A nivel industrial se cree que el operario de lubricación (lubricador) debe ser la persona de más bajo nivel intelectual y la menos remunerada; la realidad debe ser totalmente diferente. Un operario de lubricación bien capacitado le puede representar a cualquier empresa el ahorro de cuantiosas sumas de dinero por menor consumo de repuestos, lubricantes, paros de maquinaria y además, por el cumplimiento de las funciones como eficiente supervisor de mantenimiento preventivo porque de todo el personal de la fábrica, es la única persona que inspecciona la totalidad de los equipos todos los días y, por consiguiente, sabe a ciencia cierta cuál es su funcionamiento real.

Los operarios de lubricación deben contar con la ropa de trabajo adecuada para llevar a cabo su trabajo, como es un uniforme en buen estado y vistoso, botas de caucho y guantes para evitar el contacto directo de las manos con el lubricante porque, en muchos casos, se puede presentar la enfermedad llamada dermatitis.

El lubricador debe aprender a diferenciar cuándo un ruido en un mecanismo es anormal y sus posibles causas, de igual manera, cuáles son las temperaturas normales de funcionamiento. Esto permite que él corrija el problema si es por lubricación y que no se pierda tiempo en inspecciones mecánicas innecesarias.

En algunas empresas el cargo de lubricador se ha repartido entre el mecánico de mantenimiento y el operario de las máquinas, obteniéndose en la mayoría de los casos excelentes resultados. El mecánico de mantenimiento realiza las frecuencias de lubricación superiores o una semana, como cambios de aceite, reengrase, etc., y el operario del equipo, las frecuencias iguales o inferiores a una semana, como aplicar aceites y revisar niveles. Este último pasa a ser el ayudante de lubricación del mecánico de mantenimiento cuando éste debe efectuar las frecuencias largas (superiores a una semana).

En conclusión se debe sondear los aspectos anteriores por medio de inspecciones y entrevistas al personal. Y llegar a establecer que por incapacidad del personal se están incidiendo en

la ineficiencia de la lubricación o por el otro lado por la directrices de la empresa no se le presta atención a la experiencia y conocimiento del personal para la toma de decisiones.

5.4.3.- Establecimiento del PMT.

Cuando se tienen establecidas las actividades a desarrollar, para corregir las deficiencias del programa de mantenimiento existentes en la planta detectadas en el diagnóstico, será necesario proceder con las actividades correctivas o obligatorias para el PMT, de una manera lógica y sistemática, a través de procedimientos de simple aplicación, que faciliten la solución de los problemas detectados.

La implementación del PMT requiere de disponer de recursos, desarrollar capacidades y mecanismos que asegure su eficiente operación. Por lo tanto para facilitar la implementación de este, se describirán en esta sección una guía de cuatro puntos, los cuales se describen a continuación:

1. Planificación.
2. Establecimiento de medidas administrativas y técnicas
3. Operación, revisión y evaluación
4. Mejoramiento continuo.

5.4.3.1.- Planificación.

Consiste en la formulación de un plan de acción global que establezca objetivos y metas de las actividades a realizar para implantar el PMT, además de definir los aspectos de logística muy importantes que complementan la actividad del PMT, por ejemplo:

- La asignación de responsabilidades, debe quedar establecido quien es el responsable de todas las tareas que comprende el PMT.
- Establecer los mecanismos de información y comunicación. Indispensables para lograr mayor integración de los departamentos.
- Establecer mecanismos, que asegure que la implementación del PMT, que se esta cumpliendo los objetivos, además de como se medirá los efectos de la implementación.

5.4.3.2.- Establecimiento de medidas administrativas y técnicas.

Implantar y mantener en operación un PMT requiere de una reestructuración administrativa del área de mantenimiento dentro de la empresa, creando y asignando nuevas funciones, contratando nuevo personal o capacitando al personal existente para afrontar mejor el cambio. Se debe disponer de una estructura que de soporte técnico y logístico al PMT.

5.4.3.2.1.- Asignación de responsabilidades

Para desarrollar un programa de lubricación con calidad, la empresa debe tener establecidos las responsabilidades y funciones claramente. Para que no existan atrasos en decisiones y excesiva burocracia, en la administración del manteniendo. En forma general a continuación se exponen las funciones que deben tener diferentes entidades dentro de la empresa, según su ocupación:

La Gerencia.

Con su autoridad y con sus recursos económicos debe dar las bases necesarias para que se ponga en marcha el PTM y para que los problemas iniciales de orden administrativo se puedan superar fácilmente.

El Departamento de Mantenimiento.

Debe trabajar conjuntamente con el supervisor de mantenimiento o en su defecto, con los operarios de lubricación. Este departamento debe elaborar los inventarios y las cartas de lubricación de cada equipo y sistematizar dicha información. El supervisor de lubricación o uno de mantenimiento son las únicas personas indicadas para trabajar con el PTM en cuanto a la elaboración de las órdenes de trabajo y la recepción de la información que los operarios de lubricación reporten.

Departamento de Producción.

Debe coordinar los programas de producción de tal manera que sea factible detener periódicamente la maquinaria que funciona las 24 horas del día, con el fin de cumplir con los programas de lubricación propuestos. Si bien el objetivo de cualquier proceso industrial es producir, no se puede pasar por alto que una producción continua y de buena calidad, no se puede lograr si los mecanismos, por falta de lubricación, se desgastan rápidamente y fallan. El tiempo invertido en lubricar un mecanismo, debe hacer parte necesariamente del tiempo de producción charlas

periódicas sobre la importancia que tiene mantener los equipos bien lubricados, y en la forma como ésta repercute no sólo en las pérdidas de producción de un equipo, sino de toda una fábrica.

Departamento de Compras.

Debe dar la información requerida en la etapa de diagnóstico y tramitar rápidamente las órdenes de compra de lubricantes procedentes del departamento de Mantenimiento tanto para implantación del PTM como para su operación.

El departamento de Compras nunca debe ser el encargado de sugerir los lubricantes que se deben emplear en la lubricación de la maquinaria (esto es lo que normalmente sucede en algunas fábricas) porque un jefe de compras generalmente conoce muy poco acerca de este campo y además, suele ser susceptible a los argumentos poco técnicos de un vendedor de lubricantes. En el desarrollo industrial moderno y con los avances tecnológicos cada vez más acelerados, sólo será rentable competir si se involucra la lubricación como parte esencial de cualquier sistema de producción. A simple vista parece ilógico que para fabricar un artículo se tenga que tener en cuenta la lubricación, pero se debe recordar que si es una máquina la que lo produce, ésta tiene elementos mecánicos en movimiento relativo y por lo tanto, sólo un buen lubricante los puede mantener separados y con un nivel mínimo de desgaste.

Bodega.

La bodega debe coordinar con el departamento de lubricación cuáles son las cantidades mínimas de lubricante que se deben mantener, con el fin de que, en un momento dado, no se vayan a presentar problemas por escasez de lubricante. De acuerdo con los volúmenes de aceite requeridos, esta dependencia debe analizar la posibilidad de adquirirlos a granel y así rebajar los costos de lubricación.

5.4.3.2.2.- Estructura administrativa requerida

Como se mencionó, para implantar y operar un PMT se requiere una estructura que de soporte técnico y logístico, el número y el grado de especialización del personal dependerá del volumen de lubricantes a procesar y analizar, o bien el tamaño y los recursos de los que dispone la empresa. De esta forma un equipo de operación del PMT puede estar constituido desde una persona hasta un grupo multi disciplinario, según el caso.

En fin la forma de la estructura es decisión de la gerencia, pero debe ser igual o una variante de las forma siguiente:

En esta organización (ver figura 5.3), el equipo de operaciones del PMT está subordinado directamente de la jefatura del departamento de mantenimiento, y esta integrado por un jefe que es el encargado y es el tiene mayor experiencia en el ramo, usualmente administra el equipo a la vez que interpreta, analiza y decide acerca de los resultados, además asigna tareas a un grupo de operadores (toma las muestras, hacer reportes, etc.), el encargado también es el que gestiona con la personas que realizan la pruebas, es decir el "canal" de pruebas de laboratorio. En las próximas secciones se profundizara más acerca de la importancia de elegir el canal de pruebas.

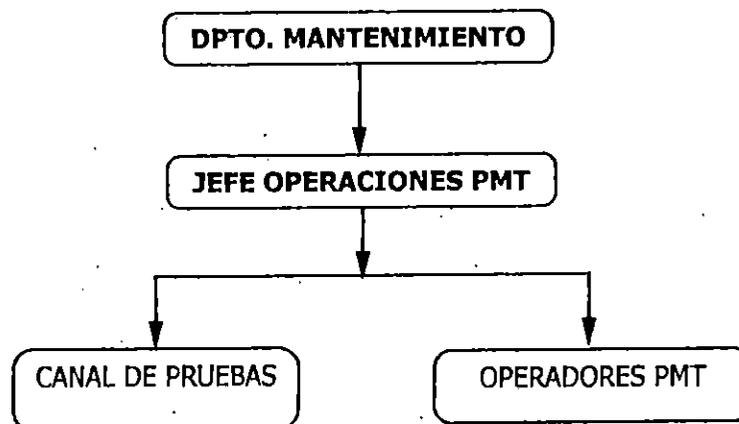


FIGURA 5.3 ESTRUCTURA BASICA

Esta estructura es la idónea para empresas medianas, si se eliminan a los operadores PMT se tendrá la organización mínima (solo jefe PMT y canal de pruebas) con la que puede operar PMT, estructura que es muy practica para empresas pequeñas.

Se puede organizar que el equipo de operaciones del PMT este subordinado también al departamento de operaciones o directamente con la gerencia de la empresa, una sofisticación adicional de la estructura resulta de añadir asesores externos, investigadores y operadores especializados etc.

Para el caso de exista departamento de proyectos, esta es la encargada de la implantación del PMT. Y es cuando se decide si se contrata nuevo personal o se adiestra el ya existente, como se

vera en próximas secciones, la elección del canal es la principal creadora de puestos en la nueva organización, por que requiere de la contratación de laboratoristas y químicos analistas.

5.4.3.2.3.- Programas de capacitación.

Aun hoy en día son raras las fábricas en las cuales el lubricador recibe un entrenamiento formal en su oficio, lo más común es que le den una aceitera y una pistola engrasadora y lo manden a lubricar toda la maquinaria. Afortunadamente, en la mayoría de los casos, el personal de mantenimiento es muy bueno y proactivo, pronto se defiende por su propia inteligencia; no obstante esto es un grave error.

Debe establecerse un programa de capacitación y programas de retroalimentación permanentes, del tal manera que el personal siempre este consiente de la importancia del PMT y además de transmitir los nuevos conocimientos.

Esta capacitación aparte, de proveer conocimientos teóricos y prácticos básicos, para la realización del PMT, deben de incluir aspectos de calidad y aspectos ecológicos, capacitación en salud y seguridad, así como también, capacitación específicas en tareas ecológicas, como por ejemplo: control de derrames de aceite, desechado correcto, etc..

La capacitación es una actividad que da apoyo a las actividades meramente técnicas, es decir que forma parte de la estrategia de apoyo del programa de mantenimiento, pero esta dirigido al recurso humano y no al material, con estas actividades, se logra que aumente la eficiencia, porque sensibilizan e instruyen al personal en métodos para evitar errores que resulten caros en perjuicio de la eficiencia.

Este tipo de actividades las ejecuta el personal interno o externo especializado en el PMT y tiene dos objetivos principales:

a).- Motivación.

Para que el PMT resulte eficaz, y sea notable la mejora de la calidad de la lubricación, este debe ser impulsado de tal manera que todo miembro involucrado lo apoye; para cada uno de los niveles de la organización de la central, la motivación es distinta, por ejemplo en niveles ejecutivos un plan con rentabilidad alta es suficientemente atractivo, pero con el personal de operaciones y mantenimiento es diferente por que el programa incrementa sus labores y obligaciones, no se

puede descuidar este detalle porque la colaboración de este personal es indispensable, por tanto es necesario, establecer dentro de la empresa políticas de incentivos para que el personal participe con voluntad.

b).- Capacitación

El capacitar el personal es una buena inversión, ya se puso énfasis en la necesidad de que el personal de la planta conozca de ciertos tópicos, la mejor forma de hacerlos llegar a los interesados es por medio de cursos, conferencia y materiales escritos.

Los conocimientos que se deben seleccionar para la difusión están relacionados con el nivel académico, experiencia y ocupación de los individuos objetos de la capacitación, existen dos niveles de capacitación:

1.- Capacitación general

Para el personal técnico de los departamentos de mantenimiento y operaciones, los temas indicados son relacionados a aspectos generales de la Tribología y los lubricantes, para la capacitación se sugieren los temas:

- Generalidades del Mantenimiento Industrial.
- Tipos y propiedades de lubricantes.
- Métodos de lubricación.
- Pruebas estándar realizadas a los aceites.
- Generalidades del PMT

2.- Capacitación específica para tareas y puestos.

Esta capacitación se refiere al entrenamiento que es necesario proporcionar al personal que será ejecutor de las actividades del PMT, es decir, el objetivo de la capacitación es especializar a la persona, en una tarea específica, y que hasta el momento de la implantación no existía en la empresa.

Los contenidos de la capacitación varían para cada función, y tienen como objeto el de orientar, explicar, adiestrar, en la tarea que se este asignada.

En cualquiera de los niveles de capacitación el uso de software para el levantamiento de textos, hojas de calculo y bases de datos. Debe ser incluido.

1.4.3.2.4.- Canales

El medio que se elija para llevar a cabo la pruebas de laboratorio es importante porque de el depende la factibilidad económica del proyecto y la calidad de los resultados de las pruebas de laboratorio.

Antes de definir los canales posibles es necesario conocer los diversos tipos de laboratorios que prestan el servicio de análisis de aceite, estos se presentan a continuación:

Laboratorios de fabricantes de aceite

Algunos fabricantes de lubricantes tienen como un modo de mercadeo el realizar pruebas de laboratorio y asesoría a sus clientes a bajo costo, teniendo estos los más modernos y confiables equipos de laboratorio y un personal experto, es posible aprovechar este servicio y realizar pruebas en un numero reducido de muestras en cierto periodo de tiempo, debido a que este servicio tiene limitantes:

- No se dispone del laboratorio permanentemente.
- El traslado de las muestras al laboratorio ocupa mucho tiempo.
- El traslado de las muestras al laboratorio tiene un costo elevado.
- Trato preferente a lubricantes de la marca de la fabrica a la pertenece el laboratorio.

Laboratorios externos

Los laboratorio de los fabricantes y laboratorios químicos analíticos, ofrecen el servicio de pruebas de aceite usado de cualquier marca, pero con ningún tipo de interpretación de resultados. Este medio tiene las limitantes de:

- No se dispone del laboratorio permanentemente.
- El traslado de las muestras al laboratorio ocupa mucho tiempo.
- El traslado de las muestras al laboratorio tiene un costo elevado.
- El costo para un gran numero de pruebas es elevado.

El laboratorio interno

La empresa puede hallar en el PMT una gran alternativa para mejorar su programa de mantenimiento, tanto que justifique en invertir en un laboratorio especializado. Esta alternativa además de ser la de mayor costo inicial y traer mayor transformación a la organización de la empresa, a la larga es la que tiene mayor potencial de traer mejores resultados.

El tratar de disponer de un laboratorio interno trae el inconveniente al equipo de implantación del PMT, de tener que diseñar también el área de laboratorio, existen diversas alternativas a tomar en cuenta para elegir el tamaño y cantidad de equipos requeridos para el programa, en la sección 1.5.6 se describe la estructura sugerida, tomando en cuenta el tipo de maquinas que se disponen, el numero de pruebas al mes así también sin olvidar la tecnología apropiada para nuestro medio.

Los canales posibles a elegir, son combinaciones de los diferentes tipos de laboratorios, se describen a continuación de los mas elementales a lo mas completo:

Canal 1: Empresa - Laboratorio fabricante de aceite

Este canal es recomendable cuando el numero de maquinas a las que se le aplica el PMT es muy pequeño y se utilice marcas del aceite de un fabricante que disponga del servicio de laboratorio, además se requiere que el tiempo de respuesta no sea tan critico.

Canal 2: Empresa - Laboratorio externo

Este canal es recomendable para el monitoreo de un numero intermedio de maquinas pero periodos largos de monitoreo y que no se disponga del servicio del fabricante. Además que el tiempo de respuesta sea medianamente critico.

Canal 3: Empresa - Laboratorio Interno.

Es aplicable para el monitoreo de un numero intermedio de maquinas, pero periodos cortos de monitoreo y principalmente cuando sean necesarios resultados inmediatos. En los dos canales anteriores, donde se considera que no es rentable tener un laboratorio interno, es factible tener una serie de equipos que den una idea de los resultados de la pruebas estándar, para dar la pauta de mandar muestras al laboratorio.

Canal 4: Empresa - Laboratorio fabricante de aceite - laboratorio interno

Este canal es el indicado para los mismo caso del canal 3, pero empleado el apoyo eventual de el laboratorio sofisticado del fabricante, mayormente cuando el laboratorio interno posee equipos de menor precisión y confiabilidad. Además se consulta al personal experto sobre nuevas situaciones y problemas no identificados anteriormente. Esto permitirá que cuando se presente un problema de lubricación se pueda analizar, dar soluciones y compartir responsabilidades en conjunto.

Canal 5: Empresa - Laboratorio externo - Laboratorio interno

Cuando se dispone de un laboratorio interno y no se tiene la facilidad de consultar al fabricante, el laboratorio interno esta obligado para corroborar sus datos el emplear un laboratorio externo. En nuestro país existe pocas empresas que presten este servicio, algunas ofrecen realizar la pruebas de laboratorio, pero únicamente actúan como intermediarios entre un laboratorio que esta fuera del país y la empresa interesada.

Canal 6: Empresa - laboratorio interno - fabricante de aceite - laboratorio externo

Cuando la empresa tiene un laboratorio interno, pero la diversidad de maquinas que se monitorea, obligan a realizar pruebas especiales cada cierto periodo, o se quiere corroborar periódicamente la confiabilidad de los datos, es conveniente emplear un canal compuesto.

La decisión de cual es el canal más indicado dependerá, como se observara, de las características y alcances que se asigne al PMT. La ultima palabra la tendrá la dirección de la empresa evaluando la diversas alternativas.

5.4.3.3.- Operación, revisión y evaluación.

Una vez iniciada la implementación de las actividades correctivas y operativas, será responsabilidad del director del jefe del PTM velar, que las actividades se estén realizando. La medición y evaluación comprende las actividades que permiten medir, monitorear y evaluar el desempeño del PMT, es decir, que se determina si se actúa de acuerdo a los objetivos y metas de este.

Los descubrimientos, conclusiones y recomendaciones resultantes del monitoreo, auditorias y revisiones; deben ser documentados identificando las acciones correctivas y preventivas necesarias. El jefe del PMT deberá asignar la responsabilidad, para que estas actividades se implementen y que se asegure su seguimiento.

De la etapa de revisión inicial se tiene un antecedentes de como y si se han establecidos periodos de cambio según los fabricantes de equipo, pero el verdadero inicio para las referencias de las que se valera el PTM para dar los puntos de partida para los controles estadísticos es la fijación de los periodos óptimos de cambio de aceite, a través del análisis de las pruebas de laboratorio y la confrontación con los periodos que se utilizan en las maquinas seleccionadas para el PMT, para ello es necesario que se tenga a disposición el canal.

Cuando se haya terminado esta sección se conocerá cuantitativamente cuan desviados están los periodos de cambio empleados con los óptimos, solamente estos datos son un gran apoyo al programa de mantenimiento.

Es importante llevar un control de registros, estos constituyen la evidencia de la evolución del PMT y son fuente de información sobre el desempeño incluso del departamento de mantenimiento.

Tener un programa de lubricación apoyado por un PMT confiable y cumplirlo totalmente, como ya se menciona, puede ser la mejor solución para una política de reducción de costos de mantenimiento. Para poderlo cumplir, es necesario tener un número mínimo de operadores, y que a cada uno de estos se le asigne diariamente una cantidad adecuada de tareas, de tal forma que el tiempo alcance para cumplir lo programado.

Una de las herramientas que son deseables utilizar para la operación del PMT, proviene de la tecnología de punta, como lo es la computadora (hardware y software), para el caso de empresas con un gran número de equipos monitoreados, la computadora es indispensable. Si se tienen datos confiables, un PMT sistematizado puede ser la solución a muchos de los problemas de operación que a diario se presentarían en una empresa, de ese tipo.

Al monitorer una maquina que emplea un método de toma de muestras determinado en uno o varios puntos, la complejidad al llevar a cabo la toma de muestras depende de las características de

cada mecanismo. Esto hace que el tiempo de toma de muestras no sea el mismo en todos y por lo tanto, el número de mecanismos asignado a operador en un día puede ser diferente.

El orden en que salen programados los mecanismos debe ser de tal forma que el operador pueda realizar su labor haciendo un recorrido continuo (rutas de toma de muestras), sin necesidad de ir a un sitio y luego regresar a otro cercano a donde ya había estado.

Todo esto se debe tener en cuenta al seleccionar el software para la operación del PMT si se desea obtener buenos resultados. Llevarlo a cabo en forma manual requiere trabajo arduo y con un alto riesgo de cometer errores que pueden resultar muy costosos. Por ello, la mejor solución es el uso de la computadora porque existen software especializados que puede ayudar a sistematizar, para asegurar que los mecanismos se programen para monitoreo en el periodo asignado y se consignen las recursos en la base de datos (lubricantes, cantidad de puntos, tiempo y personal), para que éstas correspondan. Además se consiguen facilidades para:

1.- Controlar reprogramaciones. Todos los mecanismos que por diferentes razones no se pudieron monitorear en el mes, deberán salir programados en el próximo. Con los equipos que ya han sido monitoreados se actualiza la base de datos, con el fin de tener datos exactos y confiables del consumo y los costos de lubricación.

2.- Evaluar los costos y consumos. Dentro de los costos de mantenimiento, saber cuánto se gastó en el PMT ayuda al departamento encargado, para hacer el presupuesto, además facilita el hacer un análisis de los equipos que conviene tener o si es el momento de cambiarlos.

El PMT sistematizado debe presentar informes que permitan conocer, en cualquier mes del año, los costos y consumos de:

- Horas/hombre empleados, del departamento o sección de operación del PMT.
- De todos los equipos que dispone la sección de operación del PMT.
- Determinado lubricante en la planta o en una sección.
- Consumibles empleados por la sección de operación del PMT

3.- Consultar información. Disponer de información actualizada en cualquier momento es una ventaja que se puede aprovechar, teniendo un PMT sistematizado. Se tienen facilidades para que en el momento deseado se obtenga, por ejemplo:

- Una lista de las maquinas monitoreadas de la empresa.
- La tendencia que presentan las propiedades de cierto lubricante de determinada máquina.
- Una lista de los aceites y los métodos de lubricación que tiene toda empresa.
- Información de los mecanismos de un equipo.
- Mecanismos de una planta que utilizan un lubricante específico.
- Informes completos de anomalías de funcionamiento.
- Calendarización de actividades

Esta información mínima se debe conocer y dependiendo de los requisitos de cada empresa, se puede incrementar hasta llegar a requerir una hoja de vida para cada equipo.

4.- Control de modificaciones. Todo PMT está sujeto a cambios que se pueden presentar en cualquier momento. Un equipo puede cambiar de nombre, a un mecanismo se le puede sustituir el lubricante o bien la cantidad o frecuencia de aplicación, el calendario tiene variaciones anualmente, etc.

Además si una sección desaparece de la empresa, un equipo deja de funcionar y no se sigue utilizando, o un lubricante deja de utilizarse, es mejor no tenerlos en cuenta y borrarlos de las bases de datos para no mantener allí información inútil, que pueda generar diagnósticos falsos.

Si la empresa adquiere un equipo nuevo, se empieza a utilizar o se cambia un lubricante por otro, o se crea una sección, es conveniente programar los mecanismos asociados junto a los ya existentes.

Todos estos cambios también se deben incorporar a la base de datos del software para que la información permanezca siempre actualizada.

5.- Confidenciabilidad de la información. Adicional a todo lo anterior se debe dar facilidad de respaldo de archivos, con el fin de tener copias de seguridad de las bases de datos ente cualquier anomalía que se pueda presentar en el software. Cualquier persona no debe tener acceso al

software, por lo tanto, se deben crear claves de seguridad que limiten el manejo del sistema únicamente al personal autorizado. Dependiendo de la empresa y cantidad de usuarios autorizados del software, cada usuario deberá tener asignado un atributo que le permita el acceso a sólo unas partes del software. Si el nivel del atributo es mayor, el usuario tendrá la posibilidad de entrar a todo el software.

Una empresa que desee sistematizar el PMT debe hacer un estudio para determinar sus verdaderos requerimientos y así poder elegir la acción más apropiada a seguir para adquirir el software, la cual puede ser una de las siguientes:

- Comprar uno que esté en el mercado. Puede ser una solución útil para empresas que estén dispuestas a adaptarse al software o que no tengan requerimientos particulares.
- Desarrollo en la misma empresa. Es la solución ideal, pero muy costosa. Desarrollar un software de lubricación sistematizado puede demorar hasta un año y durante este tiempo se debe tener un ingeniero de sistemas y una computadora disponible a todo momento y la disposición de varias personas para que ayuden a determinar lo que realmente se desea como software final.
- Comprar un sistema a una empresa conocedora del tema y que esté dispuesta a realizar algunos cambios, con el fin de adaptar al máximo el software a la empresa y que pueda cumplir con lo que se espera de él.

Para tomar una decisión final, hay que tener en cuenta tres factores: presupuesto, tiempo y requerimientos.

Por otro lado se debe dar un seguimiento a la operación del PMT de alguna forma, este proporcionara la medida de evolución respecto al mejoramiento de la calidad de la lubricación. Es imprescindible establecer procedimientos claros para efectuar el seguimiento, se debe de calibrar y verificar periódicamente equipos y sistemas utilizados. Queda a criterio del jefe del PMT, establecer los procedimientos para la medición de los parámetros que reflejen una mejora de la calidad; y es su responsabilidad evaluar los resultados obtenidos y concluir al respecto. La información referente a la medición y evaluación tiene que ser documentada, y entregada una copia a la dirección de mantenimiento por lo menos, una vez trimestralmente.

5.4.3.4.- Mejoramiento continuo.

Esto es en si, lo esencial del PMT: la continuidad y permanencia de las actividades orientadas a la calidad, es decir implantar un programa permanente de medición de la calidad, porque solamente así se lograría un uso óptimo del lubricante.

El mejoramiento continuo se logra evaluando el desempeño tecnológico, humano y ambiental del programa de mantenimiento, buscando identificar permanentemente mejoras al programa, que redunden en la mejora del desempeño de la planta. Para esto, deben determinarse las causas posibles del deterioro de la eficiencia del programa de lubricación, establecer acciones preventivas y correctivas para evitar su repetición, además de procedimientos eficaces de verificación.

Todos los cambios al proceso (de diseño, de procedimientos, tecnológicos) de la maquinaria de planta, debidos a aspectos meramente ambientales y/o de producción, es muy importante documentarlos ampliamente, para tomar acciones futuras, por ejemplo actualizar el PMT, cambiar lubricantes, etc.

Por tanto se debe establecer una constante búsqueda de información que ayude a la operación y mejora de PMT, toda esta información debe ser conservada en un archivo especial, así también mantener un permanente comunicación con los departamento de mantenimiento, operaciones y de desarrollo.

5.5.- METODOS.

Hasta el momento se han descrito las etapas de las que consta el PMT, pero no se ha profundizado en los procedimientos, que se valen de diferentes métodos, tanto para buscar como para ordenar e interpretar la información, los métodos son utilizables para elaborar un plan y desarrollar una logística apropiada, para realizar la actividad, para la que es diseñado el método.

Las actividades de las diferentes secciones y etapas del PMT, tienen métodos que emplean como instrumentos:

1. Formularios: es un medio práctico, escrito en forma de cuestionario, en que el objetivo es coleccionar información y datos, necesarios para ejecutar cálculos y concebir observaciones y conclusiones.
2. Entrevistas: es un encuentro convenido, entre dos o más personas, el cual uno (el entrevistador) pregunta, sobre un tema específico, valiéndose de una serie de preguntas exteriormente establecidas. La información recopilada de esta forma debe de ser analizada por un método estadístico adecuado.
3. Tablas o cuadros: Es una lista de datos o información, dispuestas en orden y relacionadas entre sí, en las tablas es donde se concentra la información proveniente de las entrevistas y los resultados de las pruebas efectuadas en los lubricantes y recopilados en informes.
4. Listas de verificación: es un instrumento cuyo propósito es la verificación, precede y complementa las actividades, que por su importancia o complejidad, es requerido que por medio del chequeo en una lista, se asegure que no se pasara por alto, ningún aspecto. Este instrumento es aplicado solamente en la implementación.
5. Gráficos, es instrumento ideal para la visualización rápida y clara de la información recabada y calculada, para interpretarla en forma más precisa.

El método se selecciona, según el tópico, etapa y objetivos que se persigan, en las siguientes secciones se detallaran los métodos que son empleados por las etapas de implementación y operación del PMT.

4.5.1.- Método para la validación de los lubricantes .

Para este método, es necesario que se tome en cuenta como fuentes importantes de información acerca selección, mencionadas por : el fabricante de la máquina, el fabricante de los lubricantes, y él mismo como usuario de la máquina y del lubricante.

El fabricante de la máquina. Es la fuente de información más idónea y la que se debe tener a la mano en cualquier momento. Durante el diseño del equipo, se planea y se calcula su lubricación; esta no es improvisada, sino que se relaciona con los diferentes aspectos tribológicos del equipo (fricción, desgaste, materiales, diseño, fabricación, lubricación y utilización del equipo).

El fabricante de un equipo de prestigio muy raras veces se equivoca en sus recomendaciones de lubricación. Cuando se presenta un error, es porque se tienen unas condiciones operativas diferentes a las que inicialmente tuvo en cuenta el fabricante, como es el caso de aumentar las velocidades y cargas, lo que obviamente trae como consecuencia elevaciones de temperatura en los mecanismos, que pueden llegar a romper la película lubricante y a propiciar el desgaste adhesivo. Para evitar estos inconvenientes, se deben tener en cuenta los rangos permisibles de temperatura para un determinado tipo de lubricante.

Muchos equipos además de contar con el manual técnico, traen una placa metálica en donde aparecen de nuevo las recomendaciones de lubricación. Esto es muy práctico porque se presentan menos probabilidades de selección incorrecta de los lubricantes.

El fabricante de los lubricantes de prestigio cuentan con departamentos de lubricación y ventas bien especializados y con material humano adecuadamente capacitado en el área de lubricación, que permiten ofrecerle al usuario una asesoría confiable y segura en la selección, compra y utilización de un producto específico, durante largo tiempo y al menor costo posible. Esta es una fuente de información con que el usuario cuenta; de ahí la importancia de ratificar la selección correcta de la marca de los lubricantes (y de ser posible se debe utilizar una sola marca a nivel de toda la fábrica).

El usuario de la máquina, algunas veces (con mucha frecuencia) se presenta con que la maquinaria falla por culpa del mismo usuario, al querer alcanzar una mayor productividad de la misma. Sucede que al hacerlo se aumentan las cargas, velocidades y temperaturas de las diferentes piezas hasta valores muy por encima de los que se tuvieron en cuenta para el dimensionamiento;

con esto el usuario pretende reducir los gastos por compra de lubricantes y adquiere los más baratos que puede conseguir; esto igualmente, con el tiempo se traduce en costosas pérdidas.

Con el fin de evitar toda esta serie de problemas, que traen como consecuencia el deterioro y falla de la maquinaria, las tres entidades involucradas deben trabajar estrechamente y capacitarse en la mejor forma posible. Por parte del usuario, los técnicos que se encarguen del mantenimiento y de la lubricación de dicha maquinaria, deben poseer amplios conocimientos acerca de las últimas técnicas de lubricación y son ellos quienes deben aceptar o rechazar los lubricantes ofrecidos por los vendedores, de acuerdo con lo especificado por el fabricante de la maquinaria.

Los fabricantes de los lubricantes y equipos al igual que los vendedores deben ser honestos en los productos que ofrecen. Un vendedor de lubricantes debe ser primero un buen técnico en lubricación, con amplios conocimientos en maquinaria. El fabricante del equipo debe planear la lubricación de la misma durante su diseño y recomendar los lubricantes de más fácil consecución, que garanticen la vida útil para la cual fue diseñado el mecanismo y al menor costo posible. Se debe tener en cuenta que hoy en día, con las técnicas actuales, no hay mecanismo por sencillo o complicado que sea, que pueda funcionar de modo duradero y satisfactorio sin lubricación o con una lubricación deficiente.

Si se demuestra que se han seguido las indicaciones anteriores para la selección y se tiene plena confianza en el lubricante, bastaría para dar por válida la selección. Pero si se tienen dudas o se han presentado problemas, se debe proseguir como si se fuera a seleccionar el aceite por primera vez, aplicando los pasos que se siguen generalmente para recomendar el aceite de un equipo, los pasos son los siguientes:

1.- Búsqueda de información

Primeramente la viscosidad y demás propiedades físico - químicas del aceite, en el catálogo del fabricante del equipo.

El idioma universal en lubricación son los diferentes sistemas de unidades de medida de la viscosidad a sus temperaturas de referencia; éstas siempre que se vaya a seleccionar un aceite industrial, se deben llevar al sistema ISO, para lo cual se utilizan tablas de conversiones, siendo éstas la herramientas fundamentales para todas aquellas personas que trabajan o tengan que ver con el campo de la lubricación.

Si no se conocen las recomendaciones del fabricante, se deben emplear los diferentes métodos de diseños muy complejos que existen, de acuerdo con el mecanismo que se vaya a lubricar. De no tenerlos a la mano, la selección se puede hacer basándose en los siguientes factores.

- Velocidad. Cuando es alta el aceite debe ser delgado y viceversa, si es baja, se debe utilizar un aceite de alta viscosidad.
- Carga. Para cargas ligeras la viscosidad del aceite debe ser baja y para cargas altas el aceite debe ser de alta viscosidad.
- Temperatura. Es el factor que más afecta la viscosidad del aceite y se deben emplear aceites de alta viscosidad para altas temperaturas y de baja viscosidad para temperaturas bajas.

Cuando se combinan la velocidad o la carga con la temperatura en la selección de la viscosidad de un aceite, el factor más crítico que se debe tener en cuenta es la temperatura.

En la tabla 5.3 se da la viscosidad aproximada del aceite en función de la viscosidad, la carga y la temperatura, considerados cada uno aisladamente. Si se considera más de uno, se toma el más crítico.

Además el lubricante que se seleccione no debe ser por tener el nombre o la marca similares a una referencia. Es decir, no se tomaron en cuenta las características físico – químicas del aceite, que son las que van a garantizar un trabajo continuo, uniforme y eficiente. Es de recalcar que muchos lubricantes con nombres similares pueden servir para lubricar equipos completamente diferentes.

Convertir la viscosidad del aceite a cSt o a SSU. A cualquier temperatura, por medio de una tabla de conversiones en caso que se especifique en otras unidades diferentes. Hallar el grado ISO del aceite, teniendo en cuenta la viscosidad en cSt o en SSU y la temperatura en °C o en °F, respectivamente.

TABLA 5.3 REGLA PRACTICA PARA LA SELECCIÓN APROXIMADA DE LA VISCOSIDAD DEL ACEITE

FACTOR	VISCOSIDAD	
	ACEITE DE BAJA VISCOSIDAD	ACEITE DE ALTA VISCOSIDAD
CARGA	BAJA	ALTA
VELOCIDAD	ALTA	BAJA
TEMPERATURA	BAJA	ALTA
CLASIFICACIÓN DE LA VISCOSIDAD EN FUNCIÓN DEL GRADO ISO		
BAJA	ISO 32 – 68	
MEDIA	ISO 100 – 220	
ALTA	ISO 320 – 680	
CLASIFICACIÓN DE LA VELOCIDAD		
BAJA	0 – 450 r.p.m.	
MEDIA	450 – 900 r.p.m.	
ALTA	por encima de 900 r.p.m	
CLASIFICACIÓN DE LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN		
NORMAL	10° - 35° C	
MEDIA	35° - 59° C	
ALTA	por encima de 59° C	

2.- Buscar en catálogos de fabricantes de los lubricantes el aceite requerido.

Teniendo en cuenta el grado ISO hallado, las propiedades físico – químicas y el tipo de equipo que se va a lubricar.

3.- Toma de decisión.

Una vez hallado el grado ISO y conociendo las demás características físico – químicas del aceite, las cuales aparecen en catálogos y manuales de fabricantes se procede a seleccionar el aceite más adecuado, para lo cual se consultan los catálogos de los fabricantes de lubricantes, teniendo en cuenta el tipo de equipo que se vaya a lubricar.

Es conveniente que la marca del aceite seleccionado, hasta donde sea posible, sea la misma que la que se tiene establecida a nivel de toda la empresa. De igual manera, en este momento es la oportunidad de analizar la conveniencia o no de utilizar un lubricante sintético, en lugar de los tradicionalmente derivados del petróleo.

Las razones para el no cambiar los lubricantes tradicionales obedecen al temor o a la falta de argumentos ante el aparente costo extra, y ambas cosas son sólo una manifestación de inseguridad

del personal encargado, para adquirir los suficientes conocimientos que le permitan obtener a las empresas los beneficios de los adelantos de la ciencia, dando como resultado empresas tecnológicas y económicamente deficientes y en últimas el país es el que sufre las consecuencias.

Es conveniente anotar que las empresas que más sobrecostos soportan por este aspecto, son aquellas pequeñas y medianas, en las cuales la gerencia no justifica la contratación de personal técnico especializado. Un lubricante moderno, tipo sintético, cuesta cinco veces lo que uno tradicional, pero disminuye como mínimo la frecuencia en la misma proporción. De esta manera no se incurre en costos extras y se logran los siguientes beneficios:

- Reducción de paros de maquinaria por lubricación en una proporción mínima de 1 a 5, logrando mayor producción.
- Realización de la lubricación por personal absolutamente técnico, como son los mecánicos de proceso, ya que tratándose de una labor más esporádica no constituye un trabajo adicional, sino que por el contrario, como conocedores que son de la maquinaria, les permite detectar con facilidad los elementos en mal estado al obligarlos a llegar a todos los mecanismos de las máquinas, labor imposible de lograr con la máquina en operación.
- Se establece de una manera muy sencilla un control estricto y escrito de la lubricación punto a punto, situación complicada de controlar cuando las frecuencias son cortas.
- Se garantiza la lubricación de todos los puntos necesarios con la periodicidad debida, porque la frecuencia requerida de lubricación de una máquina para este efecto, no sólo es costosa, sino muchas veces imposible, efectuándose ésta sólo parcialmente en los puntos de fácil acceso y en algunos casos con las máquinas en movimiento, siendo esto un problema grave.
- Reducción sustancial del número de lubricantes, eliminando errores comunes como confusión entre estos, así como disminución de inventario.

5.5.2.- Método para el inventario de lubricantes y métodos de lubricación.

Estos inventarios son realizados mediante inspecciones y entrevistas, por esa razón la buena observación y experiencia, es fundamental para visualizar fácilmente la información que es requerida.

Estos inventarios tiene como objetivo establecer en que condiciones se realizara la implantación del PMT, es decir esta información es vital para planificar, la logística que se empleara para el procesamiento de los datos en la operación del PMT.

Teniendo el esquema de la planta, con la maquinas a evaluar señalizadas, se llenan el numero de formularios necesarios (ver figura 5.4 y 5.5) con los datos que son importantes investigar, luego se elabora un reporte que contenga la información ya mencionada y conclusiones y recomendaciones que a criterio del encargado sean pertinentes. Esta información es la que representa los antecedentes de referencia o de punto de partida para las siguientes secciones del procedimiento de implementación del PMT.

INVENTARIO DE LUBRICANTES					
Fecha: _____		No de Pagina: _____			
No	MAQUINA	AREA LUBRICADA	NOMBRE DEL ACEITE	MARCA Y GRADO DEL ACEITE	CANT. APLICADA
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
Observaciones: _____					
Realizado por: _____ f: _____					

FIGURA 5.4 FORMATOS EMPLEADOS PARA EL INVENTARIO DE LUBRICANTES

INVENTARIO DE METODOS DE LUBRICACION					
Fecha: _____		No de Pagina: _____			
No	MAQUINA	AREAS LUBRICADAS	METODOS APLICADOS	SISTEMA DE LUBRICACION	ES FACTIBLE EL PMT
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
Observaciones: _____					
Realizado por: _____ f: _____					

FIGURA 5.5 FORMATO EMPLEADO PARA EL INVENTARIO DE LUBRICANTES

5.5.3.- Métodos de la etapa de diagnostico.

Como se menciona anteriormente la etapa de diagnostico tiene cinco secciones, y cada una tiene sus propio método, que se tratarán en las siguientes secciones.

La fuente más indicada para contestar las preguntas del diagnostico de la condición del mantenimiento, es la dirección media del mantenimiento, el personal más optimo para contestarla son los técnicos, por que ellos son los que realizan materialmente los mantenimientos.

5.5.3.1.- Método para el diagnostico de la condición del personal.

La figura 5.6, es el formato sugerido para realizar la entrevista al director del personal de mantenimiento, para el diagnostico de la condición del personal a cargo de la lubricación, cobra importancia si la persona que implantara en PMT, es una persona externa o nueva en la planta.

DIAGNOSTICO DE LA CONDICIÓN DEL PERSONAL A CARGO DE LA EFICIENCIA Y LA CALIDAD DE LA LUBRICACION .	
Cuestionario No 1	
No	PREGUNTAS
1	<p>Existen programas de monitoreo la eficiencia de la lubricación?</p> <p>Si existe un programa conteste las siguientes preguntas: A que departamento le compete? Y cuantos empleados dispone?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>Quien es el encargado? Y cual es su profesión?</p> <p>_____</p> <p>Explique brevemente en que consiste el programa:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>Desde cuando se realiza:</p> <p>_____</p> <p>Que resultados se han obtenido:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>Que recursos dispone el departamento de control :</p> <p>_____</p>
2	<p>Existe una diferencia entre el departamento que operaciones y el que le da mantenimiento?</p> <p>Si _____ No _____</p> <p>Si existe diferencia conteste las siguientes preguntas: De cuantas personas esta formado el departamento de mantenimiento: _____ en cuantos turnos _____ , quien es el jefe: _____ cual es su profesión: _____</p> <p>Si no existe diferencia conteste las siguientes preguntas: Como se llama el departamento: _____ Cuantas personas trabajan: _____ En cuantos turnos son: _____ Quien es el jefe: _____ cual es su profesión: _____</p>

FIGURA 5.6. CUESTIONARIO: ENTREVISTA PARA EL DIAGNOSTICO DE LA CONDICIÓN DEL PERSONAL A CARGO DE LA EFICIENCIA Y LA CALIDAD DE LA LUBRICACIÓN.

5.5.3.2.- Método para el diagnostico de la condición de la lubricación en general.

Un factor importante que acompaña al diagnóstico de la administración del mantenimiento, es la inspección directa de los sistemas en operaciones, esta inspección reflejaría que tan efectivo a sido el mantenimiento hasta ese momento, además si no existe un programa de mantenimiento normal, la inspección será el punto de partida para este mantenimiento.

Entre los factores que deben observarse en una inspección, según siguiente figura:

DIAGNOSTICO DE LA CONDICIÓN DE LA LUBRICACION EN GENERAL. ASPECTOS DE LA ADMINISTRACIÓN			
No	PREGUNTAS	si	no
1	Que tipo de mantenimiento que se realiza:		
	Solamente correctivo		
	Preventivo - correctivo		
	Preventivo - correctivo - predictivo		
2	Existe un departamento o persona , que planifique las tareas de mantenimiento		
	si existe:		
	Cuantas personas conforman el departamento:		
	Que equipos dispone el departamento:		
	Como es el método de trabajo del departamento:		
	No se han presentado problemas de planificación:		
3	Asignación de responsabilidades en lubricación	si	no
	Existe una persona del mantenimiento encargada exclusivamente de la lubricación		
	Existe personal encargado de las tareas de lubricación:		
	La lubricación esta a cargo de los operadores		
	Se imparten cursos de lubricación al personal de mantenimiento		
	Cual es el nivel técnico apreciado en los lubricadores		
4	La atención a los informes de los lubricadores	si	no
	Los lubricadores elaboran informes de las tareas:		
	Que información incluyen los informes:		
	Que tipo de procesamiento se le da a los informes:		
	Se elaboran estadísticos del mantenimiento:		
5	Cual es el numero aproximado de marcas de lubricantes:		
	Se tienen problemas de suministro de lubricantes:		

FIGURA 5.7. CUESTIONARIO: DIAGNOSTICO DE LA CONDICIÓN DE LA LUBRICACIÓN EN GENERAL. ASPECTOS DE LA ADMINISTRACIÓN.

DIAGNOSTICO DE LA CONDICIÓN DE LA LUBRICACION EN GENERAL. ASPECTOS TÉCNICOS		
No	PREGUNTAS	si no
1	Mantenimiento de los sistemas automáticos de lubricación	
	Existen sistemas automáticos de lubricación :	
	Cual es el estado de los sistemas automáticos de lubricación:	
	Se realiza un adecuado mantenimiento en los sistemas de lubricación:	
2	El uso racional los lubricantes y frecuencias de lubricación	
	Se observa desperdicios de lubricantes:	
	Bajo que criterios se toman la decisión para el cambio de aceite:	
	Intervalos periódicos recomendados por los fabricantes.	
	Pruebas de laboratorio	
	Cuando se perciben problemas de lubricación	
	Cuando se percibe un cambio significativo de aspecto	
	Que acción se realiza cuando baja muy rápidamente el nivel de aceite	
	Se busca la causa	
	Solamente se repone el aceite que se pierde	
	Se realiza un reporte	
	No se hace nada	
Que tipo de registros se llevan de las cantidades de lubricante que se emplean en las maquinas:		
Se tienen mediciones de las cantidades correctas de lubricantes que se emplean en los sistemas de perdida completa:		
se tienen dispensadores en los sistemas de perdida completa:		
3	Señalización de los equipos a lubricar	si no
	Se tienen señalizados correctamente todos los equipos a lubricar	
	Si no se tienen señalizados los equipos, como se tiene el control del lubricante a aplicar:	
	En forma verbal	
	Por cartas de lubricación	
Por intuición		
4	almacenamiento y manipulación correcta de los lubricantes	si no
	Se tienen bodegas especiales para los lubricante	
	El ambiente de almacenaje de los lubricantes es seco y temperaturas normales	
	Se almacenan a la intemperie	
	Se mantienen sellados los recipiente de aceite hasta su uso	
	Se atienden las indicaciones que presenta el fabricante del aceite en el envase	
	Se dan indicaciones a las personas que manipulan el aceite	
	Se ha desechado aceite antes de su uso	
Se realizan pruebas al aceite que ha estado mucho tiempo almacenado		

FIGURA 5.8. CUESTIONARIO: DIAGNOSTICO DE LA CONDICIÓN DE LA LUBRICACIÓN EN GENERAL. ASPECTOS TÉCNICOS.

DIAGNOSTICO DE LA CONDICIÓN DE LA LUBRICACION EN GENERAL. ASPECTOS TÉCNICOS		
No	PREGUNTAS	si no
5	Montaje correcto de las tuberías de conducción del lubricante y atención de fugas	
	Se verifica periódicamente el estado de las tuberías de lubricante :	
	Se verifica periódicamente los filtros y posibles obstrucciones de las tuberías de aceite	
	Cual es el estado actual de las tuberías de lubricante:	
	Se realiza un adecuado mantenimiento en las tuberías de lubricación:	
	Se tienen suficientes repuestos en bodega para atender las fugas de lubricante	
	Cual es el procedimiento que se sigue al detectar una fuga de lubricante:	
6	Existe método de disposición del aceite Desechado	
	Se observa desperdicios de lubricantes en el piso y paredes:	
	Cuales es la disposición que se le da el aceite residual:	
	Se tira al drenaje	
	Se tira en la tierra Circundante	
	Se tira con los residuos sólidos	
	Se emplea como combustible	
	Se vende	
7	Forma en que se lubrican los equipos nuevos	si no
	Quando se instalan maquinas nuevas se procede:	
	se verificar si esta lubricadas	
	se pone en operación la maquina	
	se lava la maquina con aceite nuevo	
	se pone en observación la operación de la maquina	

FIGURA 5.8. CUESTIONARIO: DIAGNOSTICO DE LA CONDICIÓN DE LA LUBRICACIÓN EN GENERAL. ASPECTOS TÉCNICOS.(CONTINUACIÓN)

5.5.4.- Método para la obtención de las muestras.

Las muestras de aceite en operación para ser analizadas de deben tomar recién detenido el mecanismo, con el fin que todas la impurezas (materiales solubles y no solubles) se hallen en suspensión en el aceite y los resultados que se obtengan sean los más representativos posibles. Nunca se debe tomar muestras del fondo de depósitos o de los filtros por que en estas partes se encuentran la mayor concentración de impurezas, las cuales no recirculan con el aceite.

Quando se vayan a tomar muestras periódicas de aceite en los equipos críticos de una planta, es conveniente colocar en cada uno de ellos un manguera con válvula (se encuentran en el mercado especialmente para esta función), tanto para facilitar la toma de dicha muestra como para realizarla

siempre del mismo lugar. Si el sistema de lubricación es por recipiente de aceite, la manguera debe quedar ubicado a la mitad de la distancia del fondo del recipiente y el nivel normal del aceite. En sistemas centralizados se debe colocar la manguera entre la bomba y el filtro de aceite. En lo posible, la muestra debe ser tomada a la misma hora del día y cuando la máquina este sometida a las condiciones más críticas de operación.

La primera muestra que se tome al abrir la válvula no debe tomarse en cuenta, sino la siguiente, por de lo contrario, se estaría analizando el aceite acumulado en esa sección de la tubería.

La cantidad de muestra que debe ser tomado dependerá del número de pruebas y la clase de equipo que dispone el laboratorio, por ejemplo el viscosímetro Saybolt requiere una cantidad mínima de 60 ml, en cambio uno Ostwald bastaría con un máximo de 5 ml. En conclusión el laboratorio dictara cual es la cantidad de aceite que necesite, regularmente en laboratorios especializados las muestras giran al rededor de 250 ml.

Los envases utilizados para guardar y trasladar las muestras de aceite al laboratorio debe estar completamente limpio y contar con una tapa hermética, puede ser de vidrio o plástico duro, blando y translucido, que no deteriore el aceite.

Los aceites de como de los transformadores y turbinas de vapor son sensibles a la luz, por lo tanto, las muestras deben ser tomadas en botellas oscuras.

La botella empleada para la muestra debe ir debidamente marcada para su completa identificación. Los datos que se deben especificar con la muestra de aceite son:

- Nombre y marca del aceite
- Volumen de aceite que se utiliza en la máquina (galones)
- Fecha del ultimo cambio
- Cantidad agregada desde el ultimo cambio a la fecha de toma de muestra
- Temperatura de operación del aceite
- Medio en el cual trabaja el aceite
- Fecha de la toma de muestra
- Criterio de urgencia o no urgencia

En algunos casos, cuando el aceite trabaja bajo condiciones críticas, es aconsejable colocar otros datos adicionales, como la presencia o no de demasiada cantidad de espuma, variación drástica de color, emulsionamiento, presencia de olores anormales, etc.

5.5.5.- Métodos de interpretación de resultados.

El éxito de un análisis de laboratorio del aceite en operación, no depende solamente de saber realizar las pruebas y en interpretar correctamente los resultados, sino también conocer exactamente cuáles son las pruebas que se le deben efectuar, porque, además realizar pruebas que no se requieran elevan innecesariamente el costo del análisis.

El PMT es una valiosa herramienta dentro del mantenimiento, siempre y cuando los resultados se sepan interpretar. Poco o nada se ganaría con mandar al laboratorio un sin número de muestras de aceite, si en el momento de obtener los resultados el usuario no tiene los conceptos bien claros para interpretar y correlacionar las diferentes pruebas efectuadas.

En la tabla 5.4 aparecen los valores máximos y mínimos permisibles para diferentes pruebas efectuadas bajo norma ASTM, esta tabla puede ser empleada como criterios para evaluación en aplicaciones en señaladas por la tabla.

Aplicando los niveles de la tabla 5.4, se razona un criterio del estado de aceite y las posibles causas de deterioro para tomar medidas producto del análisis. Lo importante para el PMT es que los anteriores análisis no queden en el olvido después de ser reemplazado el aceite de un equipo, lo indicado es llevar controles o realizar cuadros y gráficos del comportamiento en el tiempo de las propiedades importantes del aceite, para poder así realizar diagnósticos más acertados y predicciones más precisas.

TABLA 5.4 VALORES MAXIMOS Y MINIMOS PERMISIBLES PARA DIFERENTES PRUEBAS DE LABORATORIO.

Característica física o química	Criterio de característica	Valor máximo o mínimo permisible	Causas posibles	observaciones
Gravedad Especifica	MAYOR QUE LA NORMAL		<ul style="list-style-type: none"> Oxidado contaminado con aceite de mayor viscosidad 	No es un parámetro fundamental para definir si un aceite esta en buen estado o no pero sirve para comprobar otras características, como la viscosidad, el contenido de insolubles en pentano y el numero de neutralización.
	MENOR QUE LA NORMAL		<ul style="list-style-type: none"> diluido contaminado con agua 	
Gravedad API	MAYOR QUE LA NORMAL		<ul style="list-style-type: none"> contaminado con aceite de menor viscosidad contaminado con agua 	
	MENOR QUE LA ORIGINAL		<ul style="list-style-type: none"> Oxidado contaminado con aceite de mayor viscosidad 	
Viscosidad SSU/100 °C o cSt/40°C	MAYOR QUE LA ORIGINAL	<ul style="list-style-type: none"> 5% Turbinas de vapor, gas o hidráulicas 10 % En sistemas hidráulicos y centralizados 25 % en reductores, compresores de refrigeración 40 % En motores estacionarios 	<ul style="list-style-type: none"> Oxidado Contaminación con materiales sólidos Contaminación de aceites de mayor viscosidad 	Es uno de los parámetros más importantes para determinar el estado del aceite
	IGUAL AL ORIGINAL		<ul style="list-style-type: none"> En buen estado. Oxidado y diluido en la misma proporción 	
	MENOR QUE LA ORIGINAL	<ul style="list-style-type: none"> 15 % de disminución en todas las aplicaciones 	<ul style="list-style-type: none"> Diluido con combustible Contaminado con otro de menor viscosidad 	
Indice de Viscosidad	MAYOR QUE LA ORIGINAL		Oxidación Contaminación con otros aceites	Esta evaluación solo permite evaluar el estado de los aditivos mejoradores de IV
	MENOR QUE LA ORIGINAL		<ul style="list-style-type: none"> Dilución Falla en los aditivos IV 	
Punto de inflamación °C	MAYOR QUE EL ORIGINAL	150 °C mínimo en todos los aceites lubricantes	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación con aceite o gas de mayor punto de inflamación 	En equipos industriales como compresores centrífugos que compriman gases inflamables como Propano, Isobutano es importante efectuar esta prueba
	MENOR QUE EL ORIGINAL		<ul style="list-style-type: none"> Contaminación con aceite o gas de menor punto de inflamación 	

TABLA 5.4 VALORES MAXIMOS Y MINIMOS PERMISIBLES PARA DIFERENTES PRUEBAS DE LABORATORIO.

Característica física o química	Criterio de característica	Valor máximo o mínimo permisible	Causas posibles	observaciones
Residuos de carbón Conradson % peso	MAYOR QUE EL ORIGINAL	<ul style="list-style-type: none"> Hasta un 0.5 % del peso en los aceites para cilindros de compresores Para otros tipos de aceite entre 0.1 y 0.9 % peso 		Para altas temperaturas se debe evitar el uso de aceites derivados del petróleo
Numero de Neutralización (TAN) mmgr KOH	MAYOR QUE EL ORIGINAL	Incrementos de: <ul style="list-style-type: none"> 0.7 en aceites con EP 0.3 en aceite sin EP de reductores 0.3 en aceites para turbinas de gas, vapor hidráulicas, transformadores y compresores 0.5 en sistemas hidráulicos 	<ul style="list-style-type: none"> Oxidación 	Es uno de los factores más importantes porque indica el grado de oxidación del aceite usado. Sin embargo no es definitivo en el cambio de aceite porque pueden haber ácidos presentes no corrosivos
Numero básico (TBN) mmgr KOH	MENOR QUE EL ORIGINAL	<ul style="list-style-type: none"> Motores Diesel con combustible con más de 0.5% de Azufre, la mitad del valor original. Motores de Gasolina, método ASTM D-664 hasta 1 y por el D-2896 hasta 2 	<ul style="list-style-type: none"> Disminución de la reserva alcalina del aceite 	Es importante para evaluar la capacidad de detergentes dispersantes de los aceites para motor.
Insolubles en pentano	MAYOR QUE EL ORIGINAL	<ul style="list-style-type: none"> 0.005 % en turbinas industriales 0.004 % en turbinas a gas 0.5 % en reductores 0.1 % en compresores de aire y refrigeración 1.5 % en motores de gasolina y Diesel 	<ul style="list-style-type: none"> Productos resultantes de la degradación del aceite. Metales procedentes del desgaste y los aditivos. Carbón tomados de una combustión incompleta 	Permite conocer el tipo de contaminante que hay en el aceite usado, si son productos de la oxidación o de otras fuente diferentes. Corroborar el numero de neutralización.
Insolubles en Benceno o Tolueno % peso	MENOR QUE EL ORIGINAL	<ul style="list-style-type: none"> 0.7 % en motores de gasolina y Diesel 1 % en motores de gasolina y Diesel (Productos de oxidación o resinas) 	<ul style="list-style-type: none"> Carbón tomados de una combustión incompleta 	
Dilución de combustible	ALTA	<ul style="list-style-type: none"> 2 % en motores de gasolina 5% en motores Diesel 	<ul style="list-style-type: none"> Operación en vacío a baja temperatura Anillos y/o Cilindros gastados Mala carburación Filtro de aires sucio Ventilación deficiente del carter 	Permite analizar anomalías en el motor. Como desgaste en los anillos y camisas de cilindros. La presencia de combustible corrobora la disminución de la viscosidad y la variación del punto de inflamación.

TABLA 5.4 VALORES MAXIMOS Y MINIMOS PERMISIBLES PARA DIFERENTES PRUEBAS DE LABORATORIO.

Característica física o química	Criterio de característica	Valor máximo o mínimo permisible.	Causas posibles	observaciones
Demusibilidad emusión/tiempo	ALTA	<ul style="list-style-type: none"> Se considera que el aceite tiene buena demusibilidad si se separa totalmente en un minuto. En turbinas industriales son permisibles hasta 3 ml en una hora. En motores no se evalúa esta propiedad 	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación con una excesiva cantidad de agua 	Permite chequear el contenido de aditivos antiemulsionantes que aun le quedan al aceite usado
Estabilidad a la formación de espuma ml/mim	ALTA	<ul style="list-style-type: none"> Para turbinas industriales y sistemas hidráulicos 25 % máximo volumen. En otros equipos, el fabricante del aceite lo especifica 	<ul style="list-style-type: none"> Nivel bajo el limite Entrada de aire en la bomba de aceite 	En aceites de sistemas centralizados es importante que tenga baja tendencia a la formación de espuma
Agua y sedimentos %vol (ppm)	ALTA	<ul style="list-style-type: none"> 0.2% para cualquier tipo de aceite. Excepto: <ul style="list-style-type: none"> Para transformador que es 0.005% Para compresor de refrigeración 0.073%. 		
Herrumbre	NO PASA		<ul style="list-style-type: none"> Aceite contaminado con agua 	Esta prueba es importante realizarla a los aceites visiblemente contaminados con agua.
Contenido de ceniza %peso		<ul style="list-style-type: none"> para todas la aplicaciones industriales y automotrices 0.1 % 	En un aceite en operación se puede incrementar por partículas metálicas de desgaste o por contaminación del ambiente	
Punto de anilina °C				Permite determinar la composición de la base lubricante
Estabilidad a la oxidación horas/NN	BAJA	Por debajo de 1000 horas para un NN de 2.0		
Espectrometria ppm de metales	ALTA	Lo indica el fabricante del equipo	<ul style="list-style-type: none"> Elevado desgaste en el elemento del equipo donde se localicen los metales de alta concentración. contaminación por el ambiente 	

5.5.6.- Método básico para el diseño del laboratorio interno

Primeramente se debe conocer según la aplicación las pruebas requeridas, para ello se puede emplear la tabla 4.1 (paginas 76-77) en donde se especifican todas las pruebas de laboratorio recomendadas por un fabricante para realizarse en aceites en operación, de acuerdo a los nueve tipos de servicios siguientes:

1. Aplicaciones de motor de gasolina
2. Aplicaciones de motor de gas natural
3. Aplicaciones de motor Diesel automotriz
4. Aplicaciones de motor Diesel marítimo
5. Aplicaciones de compresor
6. Aplicaciones para engranajes
7. Aplicaciones para turbinas
8. Aplicaciones para sistemas hidráulicos
9. Aplicaciones para sistemas circulatorios

Para el caso de las pruebas a aceites lubricantes (excluyendo los hidráulicos), es de notar en la tabla 4.1 que existe una diversidad de aplicaciones, pero algunas pruebas coinciden con otras aplicaciones, es así que estas ocho aplicaciones pueden reducirse a solamente cinco, además, existen pruebas que por los parámetros que arrojan son las que tienen mayor prioridad, es decir que son las mínimas para realizar un diagnostico preliminar y algunas ocasiones definitivo. Las cinco aplicaciones resumidas y las pruebas básicas se en listan a continuación:

1.- Pruebas básicas para aceites de motores.

Para la aplicación en los motores existen al rededor de 16 pruebas de laboratorio recomendadas. Pero La prueba con mayor prioridad y por motivos obvios es la medición de la viscosidad, seguida del medición de la acidez o la alcalinidad debido a que esta mide la capacidad de detergencia que posee el aceite, así la determinación del contenido de agua y la dilución por combustible especificaran si existe contaminación del aceite.

2.- Pruebas básicas para aceites de compresores

Las pruebas básicas están determinadas independientemente del tipo y funcionamiento de los compresores, es de ese modo que son aplicables a rotatorios como a desplazamiento positivo, debido a que el lubricante para compresores debe circular por pequeñas cámaras y por piezas con holguras estrictas, la medición de las variaciones de la viscosidad son necesarias, también por la forma de operación el aceite puede estar expuesto a contaminaciones con la sustancia de trabajo y el refrigerante de la maquina, es así que pruebas como la determinación de el porcentaje de materiales que forman cenizas y de la Gravedad especifica responderán si el aceite se contamina, en cuanto a la degradación natural del aceite esta se relaciona a la acidez y a la formación de espuma, por eso es necesario incluir una de estas pruebas.

3.- Pruebas básicas para aceites de engranajes

Esta aplicación cubre a ruedas dentadas rectas, helicoidales y cónicas así como sistemas de tornillos sin fin y cremalleras. La operación de estos sistemas puede ser sondeada o controlada, midiendo la degradación del aceite midiendo la viscosidad y la formación de espuma, midiendo el desgaste de los elementos por medio de la prueba de los insolubles en pentano y tolueno, las partículas y los metales (con alguna forma de espectrometria). Debido a que en esta aplicación el método de lubricación mayormente empleado, es el sistema de recipiente de aceite generalmente sellados, las contaminaciones son raras.

4.- Pruebas básicas para aceites de turbinas.

Las turbinas son de los elementos más valiosos en toda planta, y valdría la pena realizarle todas las pruebas recomendadas en la tabla 4.1, pero si esto se considera anti-económico, sería lo ideal entrenar los sentidos para realizar pruebas sensoriales continuamente ya que el aceite para esta aplicación es claro y poco viscoso, haciendo evidente un deterioro, por eso, se puede tomar como base para que se realicen por lo menos: la medición de la viscosidad, el contenido de agua y una de las más importantes pruebas dado la limpieza con que debe trabajar un equipo de alta velocidad como lo son las turbinas, es el conteo y medición del tamaño de las partículas de desgaste.

5.- Pruebas básicas para aceites de sistemas circulatorios

Las pruebas recomendadas en la tabla 4.1 solamente son; las pruebas sensoriales, determinación de la viscosidad y gravedad especifica, medición de la acidez, medición de la formación de espuma y el contenido de cenizas, así como la búsqueda de silicio, hierro y cobre por medio de la

espectrometría; debido a su pequeño número y a los grandes volúmenes de aceite que manejan los sistemas circulatorios las pruebas antes mencionadas puede considerarse las mínimas, para el sondeo del sistema.

En base a lo anterior se tienen un criterio de que pruebas a seleccionar para realizar, pero será el presupuesto asignado una de las principales limitantes para la selección de los equipos. Con ayuda de catálogos se elige el equipo más indicado. En el mercado existen diferentes alternativas, algunas bastante económicas.

En cuanto a la infraestructura del laboratorio, dependerá de lo delicados y voluminosos que sean los equipos de laboratorio, de las recomendaciones de los fabricantes y de las características de las pruebas a realizar. Algunas veces por el tamaño de las plantas o la carencia de espacio es mucho más práctico realizar las pruebas en situ, para esto se puede elaborar un contenedor especial para portar todo el equipo necesario para las pruebas y con esto se prescinde del laboratorio, en el mercado existen kits portátiles ya elaborados, por ejemplo con el kit que se muestra en la figura 5.10, se puede realizar la prueba de viscosidad, TAN, TBN, Dilución por combustible, análisis por mancha de aceite, análisis de partículas metálicas y de carbón y otras pruebas especiales.

La inversión para el laboratorio debe ser calculada, realizando una valoración de los beneficios planteados con las metas y objetivos del PMT, elaborados por la gerencia.

5.5.7.- Método para la evaluación de nuevos aceites o en servicio

Cuando se evalúa un aceite por primera vez u otro que esté en servicio, es indispensable que al final de la prueba se pueda determinar y cuantificar en qué orden disminuyó el desgaste del mecanismo. Para poder contar con argumentos reales y precisos, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

1. Parada y desarmada del equipo.

Es necesario programar con la debida anticipación la parada del equipo en donde se va a realizar la prueba; esto evitará trastornos en la producción, o que por falta de tiempo los datos se tomen a la ligera y no correspondan exactamente con la realidad.

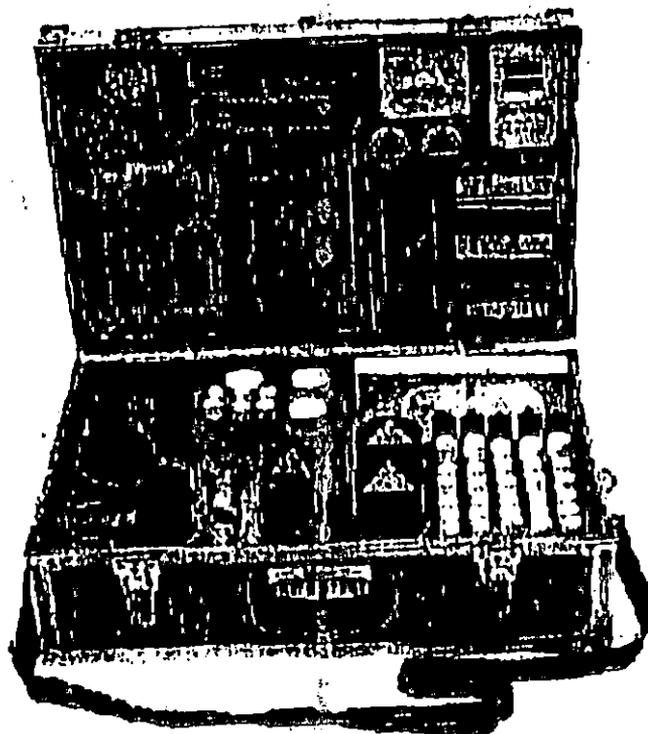


FIGURA 5.10 KIT PARA ANALISIS DE ACEITE EN SITU

La parada programada permitirá que cada una de las personas involucradas en la prueba (el jefe de mantenimiento de la planta o su asistente y el ingeniero de lubricación del fabricante del producto) puedan analizar en qué parte del equipo van a tomar los datos y puedan elaborar un organigrama de los diferentes pasos a seguir. Una vez que el equipo se ha detenido y enfriado, se procede a desarmarlo, teniendo cuidado de que no se vaya a estropear alguna de las piezas que lo conforman. Esto es extendible a equipos grandes o pequeños; basta cualquier golpe para que un rodamiento quede inservible y sea necesario reponerlo. Una vez que el equipo se ha desarmado parcial (quitar parte de la carcasa, en el caso de un reductor) o totalmente (bajar las diferentes partes que lo conforman), se procede a su limpieza. Para esto, se puede utilizar un solvente o un desengrasante que permita dejar todas las piezas completamente limpias. Si no se logran limpiar todas durante un mismo día, se deben recubrir con un papel parafinado o con otro tipo de protección contra impurezas presentes en el medio ambiente, las cuales se pueden adherir a su superficie.

Después de que se ha efectuado la limpieza, es una buena norma chequear de nuevo cada una de las superficies que conforman los diferentes mecanismos. Unos minutos adicionales pueden evitar futuros dolores de cabeza.

2. Marcar los puntos que se van a evaluar.

Con el fin de que la prueba pueda ser comparativa y se pueda evaluar el desempeño del lubricante en el mismo punto, es necesario marcar la pieza con un punzón, en una zona que no afecte las superficies de trabajo. Cada zona se debe identificar con una marca diferente, ya sea un punto, dos o más, según el número de zonas a evaluar. No es aconsejable utilizar pintura porque ésta se puede desprender y obstruir los sistemas de filtración, las boquillas, etc. Algunas veces se emplean números en vez de puntos. De todas formas, sea cual fuese el sistema utilizado, es de primordial importancia marcar e identificar completamente las zonas del mecanismo que se van a evaluar.

3. Tomar fotografías de las diferentes piezas.

Con mucha frecuencia, se piensa que con tomar una fotografía cualquiera de la pieza que se va a analizar, son eso basta; sin embargo, el hacerlo de esta manera, es factible que se pierdan detalles valiosos que al final de la prueba van a hacer que ésta resulta infructuosa porque se van a presentar dudas acerca del estado real de la superficie cuando la prueba se inició. Por otro lado, cualquier persona con pocos argumentos técnicos puede echar por el suelo todo el concepto que el

evaluador pueda tener. Tal puede ser el caso, por ejemplo, de la fotografía que se le toma a todo un piñón, pero se pasa por alto tomársela al diente que se halla más afectado. Para evitar dudas al final de la prueba, las fotografías se le deben tomar al área seleccionada, lo más cerca posible; esto permitirá evaluar en detalle el área afectada. El punto que se seleccione se debe marcar.

La fotografía de todo un conjunto sólo servirá para el archivo, porque no aporta algún dato que permita evaluar el desempeño de un producto.

4. Hacer modelos en yeso y tomar imágenes.

Una vez que se han marcado las piezas se han tomado las fotografías respectivas, se procede a hacer un modelo en yeso, ya sea de toda la pieza, como en el caso de un piñón pequeño, o de una parte de ésta. En este modelo quedan marcadas todas las huellas e irregularidades que tiene la pieza original. La importancia de este modelo reside no sólo en que permite tener con exactitud el perfil de la huella que se va a evaluar, sino que suministra un dato muy importante, como es la profundidad de la misma. Si ésta ha aumentado hacia el final de la prueba, será un claro indicio de lo poco efectivo que ha sido el lubricante evaluado. Para hacer el modelo en yeso, es aconsejable asesorarse de un experto en la materia, porque es necesario tener en cuenta algunos cuidados especiales.

Un modelo bien elaborado debe quedar exactamente igual a la pieza original, y se deben señalar o marcar los mismos puntos que se han tomado como referencia.

Como una medida preventiva, es aconsejable tomarle imágenes a las zonas en evaluación. Cuando se trata de piñones, es necesario impregnar los flancos de los dientes con azul de Prusia, distribuyéndose uniformemente, de tal forma que quede una ligera capa. Seguidamente, se coloca sobre dicha superficie una porción de cinta adhesiva transparente, que cubra todo el flanco del diente, tanto en altura como en longitud; se presiona ligeramente y luego se va desprendiendo lentamente, de tal forma que sólo queden espacios en claro donde hay poros, grietas u otro tipo de huellas. Si se aplica demasiada cantidad de azul de Prusia, no es posible detectar ningún tipo de huella. La cinta adhesiva se coloca luego sobre una cartulina blanca y limpia, y se marca, identificando plenamente su ubicación y la orientación del piñón. Igual procedimiento se debe efectuar para cada una de las zonas que se van a analizar.

5. Aspectos que se deben tener en cuenta durante la realización de la prueba

Hay varios aspectos que pueden incidir negativamente en los resultados que se obtengan durante el tiempo que dure la realización de la prueba. Entre estos se tienen los diferentes contaminantes que pueden llegar hasta el aceite, dañándolo. Uno de estos y quizás el más importante es el agua porque la presencia de ésta con mucha frecuencia es el resultado de dejar el recipiente en donde se encuentra alojado el lubricante, destapado y a la intemperie. En otros casos se quita el tapón de llenado o el tubo de ventilación y no se vuelve a colocar, permitiendo que el agua lluvia llegue hasta el aceite.

Este contaminante emulsiona el aceite, causa corrosión en los metales blancos y herrumbre en los ferrosos, y da lugar a resultados que no son reales y que en algunos casos, si el evaluador no tiene la experiencia suficiente, permite sacar conclusiones que van en contra del producto evaluado. El agua como contaminante se puede controlar en la mayoría de los casos.

Otro contaminante muy común es el polvo del medio ambiente. En algunas ocasiones, es extremadamente difícil controlarlo, como es el caso de los equipos de cementeras, en donde, aun cuando se cuente con filtros electrostáticos (eficiencia del 99% para el control de polvo) es factible que el aceite se contamine y se forme una masa abrasiva que propicie el desgaste acelerado del elemento que está siendo lubricado. En casos como éste, mientras no se garantice un aceite libre de contaminantes sólidos, no es aconsejable evaluar algún producto, por cuanto los resultados no van a ser representativos.

Adicionalmente, durante la realización de la prueba se debe tomar nota de todo cuanto se le haga al equipo que se está evaluando. Entre otros aspectos, se deben tener en cuenta las adiciones de aceite que se hagan, los chequeos de temperatura periódicos, el tiempo de trabajo en horas del equipo, y cualquier parada no programada en la cual por una u otra causa se le haga algún mantenimiento al equipo.

6. Aspectos que se deben tener en cuenta al final de la prueba

Una vez que se dé por terminada la prueba, se para el equipo y se desarma. Es requisito indispensable no lavar nada hasta que no se tomen muestras del aceite para ser evaluadas en el laboratorio y se tomen fotografías de los diferentes elementos, tal y como se encontraron. Estos detalles pueden resultar valiosísimos en el momento de sacar conclusiones. Las fotografías se deben tomar lo más cerca posible del elemento; esto permitirá detectar detalles que en la mayoría de los

casos no resultan perceptibles para el ojo humano. Se pueden complementar con una vista general de todo el elemento. Una vez que se han tomado las fotografías y las muestras de aceite, se lava todo el mecanismo para volver a repetir algunos de los pasos que se hicieron inicialmente, como es el de tomar fotografías e improntas de las zonas que se estaban evaluando.

Al evaluar un producto y querer determinar con exactitud su desempeño real, es necesario considerar ciertos aspectos que muchas veces se pasan por alto, ya sea porque se consideran de poca importancia, o porque simplemente se ignoran. Entre estos se tienen: limpieza del mecanismo, identificación por medio de marcas, toma de fotografías, toma de improntas, fabricación de modelos, toma de muestras de aceite y toma de datos técnicos, como potencia, velocidades, temperaturas de operación, cantidad de aceite y características físico – químicas del producto que se está evaluando. Si se consideran toda esta serie de pasos, se podrá tener la certeza de que las conclusiones que se saquen de la prueba serán indiscutiblemente valederas.

5.6.- GUIA PRACTICA PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UN PMT

Si el lector piensa embarcarse en un proyecto de establecimiento de un PMT. Se debe poner atención a los siguientes aspectos no vistos en el contenido del trabajo.

5.6.1.- Pasos de la guía practica.

En esta sección se expondrá como usar eficientemente la información del contenido de este trabajo , empleando una serie de pasos de la guía que se expone a continuación:

- 1.- Retroalimentación o estudio de conceptos de los que se fundamenta el PMT, esto se logra estudiando en forma secuencial los capítulos 1, 2, 3 y 4.
- 2.- Estudiar el capítulo 5, en donde se describe que es y como establecer un PMT en general, con la intención que al estudiar el contenido de ese capítulo el lector tendrá la capacidad de realizar adaptaciones y eliminar secciones y etapas que no sean lógicas o practicas realizar por situaciones particulares de la planta, además de realizar aportaciones sugerencias propias de la experiencia que el lector disponga,
- 3.- Selección preliminar del canal, aunque la selección del canal en un tópico que aparece en una de las ultimas fases de la implementación del PMT, es decir, después de haber realizado un

diagnostico, debido a que es en ese momento cuando es posible tomar la mejor decisión, pero es aconsejable realizar una selección preliminar del canal en etapas tempranas de la implementación del PMT, ya que esto dará una guía para orientar y definir los alcances del PMT, es decir, con pre-seleccionar el canal no solo se aseguraría de antemano la operación del PMT, sino también no se especularía con la capacidad económica disponible, tanto que incluso, se parta de un presupuesto aproximado que sea asignado para el canal, para emprender la etapa de diagnostico, y de esa forma dimensionar las operaciones del PMT, algunas veces ya se tiene el canal, pero no se dispone del PMT.

Un ejemplo practico de lo que se expone en el párrafo anterior, es una planta que posee cuatro maquinas que operan en forma continua y que posee un volumen considerable de aceite lubricante cada una, y que además esas máquinas han presentado problemas de lubricación y/o contaminación del aceite, la diligencia se entera que el proveedor del aceite presta el servicio de análisis de aceite, con miras a aprovechar esta oportunidad, se decide Implementar un PMT.

En el capitulo 4 se expusieron con descripciones e ilustraciones, la forma y los equipos, respectivamente, que se emplean en las pruebas normalizadas, y como es de observar los equipos para pruebas sensoriales son mínimos, así como para las pruebas físicas y químicas los equipos empleados son de diseño sencillo y de materiales de construcción accesibles en el mercado local, sería una buena alternativa para el canal, el construir sus propios equipos básicos.

Algo que es importante añadir, es que existe en el mercado equipos alternativos a las pruebas normalizadas, es decir equipos fuera de norma, de bajo costo, es responsabilidad del encargado del PMT Investigar en catálogos la existencia de estos equipos; un ejemplo palpable de esta situación es la prueba de medición de la viscosidad, ya que se tiene la alternativa de emplear distintos métodos:

- Comparativos, es decir hacer fluir el aceite usado comparándola con una referencia (casi siempre el mismo aceite pero virgen), el comportamiento es relacionado con algún parámetro medible del flujo, por ejemplo el tiempo o la distancia de recorridos.
- Por caída de una bola de acero sobre el aceite, la viscosidad esta relacionada al tiempo que dura la caída.
- Por la medición del tiempo de evacuación en copas calibradas.

Por ejemplo existen viscosímetros prácticos con precios que van desde los 130 dolares.

4.- Con una adaptación del proceso a la planta en particular, se asigna personal para realizar la etapa de revisión inicial. Que de como resultado un informe con toda las conclusiones que justifiquen la factibilidad del PMT. En este y el próximo paso es recomendable emplear listas de verificación que ayudarían al encargado a no parar por alto ninguna sección.

5.- Al igual que en el paso 4, con el procedimiento adaptado, se completa la etapa de diagnóstico, para que después se proceda a seleccionar el canal y definir la operación del PMT.

6.- Establecer un manual de operación del PMT, que documente todos los procedimientos y métodos empleados en la operación, así como también que establezca las funciones del personal relacionada con la operación del PMT, es útil que establezca también la forma en que se retro-alimentara para la mejora de la administración y capacitación personal del PMT, es recomendable que se establezca políticas que motiven al personal a ser proactivo y participativo en las operaciones del PMT, algunas sugerencias de políticas tenemos:

- Incentivos económicos para el departamentos o sección, por el aumento de la eficiencia de la lubricación. Los parámetros de comparación pueden ser cualitativos o cuantitativos, por ejemplo si es una sección de producción el incremento de la eficiencia se reflejaría en la cantidad de tiempo que se tienen los equipos disponibles para producción, pero si es un departamento de mantenimiento el incremento de la eficiencia sería meramente apreciativo, es decir es difícil cuantificar el aumento de la eficiencia en las labores del PMT desde el punto de vista de los operadores de mantenimiento por eso es recomendable que el incentivo debe estar orientado al personal de operaciones de el PMT en general, al disminuir por ejemplo la cantidad de aceite desechado.
- Otro tipo de incentivo económico sería dado a la persona que realice sugerencias eficaces para incremento de la eficiencia del PMT.
- La utilización de carteles, boletines, folletos etc.. Diseñados con frases y figuras apropiadas, son un medio para hacer llegar mensajes motivadores, a personas externas a la operación del PMT, para que colaboren desde su ocupación al aportar información y colaboración a las labores del PMT.

5.6.2.- Perfil del personal básico para el establecimiento del PMT

1.- Los requisitos que el encargado o jefe del PMT debe reunir son:

- Un nivel académico de Ingeniero Mecánico o a fin mínimo.
- Dominio de los conceptos relacionados a la tribología y lubricación.
- Capacidad para la administración del mantenimiento industrial.
- Disponer de un criterio analista.
- Que desee desarrollar investigaciones de ingeniería dentro de la empresa.
- Dominio del manejo de hojas de calculo, levantamiento de textos e INTERNET.
- Capacidad en el manejo de personal.
- Conocer de las ventajas y desventajas del PMT..
- Conocimiento de idioma ingles

2.- Los requisitos que todo operario del PMT debe reunir son:

- Un nivel académico equivalente a un Técnico Mecánico.
- Haber desempeñado durante un tiempo, mínimo de dos años, la categoría de ayudante de mecánica.
- Conocer la maquinaria que va a lubricar, su funcionamiento y las piezas de más cuidado y delicadas.
- Tener buenos conocimientos de lubricación, adquiridos a través de cursos, charlas, conferencias y películas. La persona más indicada para hacerlo es el supervisor de mantenimiento o de lubricación y en su defecto, el ingeniero de mantenimiento.
- Con conocimientos del manejo de hojas de calculo y levantamiento de textos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Para atender la exigencia de una industria cambiante, es necesario mantener interés en nuevas corrientes de pensamiento, nuevas tecnologías y nuevos productos, que puedan afectar la eficiencia de la aplicación del mantenimiento industrial.
- La comprensión de los fenómenos de fricción, corrosión y desgaste de los sistemas mecánicos, cobran importancia cuando se desea establecer causas de fallas prevenirlas y diagnosticarlas, por que son conocimientos primordiales para realizar y comprender la técnica innovadora de la monitoreo.
- Los lubricantes tienen diferentes características y propiedades, que hacen difícil establecer cual es la dominante y cual es la critica para selección.
- Existen diferentes mecanismos de lubricación, cada uno de ellos basados solamente en tres principios: con perdida completa, por salpicado de un recipiente y el método mas sofisticado de todos, por sistema centralizado. El encargado de mantenimiento debe velar por mantener actualizado sus sistemas de lubricación, para contribuir a que la planta sea más eficiente.
- Siendo la lubricación un pilar importante en la industria, se le da poca importancia; y a sido descuidada por el encargado de mantenimiento.
- Se puede incrementar la confiabilidad y disponibilidad de las máquinas, implementando un programa de análisis de aceite en operación, en apoyo a un programa de mantenimiento industrial; con lo cual se pueden obtener grandes beneficios económicos.
- Al querer implementar un programa de análisis de aceite, se debe de estar consiente, que es un proceso al que se le debe de prestar la mayor atención posible, y que este se debe de mejorar continuamente.

- Los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta para la implementación del programa de análisis de aceite:
 - Para cada aplicación, saber que parámetros proporcionan la información deseada.
 - Saber interpretar los resultados de las pruebas de laboratorio.
 - Saber cuales son los límites permisibles de los parámetros analizados.
 - Que exista una comunicación constante entre el laboratorio y la persona encargada del mantenimiento.

- Un programa de análisis de aceite en operación, trae beneficios económicos y ecológicos, en la medida que se incrementa el número de horas de servicio de este.

- Se deben planificar programas permanentes de capacitación al personal de mantenimiento en el área de lubricación, ya que en muchos casos por falta de capacitación, este influye negativamente en la confiabilidad de la máquina.

BIBLIOGRAFIA

1. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA DE CONTAMINACION Y DE ALTERNATIVAS DE RECUPERACION Y USO DE ACEITES RESIDUALES DE AUTOMOTORES EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR.
CASTRO MEJIA, MIRNA NUBIA
TRABAJO DE GRADUACION, FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.
EL SALVADOR, 1999.
2. INTRODUCCION A LA METALURGIA FISICA
SYDNEY H. AVNER
SEGUNDA EDICION, EDITORIAL MCGRAW HILL
MEXICO, 1979.
3. ISO 9000 ISO 14000
BRIAN ROTHERY
EDITORIAL PANORAMA
MEXICO 1997
4. MANUAL DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL
ROBERT C. ROSALER
PRIMERA EDICION, EDITORIAL MCGRAW HILL
MEXICO, 1993.
5. MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE TURBOMAQUINARIA
JUAN JOSE RIVERA GRIJALVA
MEXICO, 1996
6. MANUALES DE PRODUCTOS DE LOS FABRICANTES DE ACEITES LUBRICANTES:
TEXACO, MOBIL OIL, SHELL, ESSO Y OMEGA

7. MANUAL DE GESTION AMBIENTAL

PRANDO, RAUL R.

EDITORIAL PIEDRA SANTA

PRIMERA EDICION

GUATEMALA 1996

8. TRIBOLOGIA Y LUBRICACION INDUSTRIAL Y AUTOMOTRIZ

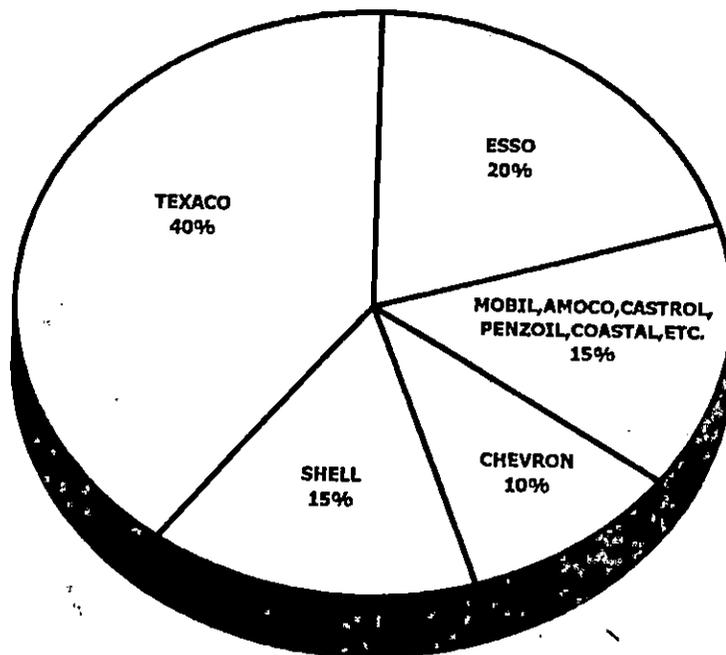
PEDRO RAMON ALBARRACIN AGUILLÓN

SEGUNDA EDICION

COLOMBIA, 1993

ANEXO A

**PORCENTAJE DE VENTAS DE ACEITES LUBRICANTES DE LAS
DIFERENTES MARCAS EN EL SALVADOR 1998**



ANEXO B

LISTA DE EQUIPOS DE LABORATORIO PARA EL ANALISIS DE ACEITE EN UNA PLANTA, QUE REALICE LAS PRUEBAS DE: VISCOSIDAD, ACIDEZ, PUNTO DE COMBUSTION O CHISPA, RESIDUOS DE CARBON, FORMACION DE ESPUMA, DILUCION DE COMBUSTIBLE Y HERRUMBRE.

No Equipo

- 1 Termómetro de 0 a 100 °C
- 2 Cronómetro
- 3 Viscosímetro
- 4 Probetas de vidrio de 25, 50 y 500 ml
- 5 Hidrómetro para aceites con gravedad específica de 0.7 a 1.2
- 6 Mechero Bunsen
- 7 Recipiente plano de acero de 25 ml aproximadamente
- 8 Cocina eléctrica de laboratorio, con regulador de temperatura
- 9 Pizetas
- 10 Pipetas de precisión
- 11 Goteros
- 12 2 Buretas de 10 y 25 ml
- 13 Depósitos de vidrio para muestras de 25, 50 y 500 ml
- 14 Tubos de ensayo de 25 ml
- 15 Tapones de corcho
- 16 Matraces Erlenmeyer de 50 y 125 ml
- 17 Recipiente de vidrio de 1500 ml aproximadamente
- 18 Beaker 50 y 100 ml
- 19 Recipiente Cleveland de Bronce
- 20 Cápsula de Porcelana

- 21 Desecador
- 23 Calorímetros
- 24 Soporte con regulación
- 25 Pinza soporte de Bureta
- 26 Compresor pequeño
- 27 Guantes de cuero
- 28 Guantes de hule
- 29 Lentes de seguridad
- 30 Bomba para la extracción de muestras
- 31 Mangueras de plástico con ¼" de diámetro
- 32 Agitador
- 33 Lupa común
- 34 Papel absorbente
- 35 Cinta métrica
- 36 Barra de acero ½" diámetro
- 36 Computadora personal