Universidad Austral de Chile
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Naval

“SISTEMAS DE LUBRICACIÓN A BORDO”

Tesis para optar al Título de:
Ingeniero Naval.
Mención: Máquinas Marinas.

Profesor Patrocinante:
Sr. Mario Loaiza Ojeda.
Ingeniero en Máquinas Marinas.

JAIME FERNANDO DELGADO VERGARA
VALDIVIA – CHILE
2006

Esta Tesis ha sido sometida para su aprobación a la Comisión de Tesis, como requisito para obtener el grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería.

La Tesis aprobada, junto con la nota de examen correspondiente, le permite al alumno obtener el titulo de **Ingeniero Naval**, mención **Máquinas Marinas.**

EXAMEN DE TITULO:

Nota de Presentación	(Ponderada) (1)	: 4,422
Nota de Examen	(Ponderada) (2)	: 1,400
Nota Final de Titulación	(1 + 2)	: 5,82

COMISION EXAMINADORA:

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE — DECANO — FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA

PROF. FREDY RIOS M. — DECANO — FIRMA

PROF. MARIO LOAIZA O. — EXAMINADOR — FIRMA

PROF. CARLOS SANGUINETTI V. — EXAMINADOR — FIRMA

PROF. PAUL NAVARRO A — EXAMINADOR — FIRMA

PROF. MILTON LEMARIE O. — SECRETARIO ACADEMICO — FIRMA

Valdivia, JUNIO 23 DE 2006

Nota de Presentación = NC/NA * 0,6 + Nota de Tesis * 0,2
Nota Final = Nota de Presentación + Nota Examen * 0,2
NC = Sumatoria Notas de Currículo, sin Tesis
NA = Número de asignaturas cursadas y aprobadas, incluida Práctica Profesional.

En memoria de Cesar Sierpe Fierro
un gran amigo y compañero.
Gracias por tu apoyo y confianza

RESUMEN.

El presente trabajo titulado “Sistemas de lubricación a bordo” que es de carácter bibliográfico, tiene por objetivo desarrollar un análisis de los sistemas de lubricación a bordo. Para esto se hace referencia al problema del roce y la lubricación como solución, por este motivo se efectúa una descripción de los tipos de lubricación, los orígenes y clasificación de los lubricantes, de modo de poder entender las diferentes funciones en los distintos equipos utilizados a bordo, tanto de máquina como de cubierta, y se describe en forma general sus sistemas de lubricación la cual depende del tipo de equipo y de su fabricante.

SUMMARY.

The following thesis about “on board lubrication systems” only has a compilation purpose, and it refers to the rubbing and lubrication problem. To present this topic, a general introduction will be presented concerning the rubbing, the problems that it carries, and the lubrication as a possible solution to this problem.

Concerning this objective, there will also be presented a general description about the different kinds of lubrication, the origins and classification of them, so as to understand the functions of the different equipments.

Once we already know the description about lubrication, there will be named some of the different deck and machine equipments used aboard, and also their general lubrication way, which depends on the kind of equipment and its manufacturer.

INTRODUCCIÓN.

Todas las partes móviles de una maquina necesitan lubricación debido a que están sujetas a la fuerza de roce o fricción, la que produce un mayor consumo de energía, desgaste y generación de calor. Son estos los motivos los que hacen necesarios el uso de un producto lubricante.

El objetivo de esta tesis de carácter recopilatorio es entregar un concepto general de sobre la lubricación, mostrando los tipos de lubricación, las necesidades en las distintas partes móviles en los mecanismos, y las características que debe poseer un aceite lubricante para satisfacer las diferentes necesidades.

Además aclarar los conceptos de la formación y obtención de aceites lubricantes y las distintas clasificaciones que poseen, esto con el fin de conocer la diversa gama de aceites al momento de tener que elegir un aceite.

Otro tema a tratar es de una forma general es la amplia gama de elementos que abarca la lubricación a bordo, mostrando los principales equipos junto con el tratamiento del aceite usado a bordo y los análisis que le son realizados.

La lubricación de maquinaria contempla, diferentes tipos de motores Diesel los cuales poseen diferentes requerimientos de un lubricante lo que es de gran importancia debido a que la lubricación es uno de los factores que afectan la vida útil de un motor. Las principales partes a lubricar en un motor son tratadas en este trabajo.

Además contempla algunos de los equipos más importantes en la sala de máquinas y de cubierta, describiendo sus tipos de lubricación.

ÍNDICE.

pag.

CAPITULO I.
TEORÍA DE LA LUBRICACIÓN. 1

1.1.1 Generalidades. 1
1.2 Funciones de los lubricantes en distintos mecanismos 4
1.3.1 Interpretación de las características físico químicas de los lubricantes frente a las condiciones de utilización. 5
1.4 Principales propiedades de los aceites para motores. 11
1.5 Tipos o regímenes de lubricación. 15

CAPITULO II
COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES PARA MOTORES. 21

2.1 Obtención de los lubricantes. 21
2.2 Aditivos en los aceites lubricantes. 25

CAPITULO III.
CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES. 27

3.1 Clasificación de los aceites de acuerdo a su origen. 27
3.1.1 Aceites orgánicos (natural). 27
3.1.2 Aceites minerales. 28
3.1.3 Aceites sintéticos 28
3.2 Clasificación de los aceites según su viscosidad. 33
3.2.1 Clasificación en grados SAE. 35
3.2.2 Sistema de clasificación API para aceites de motor 36
3.3.1 Clasificación de los aceites de acuerdo a su consistencia. 39
3.3.2 Grasas lubricantes. 39

CAPITULO IV
SISTEMAS DE LUBRICACIÓN. 43

4.1 Formas de aplicación de los lubricantes. 43
4.1.1 Lubricación por circulación forzada. 43
4.1.2 Lubricación por barboteo. 44

4.1.3	Lubricación por gravedad.	44
4.2	Equipos utilizados a bordo y su lubricación.	45
4.2.1	Lubricación de motores diesel.	48
	Lubricación de cilindros.	51
	Lubricación por circulación forzada en motores diesel.	60
4.2.2	Lubricación de equipos auxiliares.	67
	Equipos auxiliares de la sala de máquinas.	68
	Motores generadores.	68
	Motores eléctricos.	69
	Reductores de engranajes.	70
	Bombas.	71
	Compresores de aire.	73
	Compresores frigoríficos.	76
	Descansos intermediarios.	76
	Rodamientos.	77
	Equipos auxiliares de cubierta.	82
	Equipos para manejo de carga	82
	Sistemas hidráulicos.	82

CAPITULO V.

MANTENCIÓN DE LOS ACEITES A BORDO. 84

5.1	Separación por gravedad o decantación.	84
5.2	Separación por centrifugación.	84
5.3	Cadena filtrante.	94
5.3.1	Clasificación de los filtros de acuerdo a su instalación	95
5.3.2	Clasificación de los filtros de acuerdo a su operación	95
5.4	Análisis de aceites usados.	103

CONCLUSIÓN. 115

GLOSARIO. 116

BIBLIOGRAFÍA. 125

CAPITULO I.

TEORÍA DE LA LUBRICACIÓN.

1.1 GENERALIDADES.

Cuando una superficie se desliza sobre otra se producen una serie de fenómenos como los son la fricción y el desgaste, el principal problema es su minimización y control de ambos, dichos fenómenos dependen de la velocidad y el tipo de superficie en contacto. Estas superficies a la que se hace referencia, pueden ser de cualquier material sólido, y tiene una vital importancia debido a que son partes de máquinas y mecanismos, los que se encuentran en la vida diaria y en los cuales se produce una gran pérdida de energía por roce, además de un desgaste de los puntos críticos de algunos gramos de metal determina el reemplazo de una máquina.

La fricción es un elemento común en la vida diaria. Una persona puede caminar por una superficie inclinada sin resbalar debido a la alta fricción entre la suela de sus zapatos y la superficie, y puede deslizarse montaña abajo en sus esquíes porque la fricción entre éstos y la nieve es baja. Ambos casos ilustran la fricción entre dos superficies ordinarias. En algunos mecanismos por las razones ya citadas conviene reducir esta fricción, como en ejes y descansos por ejemplo, mientras que otros dependen de la fricción para funcionar correctamente, como los frenos y correas de transmisión.

Por definición, fricción es la fuerza tangencial (fr) opuesta al movimiento de un objeto sobre otro, se considera proporcional a la fuerza normal (N) que ejerce el plano sobre el bloque (figura 1.1). La cantidad de resistencia al movimiento debido a la fricción, se puede expresar en términos del coeficiente de fricción, el cual tendrá diferentes valores dependiendo sí el contacto se encuentra en una situación dinámica, estática, o fluida bajo lubricación, y obviamente será diferente de acuerdo al tipo de superficie del sólido, como ser rugosa, lisa etc.

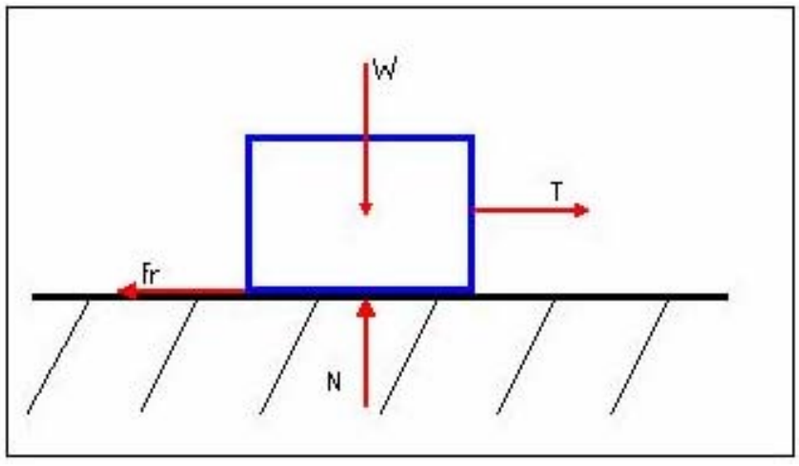

Figura 1.1 Diagrama de fuerzas que se ejerce sobre un bloque.

Donde: W corresponde al peso.

T corresponde a la fuerza aplicada al cuerpo.

fr corresponde a la fuerza de fricción.

N corresponde a la fuerza normal.

$$\text{Coeficiente de fricción} = \frac{\text{Fuerza de fricción que se opone al movimiento}}{\text{Carga perpendicular a la superficie}} = \frac{fr}{W}$$

Este coeficiente es casi constante para cualquier par de superficies. Para metales limpios con una terminación superficial ordinaria, expuestos a la atmósfera, su valor aproximado es 1. Para el mismo metal contaminado por la manipulación, el valor cae a alrededor de 0,3. Para sistemas bien diseñados y lubricados, el coeficiente puede ser tan bajo como 0,005. En condiciones muy especiales, se pueden obtener valores tan bajos como 0,000005. En contraste, los coeficientes para superficies metálicas limpias en el vacío, pueden ser tan altos como 200 o más, y la soldadura en frío debido a la adhesión puede ocurrir.

El roce se puede explicar por las irregularidades de las superficies de las piezas en contacto. Una superficie de metal, aún cuando sea bien trabajada puede parecer lisa, sin embargo ello no ocurre al hacer la observación en un microscopio (figura 1.2), donde llevado a dimensiones mucho menores; presenta diferentes tipos de asperezas e imperceptibles ondas.

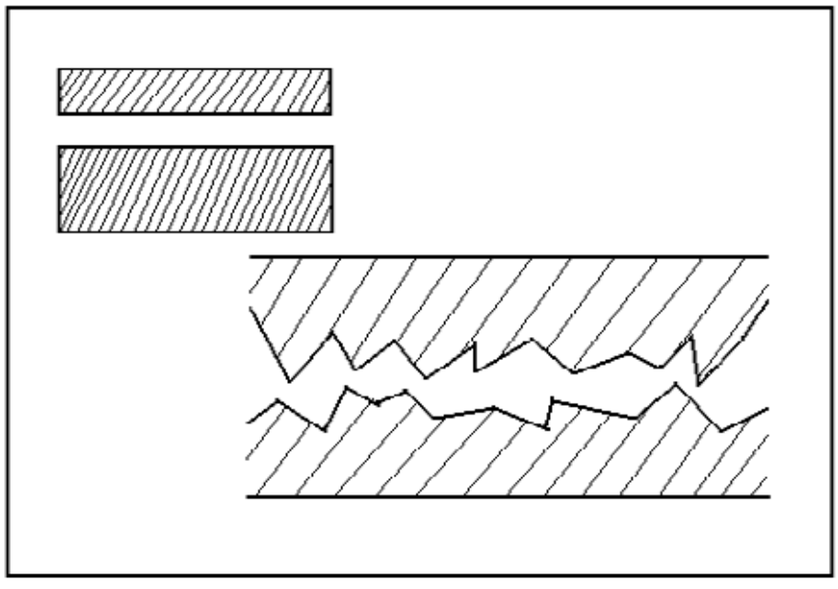

Figura 1.2 En la parte superior se ve la superficie de un metal aparentemente lisa, más abajo el mismo metal observado con un mayor aumento.

Cuando toman contacto dos superficies de tal naturaleza, éste no es sobre toda el área, sino solamente donde se encuentran las asperezas, siendo este entrelazamiento el que provoca la resistencia friccional al movimiento, durante el deslizamiento se forman y se fraccionan nuevas

micro uniones de manera continua, generando calor hasta el punto de llegar a soldar partículas dando como resultado la destrucción de las superficies.

Unas de las causas del desgaste entre dos superficies son:

- Por impurezas abrasivas, esto se refiere a que encontramos impurezas entre las dos superficies en contacto las que provocan desprendimientos y erosión entre ellas.
- Deformación plástica de las asperezas en contacto, es decir las rugosidades en la superficie de los dos materiales que entran en contacto y que se causan una mutua deformación, produciendo también un efecto de desgaste.

Aplicando una película de fluido entre las superficies, éstas se mantienen separadas con un cierto espesor, dicha película mantiene una separación entre las asperezas, mientras que una carga aplicada sea insuficiente para destruir la mencionada película. La resistencia al movimiento es de esta manera debido sólo a la resistencia en el interior de la película, lo cual por definición, es la viscosidad del fluido. La fricción será de este modo baja y la generación de calor y desgaste despreciable.

Las partes de las maquinarias que requieren lubricación, por complicada que esta parezca sólo son tres:

1. Cojinetes; de varios tipos tales como: cojinetes sencillos, guías, correderas, levas, rodamientos de bolas, rodamientos de rodillos cilíndricos, de rodillos cónicos, etc.
2. Engranes; rectos, helicoidales, cónicos rectos, cónicos helicoidales, piñón y cremallera, corona y sin fin, etc.
3. Cilindros; los que se encuentran en toda clase de motores de émbolo, en compresores, en bombas de movimiento alternativo, etc.

Luego se necesita dar lubricación a estas piezas para evitar el excesivo desgaste y el sobrecalentamiento que puede producir la fricción metálica, además de reducir los gastos por reparaciones, y de paradas no programadas. Asimismo como la acción del lubricante es disminuir la resistencia, con esto se requiere un mínimo de fuerza para lograr movimiento, lo que permite un considerable ahorro de energía. Esto se demuestra fácilmente moviendo o deslizando entre sí superficies secas primeramente y después poniendo entre ellas un poco de aceite.

Conjuntamente el lubricante permite conservar las máquinas trabajando suave y silenciosamente, evitando los movimientos erráticos de sus elementos y reduciendo en forma considerable el ruido.

1.2 FUNCIONES DE LOS LUBRICANTES EN DISTINTOS MECANISMOS.

La industria de lubricantes constantemente mejora y cambia sus productos a medida de que las nuevas maquinas cambian, y nuevos procesos químicos y de destilación son descubiertos. De aquí que sea importante poder escoger el lubricante que se necesita para determinados propósitos.

Los lubricantes son materiales puestos en medio de partes en movimiento con el propósito de brindar enfriamiento (transferencia de calor), reducir la fricción, limpiar los componentes, sellar el espacio entre los componentes, aislar contaminantes y mejorar la eficiencia de operación.

Desde el punto de vista mecánico se considera que un aceite lubricante debe realizar las cinco funciones siguientes.

1. Reducir los frotamientos parásitos o resistencias pasivas, lo que equivale llevar al máximo el rendimiento mecánico.

   Con distintos valores de viscosidad de diferentes aceites para motores actualmente en el comercio, el consumo de gasolina o gas-oil de un motor puede presentar, según el tipo de trabajo, diferencias entre 6 al 8 % y a veces del 10 %. Como por otra parte, las pérdidas por rozamiento en los mecanismos de transmisión dependen también de la viscosidad del aceite, la elección de la viscosidad puede, ser parte determinante en la vida útil horario de explotación de un motor.

2. Proteger el motor contra todo tipo de desgaste.

   La economía de mantención, una mejor utilización y una mayor duración del motor son los imperativos absolutos de todo beneficiario.

   Gracias a los aceites modernos, el periodo de revisiones de los motores se ha aumentado considerablemente.

3. Contribuir a la máxima y más duradera estanqueidad para los gases y los líquidos, sobre todo en la zona de los anillos, tanto de motores como compresores.

   La estanqueidad del conjunto anillos-cilindros debe estar asegurada no solamente por la presencia de una película tenaz de aceite, sino también por una gran movilidad de los anillos en las cajeras.

   Una buena estanqueidad es necesaria tanto desde el punto de vista de funcionamiento del motor como para evitar una contaminación demasiado rápida del aceite por los productos de la combustión, y en los compresores para obtener un mayor rendimiento en la compresión del aire.

   La viscosidad y las propiedades antioxidantes y detergentes de los aceites de motores se encuentran de esta forma puesta en juego.

4. Participar en el equilibrio térmico del motor.

En los motores modernos, el aceite debe participar cada vez más en la eliminación de una gran cantidad de calorías no convertidas en energía mecánica. Esta cuarta función está frecuentemente asociada a la primera. Así, un aceite demasiado viscoso representa una gran resistencia pasiva, además su lenta circulación por el interior del motor lleva consigo una mayor elevación de la temperatura en algunas piezas importantes. Dicho de otra forma, para que el aceite "enfríe" debe circular rápidamente, claro que hay que considerar la situación de compromiso en cuanto a la viscosidad requerida con el tipo de trabajo del motor y sus r.p.m.

5. La evacuación de todas las impurezas; cuya acumulación seria perjudicial para las funciones precedentes.

Este es en parte el papel de la detergencia a lo que hay que añadir el particular efecto de los filtros de aceite y de aire.

1.3 INTERPRETACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LOS LUBRICANTES FRENTE A LAS CONDICIONES DE UTILIZACIÓN.

Se van a considerar las siguientes características:

- Viscosidad e índice de viscosidad.
- Punto de congelación
- Punto de inflamación.
- Espumosidad.
- Color.
- Densidad.
- Residuo carbonoso.
- Cenizas residuo sulfatado.
- Índice de acidez.

Viscosidad e índice de viscosidad.

La viscosidad es el rozamiento interno entre las capas de un fluido, es la propiedad del fluido en virtud del cual este ofrece una resistencia a las tensiones de cortadura. Es la característica más importante de un aceite debido a que es uno de los factores responsables de la formación de la capa de lubricación. La viscosidad afecta la generación de calor en rodamientos, cilindros y engranajes debido a la fricción interna del aceite. Esto afecta las propiedades sellantes del aceite y la velocidad de su consumo. Determina la facilidad con la que las máquinas se pueden poner en funcionamiento a varias temperaturas, especialmente a las bajas. La operación

satisfactoria de una pieza de un equipo depende fundamentalmente del uso de un aceite con la viscosidad adecuada a las condiciones de operación esperadas.

El concepto básico de la viscosidad se muestra en la figura 1.3, donde una placa se mueve a una velocidad constante V sobre una capa de aceite. El aceite se adhiere a ambas caras de las placas, la móvil y la estacionaria. El aceite en contacto con la cara de la placa móvil viaja a la misma velocidad que ésta placa, mientras que el aceite en contacto con la placa estacionaria tiene velocidad nula. Entre ambas placas, se puede visualizar al aceite como si estuviera compuesto por muchas capas, cada una de ellas siendo arrastrada por la superior a una fracción de la velocidad, proporcional a su distancia de la placa estacionaria, como sugieren las flechas. Un flujo de este tipo se denomina flujo laminar. Como consecuencia de este movimiento, una porción del líquido que en un determinado instante tiene la forma ABCD, al cabo de un cierto tiempo se deforma adquiriendo la forma ABC'D'. Una fuerza F debe ser aplicada a la placa móvil para vencer a la fricción entre las capas fluidas. Dado que esta fricción esta relacionada con la viscosidad, la fuerza necesaria para mover la placa es proporcional a la viscosidad.

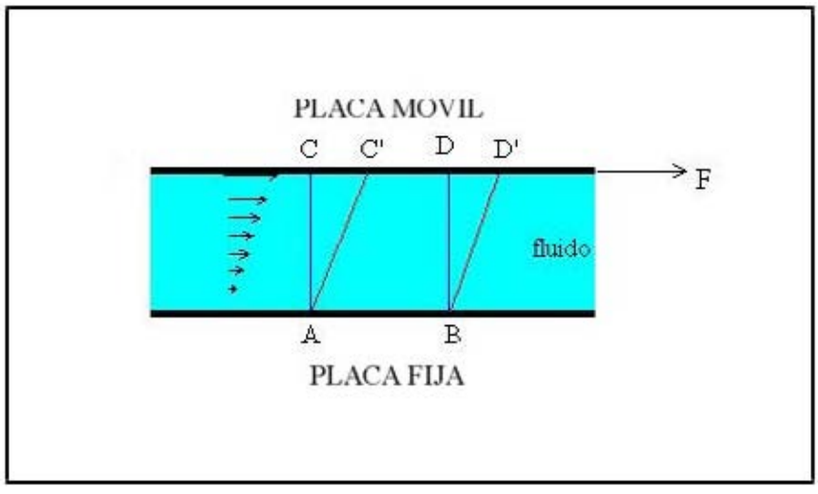

Figura 1.3 Diagrama representativo del concepto de viscosidad dinámica.

La viscosidad dinámica o absoluta es la que se determina midiendo la fuerza necesaria para vencer la resistencia a la fricción del fluido en una capa de dimensiones conocidas. En el sistema MKS se expresa en Kg./m•s, también puede expresarse en *poise* (P) que equivale a 1 g/cm•s. La figura 1.4 presenta algunas viscosidades para diferentes fluidos.

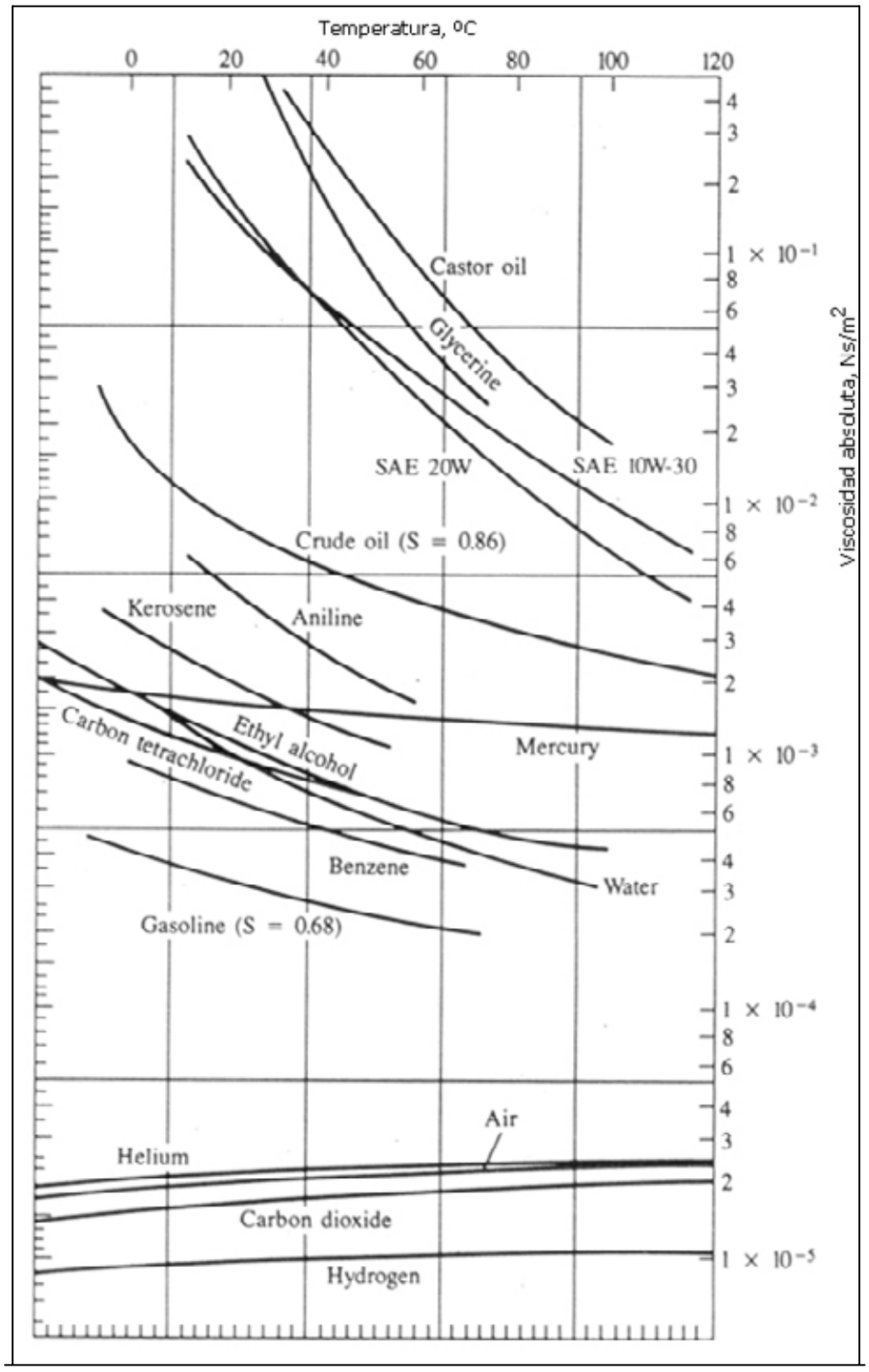

Figura 1.4 Viscosidades para distintos tipos de fluidos

La viscosidad cinemática es la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad del líquido, ambos medidos a igual temperatura. La unidad más común para expresar esta viscosidad es el *stoke* o el *centistoke* que corresponde a 1 mm^2/s.

El índice de viscosidad (iv) es él termino utilizado para determinar la variación de la viscosidad cinemática de un aceite por el efecto de la temperatura.

Los beneficios de un índice de viscosidad alto son:

- Viscosidad más alta a mayor temperatura, lo cual resulta en un menor consumo de aceite y desgaste del motor.
- Menor viscosidad a bajas temperaturas, lo cual permite un mejor arranque en frío del motor y menor consumo de combustible durante el calentamiento.

La escala de los índices de viscosidad fue establecida tomando aceites de diferentes procedencias y clasificándolos desde 0 (mucha variación) hasta 100 (muy poca variación). En la practica, se consideran:

Bajo: menos de 40.
Medio: de 40 a 80.
Alto: más de 80.

El lubricante debe tener una viscosidad a la temperatura de funcionamiento suficiente para mantener una película fluida entre las superficies deslizantes. Una viscosidad excesiva aumenta las resistencias de fricción y el calor desarrollado.

Las temperaturas de funcionamiento varían en unos intervalos bastante amplios. Cuando se arranca, la temperatura es baja, después se alcanzan temperaturas de régimen más elevadas. Las diferentes partes de un motor también tienen distintas temperaturas. Esto requiere que la viscosidad del lubricante se mantenga dentro de ciertos limites en un margen de temperatura relativamente extenso; es decir, que la viscosidad varíe con la temperatura.

Durante la utilización del aceite la viscosidad puede variar; permanecer constante, aumentar o disminuir. La disminución de la viscosidad se debe principalmente a la dilución del aceite por el carburante o combustible utilizado en los motores, puesto que una pequeña cantidad de éstos ejerce efecto sensible sobre ella. Otra causa de la disminución de la viscosidad pero en menor proporción, se debe a la degradación de los aditivos mejoradores del índice de viscosidad. El aumento de la viscosidad es consecuencia del aumento de los productos de oxidación y de materias carbonosas en el aceite. El que la viscosidad permanezca constante no supone necesariamente que el aceite no haya evolucionado, puesto que se puede llegar a una especie de equilibrio entre la disminución y el aumento de viscosidad, debido a los efectos anteriormente mencionados.

Punto de congelación.

El punto de congelación es la temperatura a la cual los aceites dejan de fluir, solidificándose. Se determina enfriando el lubricante en un tubo de ensayo hasta que puede ponerse horizontal, sin que el aceite se derrame.

El punto de congelación sirve para predecir la temperatura a la cual se aparta del carácter newtoniano**.** En el momento del arranque en frío de un motor o un equipo, el aceite debe permanecer liquido y ser fácilmente bombeado. Aunque la viscosidad es de mayor importancia, el punto de congelación puede también afectar la circulación del aceite al arrancar un equipo frío en una baja temperatura. Sin embargo, el punto de congelación no afecta a la resistencia al arranque, que depende de la viscosidad aparente a la temperatura en cuestión.

Punto de inflamación. (*flash point*)

Es la temperatura a la cual, bajo ciertas condiciones, hay que calentar un lubricante para que los vapores emitidos se inflamen al aproximarse una llama.

Esta característica está relacionada, en un aceite fresco, con la volatilidad de sus componentes, y más exactamente con el comienzo de sus curvas respectivas de destilación. El punto de inflamación puede considerarse como una medida de la tendencia del aceite a vaporizarse.

Esta característica es útil en el control de procesos para mantener una producción uniforme y en aceites usados, para detectar la dilución por combustibles. (Aumento de la volatilidad y disminución del punto de inflamación).

El consumo de aceite de un motor está afectado por la volatilidad del aceite.

Espumosidad.

La espuma se define como una aglomeración de burbujas de aire, empaquetadas muy juntas, rodeadas con una película relativamente delgada de aceite, que se acumulan en la superficie del aceite. La espumosidad crea problemas en sistemas tanto de alta como baja presión.

En sistemas de alta presión, la espuma no puede ser tolerada, por que hace imposible los movimientos precisos.

La espuma en sistemas de baja presión, a pesar que no interfiere con la operación, puede resultar en un sobrellenado y probable derrame de los depósitos. La espumación, también puede causar que el aire se atrape en los puntos altos de las líneas, si es que la espuma entra en las líneas de retorno. La espuma que entra en las bombas, puede causar ruido, desgaste, cavitación y descarga errática. Puede disminuir la eficacia de la lubricación por formar tapones de espuma en la bomba o tubería de engrase. También puede dar lugar a perdidas de aceite por el respiradero del cárter.

El problema puede ser analizado realizando dos observaciones: Si en el depósito, el aceite elimina la espuma un tiempo después de haber apagado la máquina, el problema es de entrada de aire. Si la espuma permanece estable en el equipo aún después de haber apagado la maquinaria y dejarla en reposo, entonces se considera que el problema es de agotamiento de los aditivos antiespumantes.

Color.

Es la comparación del color del aceite en un espesor dado con vidrios coloreados que se usan como patrones, como medida con un aceite nuevo.

Si la medida del color en un aceite nuevo para motores tiene poca importancia, la de un aceite usado carece de total interés. Para estos últimos es conveniente anotar si son “negros” (presencia de materias carbonosas) o “grises” (presencia de productos de combustión del plomo tetraetilo). Los aceites detergentes se ennegrecen rápidamente, lo que es un índice de la eficacia de su acción dispersante sobre las materias carbonosas y otros productos.

Densidad.

La densidad de un fluido (ρ), es su masa por unidad de volumen. La densidad no está directamente relacionada con el comportamiento de un aceite que contiene aditivos, preparados a partir de bases extraídas del petróleo. Su variación durante el servicio es relativamente pequeña y no presenta interés. Es una característica de identificación, y su ensayo se realiza por medio de picnómetro y densímetro. Dicha medida es referida a una temperatura dada.

Residuo carbonoso.

Se utilizan dos métodos para determinarlo, el Conradson y el Rambsttom, siendo más frecuente el primero porque es más rápido, aunque menos reproducible. Ambos indican la cantidad de residuo carbonoso que queda después de la revaporización y pirogenación de un aceite, en condiciones bien determinadas.

El residuo carbonoso fue considerado durante bastante tiempo debido a que proporcionaba la indicación de los aceites a formar depósitos en las cámaras de combustión de los motores. Esto sucedía con los aceites minerales puros, pero con nuevos aceites con aditivos detergentes los residuos son cenizas de los aditivos. Debido a esto, esta característica del aceite ha ido perdiendo interés, y representa más una característica de identificación.

En el caso de los aceites detergentes usados, el residuo carbonoso aumenta debido a la presencia de residuos metálicos provenientes del desgaste, y de materias minerales provenientes del polvo del aire.

Cenizas residuo sulfatado.

Se utilizan varios métodos para determinar el contenido de cenizas, sean estos aceites minerales puros, o con aditivos. Ambos son indicadores del contenido de elementos no deseados; metales, impurezas o contaminantes indeseados.

En los aceites detergente usados se deben al desgaste de los metales y otras materias inorgánicas extrañas. Para obtener la concentración exacta se deben recurrir a otros análisis.

Sin embargo, el contenido de cenizas puede disminuir debido a la degradación de los aditivos.

Por lo general, es interesante tener en cuenta la variación de las cenizas en el aceite en servicio, para detectar el comienzo de un desgaste anormal o de una contaminación exagerada por materias minerales.

Índice de alcalinidad.

El número base de aceites alcalinos detergentes indica la cantidad de aditivo básico en el aceite. El aditivo más común de este tipo esta basado en sulfato de calcio (sulfato natural o sintético), sin embargo, salicilatos y phenatos también son utilizados. Este tipo de aditivo neutraliza químicamente los productos ácidos que son generados durante la combustión del motor, los cuales son dañinos para este. El número básico total (T.B.N.) de un aceite usado representa la cantidad de aditivo básico disponible para neutralizar los componentes ácidos. El T.B.N. no debería ser más bajos que los límites establecidos por la compañía que produce el aceite. Se mide en miligramos de hidróxido de potasio.

Durante la operación inicial de un motor sobre un nuevo aceite, el número base bajara a un cierto nivel de equilibrio. Por lo tanto, el número de base permanecerá o disminuirá lentamente dependiendo de: el tipo de aceite utilizado, el régimen de trabajo del motor, el contenido de azufre del combustible utilizado, el tamaño del cárter de aceite y la capacidad de llenado.

1.4 PRINCIPALES PROPIEDADES DE LOS ACEITES PARA MOTORES.

Como principio general se sabe que la primera condición que debe cumplir un aceite es lubricar, luego aparecen otras características debido a ciertos fenómenos que tienden a estropear el motor, y al propio aceite.

Se mencionaran entonces las condiciones generales que ha de poseer un aceite para que no permita irregularidades en el motor, a pesar de las condiciones de servicio.

1. *Resistencia a la oxidación*.

Las principales causas que producen la degradación del aceite son las siguientes:

- Temperatura del aceite y de las diferentes piezas de la maquina.
- Presencia de oxigeno en contacto con el aceite.
- Presencia de superficies metálicas catalizadoras o de los residuos de desgaste.
- Contaminación por productos de descomposición de los carburantes y combustibles (gas-oil y combustibles diversos).

La temperatura es en realidad el factor más primordial en este punto, y existen dos importantes zonas en las que hay que tener una especial consideración en motores:

- El fondo del alojamiento de la primera cajera (alojamiento del anillo de fuego).
- El cárter de aceite.

En el fondo del alojamiento del primer anillo del pistón, la temperatura puede alcanzar fácilmente los 270º C y más en un motor diesel sobrealimentado. Por esta razón el aceite no debe contribuir a la formación de depósitos a esta temperatura, ya que estos pueden producir el pegado de los anillos en las cajeras, por bien montados que estén estos en el pistón. Esto se traduce en una disminución del rendimiento del motor, debido a una perdida de compresión, una insuflación excesiva de gases al cárter, cuya consecuencia es la contaminación del aceite, y al final se puede producir un mal trabajo del motor y averías mecánicas.

La temperatura del aceite en el cárter llega a alcanzar los 50-55º C y a veces más. A esta temperatura no debe formar ningún producto ácido capaz de atacar piezas importantes, como son los cojinetes fabricados con metales duros, o productos insolubles capaces de formar depósitos, que pueden ser desde barnices, hasta barros.

La solución radica en recurrir a aceites perfectamente refinados a los cuales se les añade aditivos antioxidantes y anticorrosivos que aseguran la reducción o la eliminación de los productos insolubles y la protección de los cojinetes creando una especie de barniz protector.

2. Detergencia y dispersividad.

Un buen aceite debe mantener en bajas, cargas y temperaturas, y en altas, cargas y temperatura, un gran poder detergente contra la formación de depósitos de lacas, lodos o carbonilla, esto es en todos los equipos, excepto en los de las cámaras de combustión.

Los motivos de los depósitos en los motores, son diversos, su cantidad depende especialmente del carburante y del combustible utilizados, de la forma que se quema, de las temperaturas del aceite, del sistema de refrigeración del motor y por ultimo de la estanqueidad del sistema anillo-cilindro. La cantidad de productos insolubles en el aceite puede alcanzar desde el 8 al 10% de su peso, siendo el normal entre el 2 al 3%.

Entonces el papel de la detergencia es reducir la formación de depósitos y facilitar la evacuación de estos del motor.

La propiedad de detergencia se logra por la adición de aditivos, y su acción puede variar según si la formación de depósitos es a baja o alta temperatura.

A bajas temperaturas se forman unos cuerpos procedentes de los carburantes y combustibles, el aceite debe poder mantenerlos en suspensión o solubilizarlos.

A temperatura elevada se forman productos de la deterioración de aceites, los que se tienden a depositar, el objeto de la detergencia, en este caso es mantener los productos en suspensión y además detener la reacción en cadena que polimerizan los productos de la oxidación responsable de la formación de barnices y lacas. Al mismo tiempo el detergente ha de poder neutralizar los productos de combustión del azufre que son muy corrosivos.

También el aceite detergente debe mantener en suspensión los residuos de la corrosión directa de los carburantes, tales como sales de plomo, carboncillo y hollín, y limitan su aglomeración en el aceite y posterior precipitación en el motor.

Todo lo anteriormente mencionado nos hace ver una acción directa sobre la posibilidad de aumentar la potencia de los motores diesel, porque utilizando mayor relación de compresión, las potencias son mayores sin que la inherente elevación de la temperatura sea perniciosa por la acción protectora del aceite contra los depósitos.

3. Reducción de depósitos en las cámaras de combustión.

El aceite lubricante tiene que ser capaz de mantener el sistema pistón/cilindro en condiciones relativamente limpias. Los aceites que poseen un buen poder detergente pueden ayudar a evitar el rozamiento de los pistones y disminuir el desgaste del diámetro interior de los cilindros. Esto se logra manteniendo los anillos del pistón libre de depósitos abrasivos, para que así puedan desempeñar su función.

Además del poder detergente, el aceite lubricante también debe poseer un buen poder dispersante. La suspensión de materiales que conllevan a la formación de hollín y lacas, ayudará a evitar la acumulación de materiales que impidan el normal funcionamiento del motor.

4. Reducción del desgaste.

Los desgastes en los motores se deben a:

a. Corrosión.

b. Erosión, y

c. Abrasión.

El ataque corrosivo por productos ácidos es una de las causas mayores de desgaste de los cilindros y de los anillos.

En los motores Diesel un contenido en azufre elevado en el combustible favorece al ataque corrosivo, sobre todo cuando las temperaturas son bajas y se llega al punto de rocío de los ácidos procedentes de la combustión de este elemento, en este punto no solo afecta la cantidad de

azufre, sino también la mala regulación de la temperatura del motor. La reducción de la corrosión se puede lograr con aceites detergentes que neutralizan los ácidos, pero este va a depender de la concentración inicial, y si se produce el vaciado antes que la concentración sea demasiado baja.

La erosión es el desgaste producido por el roce del metal. En la parte superior de los cilindros se produce principalmente por cada partida del motor sobre todo en frío cuando aun no existe suficiente circulación de aceite.

La erosión se manifiesta en los trenes de válvulas, en las excéntricas de las levas, en los elevadores hidráulicos en las extremidades de los balancines y en los vástagos de las válvulas debido al aumento de los esfuerzos sobre los elevadores por el uso de resortes más potentes y sobre las excéntricas que son cada vez más estrechas.

También se da con frecuencia en los anillos de compresión y su alojamiento en los pistones de aleaciones ligeras.

Como solución se utiliza la introducción de aceite ligero en la parte alta de los cilindros, pero a altas temperaturas pueden volatilizarse y su protección entonces no será satisfactoria.

La abrasión es la tercera forma de desgaste en los motores, cuyas fuentes son las partículas abrasivas que ingresan con el aire al motor, si el sistema de filtración no es eficaz.

Por otra parte, el desgaste del motor por efectos corrosivos o erosivos, se traduce en la aparición de restos metálicos que actúan como agentes abrasivos. No podemos olvidar una forma muy particular de desgaste, que es la que se manifiesta en rodaje.

Todo esto se traduce en la necesidad de la eliminación de las impurezas del aceite en circulación, por finas que sean.

5.- *Facilidad de arranque y rapidez de entrada en acción*.

La facilidad de partida de un motor depende fundamentalmente de la velocidad de arrastre del mismo y ésta a su vez está influida por la viscosidad del aceite a la temperatura en el cárter.

La rapidez de puesta en acción de un motor esta relacionada con la facilidad de circulación del aceite para llegar a las piezas vitales de éste. Esta característica depende de la viscosidad del aceite a la temperatura de arranque. El desgaste, esta influenciado por esta rapidez.

Sin embargo hay que llegar a un equilibrio entre las exigencias en el arranque y el consumo de aceite a temperaturas elevadas.

1.5 TIPOS O REGÍMENES DE LUBRICACIÓN.

Según la tendencia y naturaleza de los contactos entre las diferentes piezas que se están lubricando, las presiones y tipos de carga así como la naturaleza y las características físico-químicas de los lubricantes utilizados, influyen en el tipo o régimen de lubricación.

La clasificación se realiza bajo el criterio de la separación que existe entre los elementos metálicos que se encuentran en movimiento, que es donde esta actuando el lubricante. También se hace referencia a la presión entre los componentes a ser lubricados, la velocidad relativa entre estos, la viscosidad de los lubricantes y otros factores.

Los tipos de lubricación son: de película completa, lubricación marginal, de película mixta y lubricación seca. Las diferencias entre estos tipos de lubricación radican principalmente en el contacto entre las distintas superficies que se desea lubricar.

1. - *Lubricación de película completa.*

En esta clasificación las superficies de los elementos se encuentran totalmente separados por una película lubricante, con lo que se elimina cualquier contacto entre estos, este régimen puede ser subdividido en lubricación hidrostática, hidrodinámica, y elasto-hidrodinámica.

a.- Régimen de lubricación hidrostática.

Este régimen de lubricación se caracteriza por una separación completa de las superficies a lubricar, debido a un abastecimiento continuo de flujo de lubricante (aceite preferentemente), a una presión hidrostática elevada ($\approx 10^2$-10^4 psi). Las partes sólidas están separadas por una película de lubricante de espesor inferior a $1*10^{-4}$ mm.

Este tipo de lubricación permite entregar el lubricante a todas las partes del mecanismo y no depende de la velocidad de las piezas. La cantidad de lubricante inyectado depende de la presión de la bomba de alimentación, de la temperatura y la viscosidad del aceite.

Esto requiere de un estanque como depósito, una bomba para presurizar y tuberías para distribuir el lubricante. Cuando se realiza en la forma correcta, con las holguras de cojinetes apropiadas, este procedimiento puede eliminar todo contacto entre metales de la interfaz durante el deslizamiento. Las superficies quedan separadas por la película de lubricante, que si se mantiene limpia y libre de contaminantes, reduce casi a cero la tasa de desgaste.

Con una velocidad relativa, el coeficiente de fricción, en una interfaz hidrostáticamente lubricada, es de 0.002 a 0.010.

b.- Régimen de lubricación hidrodinámico.

Este tipo de régimen define al suministro de lubricante (aceite por lo general) a la interfaz en deslizamiento, para permitir que las superficies en contacto bombeen lubricante dentro del espacio que separa dichas superficies, mediante una película dinámica de líquido.

En este tipo de régimen el espesor de la película es mayor que la aspereza o rugosidad de las superficies. En algunos casos, cuando la velocidad relativa de las dos superficies es considerable se produce la llamada cuña de aceite la cual actúa evitando el contacto metálico. Dicha cuña origina en su interior unas presiones hidrodinámicas que equilibran teóricamente las cargas que actúan sobre las piezas de las máquinas o equipos donde se aplica dicha cuña.

Las superficies quedan separadas por la película de lubricante con un espesor superior a $6.35*10^{-4}$ mm y el coeficiente de fricción varia entre 0.002 hasta 0,010.

Para la formación de la cuña de aceite, se trate de superficies rectilíneas no paralelas, como para superficies circulares (figura 1.5 a) se produce cuando la superficie superior o eje que se encuentra inmóvil sobre el descanso (suponiendo una carga vertical hacia abajo) comienza a moverse de forma rotatoria y como está apoyado en el descanso comienza el movimiento rozando las paredes interiores del descanso, subiendo en dirección contraria a su rotación (figura 1.5 b), el peso y la carga más el lubricante que arrastra hacen descender al eje, su movimiento tiene y tiende a llevar las capas de aceite que están en contacto con ella a igual velocidad formando una película fluida de lubricante (figura 1.5 c). De esta forma, las capas de aceite que se encuentran en contacto con la superficie inferior, permanecen estáticas, así las capas intermedias obtienen mayor velocidad a medida que se acercan a la superficie en movimiento. Debido a la forma convergente del cojinete estacionario sucede que las capas de aceite tienden a comprimirse al final del plano inclinado formando una presión normal a las superficies, la que las mantiene separadas, de esta forma se evita el contacto de los metales. Evidentemente esta separación solo se produce si hay movimiento entre las superficies la que aumenta con relación a la velocidad de estas. Con el aumento de la velocidad de rotación y la estabilización de las presiones de la cuña de aceite, se equilibra la carga y el eje toma teóricamente la posición de equilibrio hidrodinámico (figura 1.5d).

El espesor de equilibrio de la capa de aceite se puede alterar por:

- Incremento de la carga, que expulsa aceite.
- Incremento de la temperatura, que aumenta la pérdida de aceite.
- Cambio a un aceite de menor viscosidad, que también aumenta la pérdida de aceite.
- Reducción de la velocidad de bombeo, que disminuye el espesor de la capa.

Cuando exista en este tipo de régimen una trayectoria de fuga del lubricante, debe reemplazarse la pérdida, para esto debe existir una alimentación por gravedad o por presión (bombas).

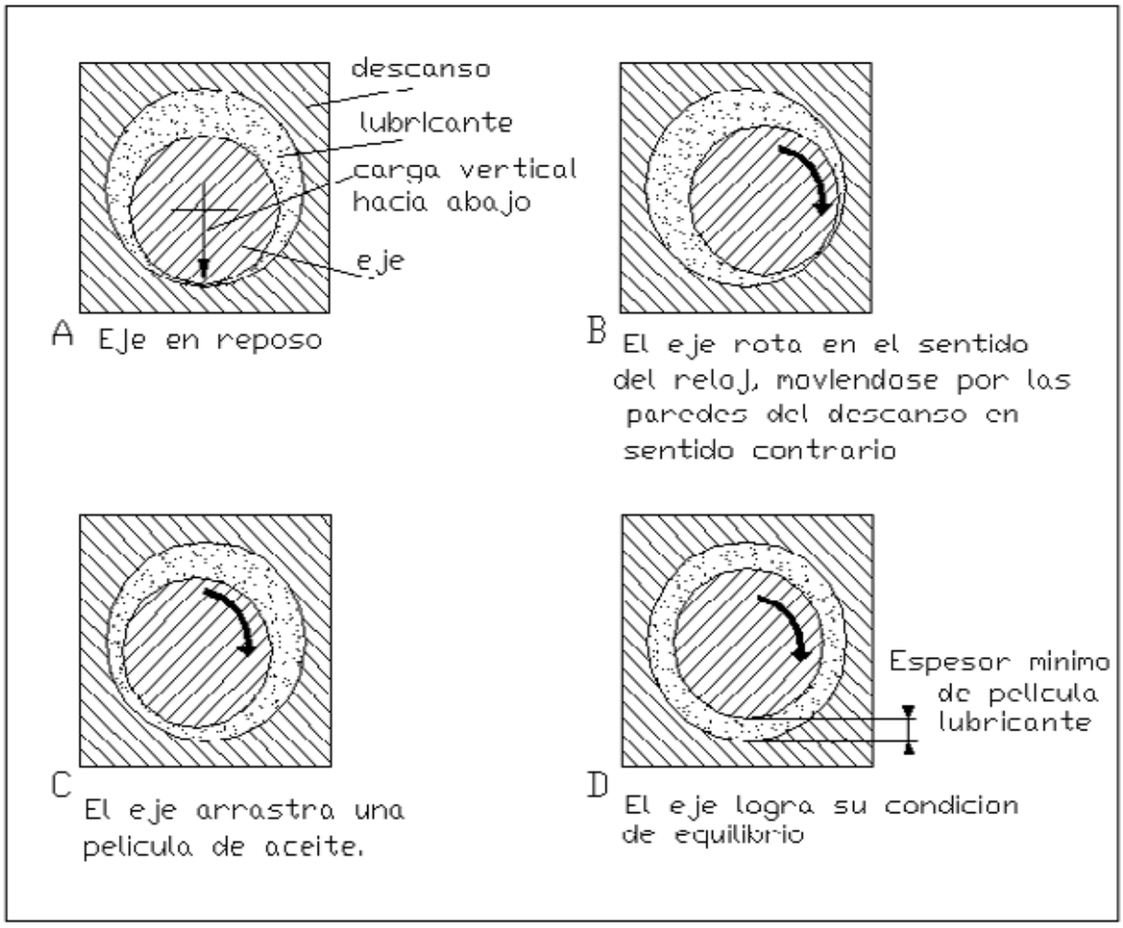

Figura 1.5 Diagrama de la formación del régimen de lubricación hidrodinámico en un eje en su descanso.

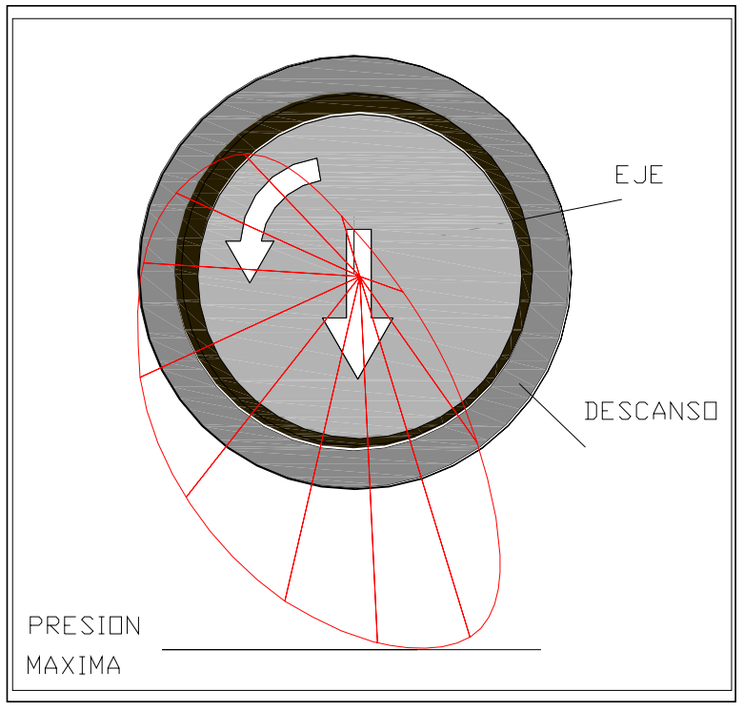

Figura 1.6 Diagrama de las presiones creadas dentro del cojinete.

En la figura 1.6 aparece un descanso con lubricación abundante en donde se puede formar un régimen de lubricación hidrodinámica, la presión radial comienza a elevarse en el punto A llegando a un máximo poco después y luego cae nuevamente a 0 (naturalmente que en la figura se ha exagerado el claro entre el descanso y el eje, para lograr una mayor claridad).

c.- Régimen de lubricación elasto-hidrodinámica.

Este tipo de lubricación se presenta en superficies que poseen una alta carga como lo son rodillos, impulsor de levas y engranajes.

A diferencia del caso de la teoría hidrodinámica donde se consideran las superficies en contacto como rígidas y absolutamente pulidas y que el lubricante tiene viscosidad constante dentro y fuera de las áreas en contacto. En el caso del régimen elasto-hidrodinámico se considera que a medida que la presión o la carga se incrementan, la viscosidad del aceite también aumenta. Cuando el lubricante converge hacia la zona de contacto, las dos superficies se deforman elásticamente debido a la presión del lubricante. En la zona de contacto, la presión hidrodinámica desarrollada en el lubricante causa un incremento adicional en la viscosidad que es suficiente para separar las superficies en el borde de ataque del área de contacto. Debido a esta alta viscosidad y al corto tiempo requerido para que el lubricante atraviese la zona de contacto, hacen que el aceite no pueda escapar, y las superficies permanecerán separadas.

La carga tiene un pequeño efecto en el espesor de la capa, debido a que a estas presiones, la capa de aceite es más rígida que las superficies metálicas. Por lo tanto, el efecto principal de un incremento en la carga es deformar las superficies metálicas e incrementar el área de contacto, antes que disminuir el espesor de la capa de lubricante.

Esto ocurre cuando las superficies en contacto no son concordantes, como en los dientes de engrane o de una leva y su seguidor.

2. - *Lubricación marginal o de película mixta.*

La lubricación marginal es en la que un elevado nivel de carga, de baja velocidad o de insuficiencia de lubricante, evitan la iniciación de un estado hidrodinámico o hidrostático. Bajo estos parámetros llega un momento en que la película de lubricante no posee las dimensiones suficientes para lograr la separación de las superficies, entrando en contacto sus valles y crestas microscópicas, ocurriendo un desplazamiento de la capa de lubricante, un aumento del coeficiente de roce y pudiese suceder la soldadura de las rugosidades de las superficies metálicas. En estas condiciones la untuosidad del lubricante tiene un papel importante, es decir su adherencia o polaridad de sus moléculas y, en definitiva la resistencia de las capas de adsorción a separarse de las superficies metálicas, debido a que estas son las que proporcionaran la lubricación límite, que mantiene en las pequeñas concavidades una película de lubricante mínima, sin que el movimiento llegue a comportarse como si ocurriese en seco.

La lubricación marginal es la menos deseable de todos los tipos, porque permite que entren en contacto las superficies y se desgasten con rapidez.

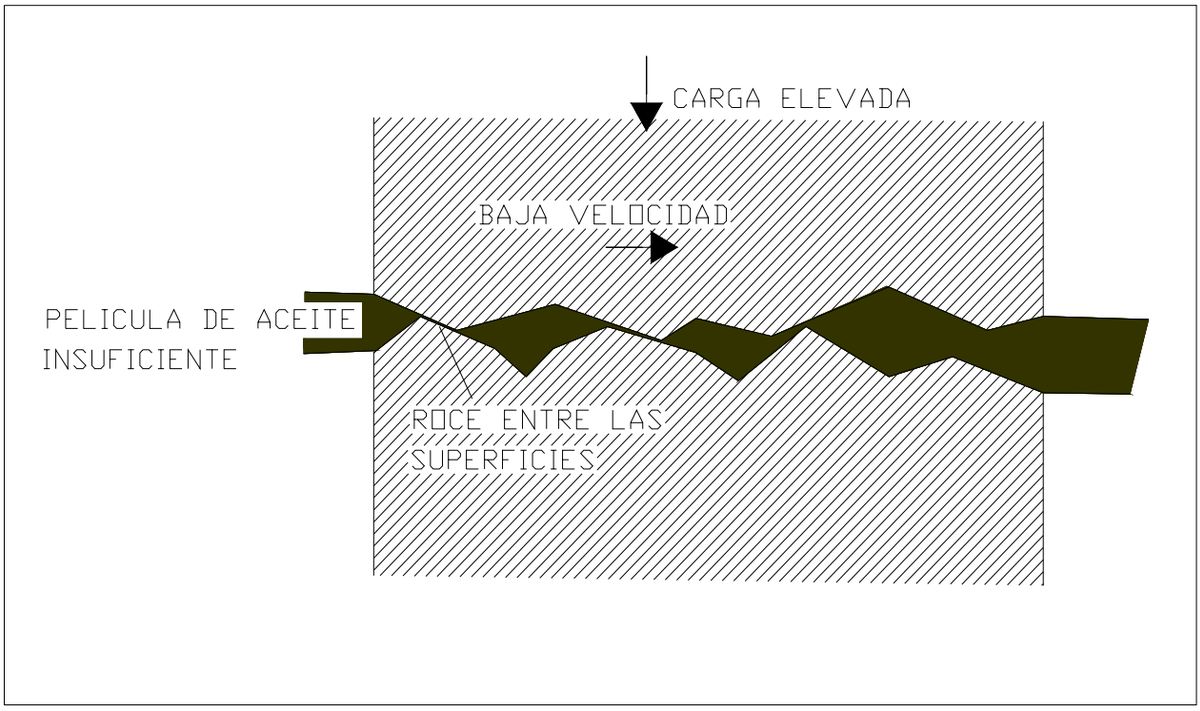

Figura 1.7 Diagrama de lubricación marginal

Un Ejemplo de este tipo de lubricación es el mencionado en el capitulo IV en el que se desarrolla la lubricación de cilindros de motores de combustión, que sucede cuando el pistón se encuentra en el punto muerto superior o en el inferior, y cambia el sentido del movimiento la velocidad de este se aproxima a cero, y la lubricación es del tipo limite.

3. - ***Lubricación seca***

En el caso de la lubricación seca es en la cual se utilizan lubricantes sólidos. Esto sucede en presencia de temperatura extremadamente altas, con cargas extremas, con vibraciones u oscilaciones en órganos a velocidades bajas o condiciones desfavorables de operación, debido a las clases de materiales en contacto (ejemplo: acero-acero) o por la presencia de gases, ácidos o disolventes, donde no se puede utilizar aceite como lubricante o por el mismo sistema de lubricación que no permite relubricar fácilmente máquinas de marcha continua, hacen necesario el empleo de un lubricante sólido. Además el lubricante sólido presenta la ventaja de poder lubricar mecanismos expuestos a sustancias sólidas abrasivas.

Los compuestos utilizados son materiales antifriccionantes como el grafito o el bisulfuro de molibdeno, estos funcionan como pequeñas pelotas que forman una película de lubricante que evita el contacto entre las superficies. La película formada tiene alta resistencia a la temperatura de hasta 410 °C (cuando se utiliza bisulfuro de molibdeno por ejemplo), no se carboniza y resiste cargas de hasta 30.000 Kg / cm2.

Se puede encontrar aplicado en cadenas transportadoras, guías excéntricas, y también para proteger los metales en la soldadura eléctrica.

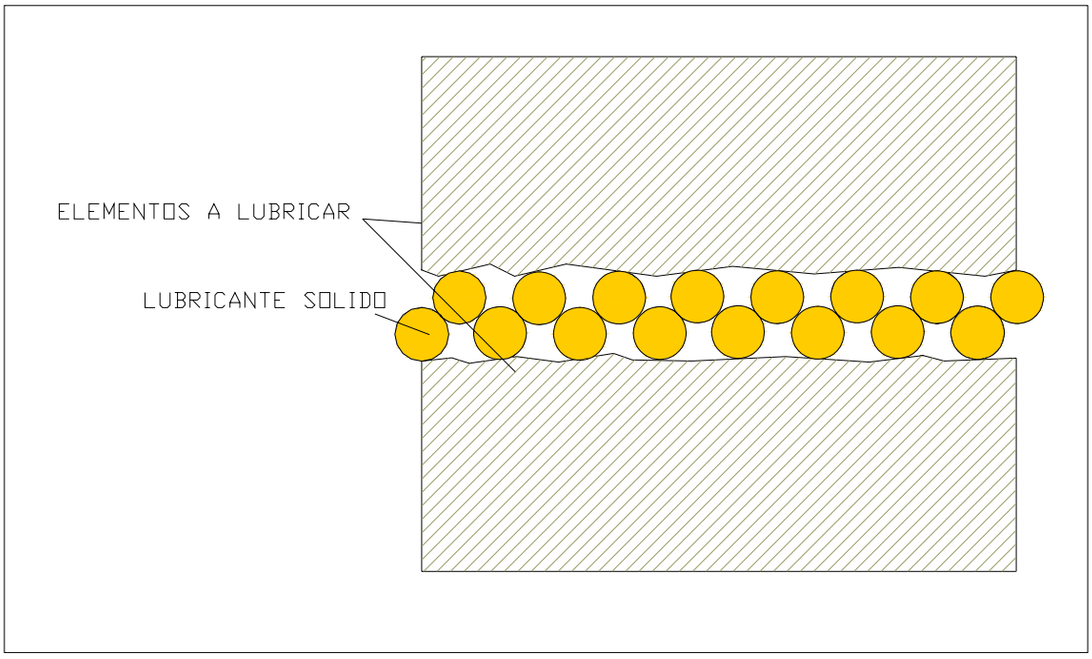

Figura 1.8 Representación de una lubricación seca.

CAPITULO II.

COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES PARA MOTORES.

Los aceites utilizados en la lubricación, pueden ser de distintos orígenes como será visto posteriormente, siendo de mayor importancia los minerales. A continuación se dará una breve descripción de la obtención de los aceites minerales.

2.1 OBTENCIÓN DE LOS LUBRICANTES.

La materia para la obtención de aceites minerales es el petróleo crudo que surge de los distintos tipos de yacimientos. Este petróleo crudo es un líquido constituido por una enorme cantidad de compuestos distintos, siendo todos ellos distintas combinaciones de carbono e hidrógeno, con pequeñas cantidades de oxígeno, azufre y nitrógeno, que se denominan hidrocarburos.

El petróleo en su estado crudo no puede utilizarse directamente y es necesario someterlo a varios procesos de elaboración o refinación, para llegar a productos que sean útiles, esto se lleva a cabo en una refinería donde se obtienen la mayor cantidad de productos de una determinada calidad que van desde gases ligeros, como el propano y el butano, hasta fracciones más pesadas, fuel oil y asfalto, pasando por productos intermedios como las gasolinas, el gas oil y los lubricantes (figura 2.1).

Pero antes de comenzar el proceso se debe someter al petróleo a un análisis de laboratorio, debido a que no todos los petróleos son iguales y no de todos se pueden extraer los mismos productos. Además se efectúa un refinado piloto donde se experimentan las operaciones a escala, y una vez comprobados los pasos se comienzan los procesos.

El primer proceso al que se somete el crudo en la refinería es la destilación primaria o atmosférica, este es un proceso físico-químico que fracciona los distintos constituyentes del crudo por efecto de la temperatura, sin originar nuevos compuestos. Primero el petróleo crudo se calienta en un horno a una temperatura que alcanza los 400º C y se le lleva a la parte inferior de la torre de fraccionamiento o de destilación, que consiste en una enorme torre cilíndrica, cuya altura puede superar los 50 metros. Dentro de ella se encuentran a diferentes alturas, bandejas o platos, que separan los distintos componentes del crudo, según su punto de condensación. Estas bandejas provocan la condensación de los vapores más pesados, logrando separarlos, las bandejas están conectadas a ductos por los que se recogen las distintas corrientes que se separaron en esta parte.

Como el número de constituyentes del petróleo es muy grande, es imposible separarlos uno por uno. En cambio mediante este método de destilación, las distintas fracciones, livianas y pesadas, se separan gradualmente unas de otras.

En la parte superior de la torre se obtienen gases L.P.G. como, etano, propano y butano, mientras que más abajo se obtienen fracciones con punto de evaporación mas elevado como, nafta, kerosén, gasoil liviano y gasoil pesado entre otras. En esta operación no obstante, sólo surte productos en bruto que deberán ser mejorados para ser comercializados, dado que los procesos de destilación no rinden productos en la calidad ni cantidad demandada por el mercado. Las distintas corrientes se envían a otras torres y unidades para someterlas a nuevos procesos, al final de las cuales se obtendrán los demás derivados del petróleo.

Al fondo de la torre cae el “crudo reducido” que no alcanzo a evaporarse en esta primera etapa. Si a este se le pretende extraer aún más destilados, hay que someterlo a presión reducida, ya que si se aumenta la temperatura del proceso, generaría craqueo térmico o ruptura de moléculas. En estas condiciones se pueden obtener volúmenes adicionales de destilados, gas oil liviano y pesado de vacío, a temperaturas semejantes a la del proceso anterior y cortes básicos para la elaboración de lubricantes en orden descendente, una fracción de lubricante liviano, luego mediano y pesado. Finalmente hay otro residuo que incluso al vacío no hierve, el cual es la base de los llamados lubricantes residuales, las otras tres fracciones se llaman lubricantes destilados.

No todos los petróleos crudos son iguales y se pueden clasificar en dos grupos: Parafínicos y Nafténicos.

La clasificación se hace según el tipo de compuesto químico que predomina en el petróleo crudo. Entonces, de acuerdo al tipo de petróleo crudo al cual se ha realizado la destilación, tenemos la clasificación de lubricantes de dos tipos:

1. Lubricantes parafínicos.
2. Lubricantes nafténicos.

Es necesario agregar que solamente de un crudo parafínico es posible obtener lubricantes residuales. Del residuo de la destilación al vacío de un crudo nafténico no se pueden obtener lubricantes residuales, sino que se utiliza para fabricar otro producto llamado asfalto, que se emplea para construir caminos.

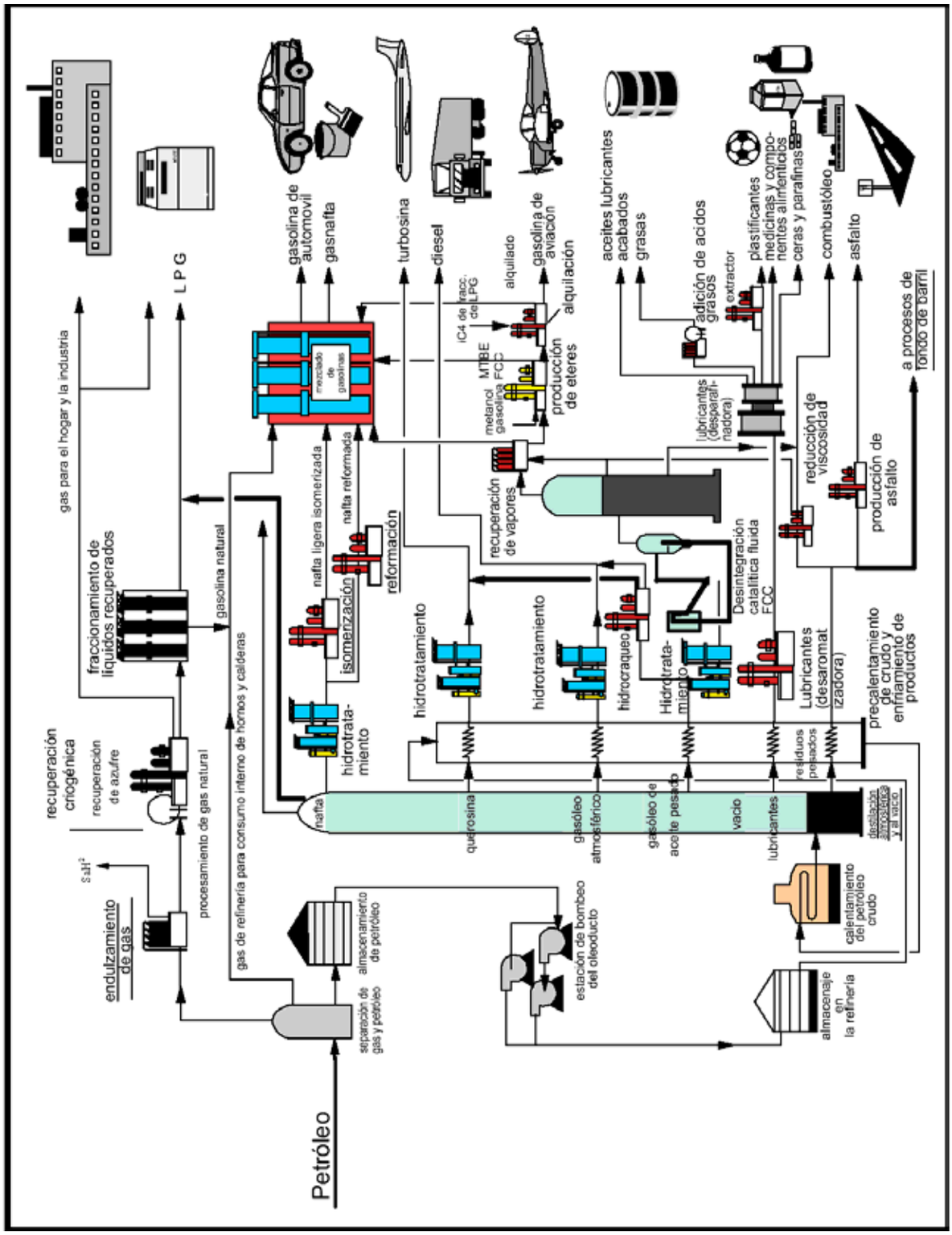

Figura 2.1 Diagrama de la obtención y utilización de hidrocarburos.

Refinación de lubricantes.

Las fracciones de los lubricantes descritas anteriormente no pueden ser empleados tal cual, salvo que se trate de aplicaciones muy sencillas y poco exigentes. Deben someterse a procesos adicionales, esto se debe a que aún contienen sustancias indeseables y que es necesario eliminar. Estas sustancias, que pertenecen a un grupo de compuestos llamados aromáticos, tienden a oxidarse o descomponerse con mucha facilidad, dando lugar a la formación de barros y ácidos que provocarían dificultades en la máquina a lubricar.

Esta refinación se puede realizar de dos formas:

1. Mezclando la fracción de aceite a refinar con ácido sulfúrico, donde el ácido ataca a los compuestos aromáticos, los que entonces se separan por decantación.
2. Refinación por solventes. Se agita la fracción de aceite con un solvente, el que disuelve los compuestos aromáticos. Se dejan decantar y se forman dos capas, una del aceite refinado, la otra del solvente con los compuestos aromáticos. Este método ofrece una serie de ventajas, entre ellas que el aceite refinado que se obtiene es de mejor calidad que el obtenido por tratamiento con ácido sulfúrico.

   Después de todo este tratamiento, algunos aceites aún contienen una cantidad de cera parafínica, la que es necesario eliminar, porque de lo contrario los lubricantes serían sólidos pastosos a temperatura ambiente y no podrían fluir. La cera parafínica puede secarse sencillamente enfriando el aceite con un sistema de refrigeración y filtrando en un filtro prensa, que es el sistema antiguo. Actualmente se emplea un sistema por solventes análogo al descrito anteriormente, sólo que se emplea otro tipo de solventes. De aquí se obtiene la cera parafínica que se emplea en múltiples funciones siendo la principal de ellas la fabricación de velas.

   De esta forma se obtiene una gama de lubricantes llamados cortes básicos.

Elaboración de lubricantes terminados.

Esta constituye la fase final para llegar al producto que se emplea en los motores y máquinas en general.

Una planta de elaboración de lubricantes, generalmente almacena una gama de cortes básicos de distintos tipos y viscosidades, que pueden ser seis o más.

La elaboración consiste en mezclar dos o más aceites básicos en distintas proporciones, según las características que se desea tener para el lubricante deseado. Se agrega también el o los aditivos, si es que así lo exige la especificación, los cuales pueden ir en proporciones pequeñas de partes por millón hasta porcentajes del 10 al 12%.

Base sintética.

Una base sintética es creada para reemplazar los derivados convencionales del petróleo en la creación de aceites lubricantes, su estructura molecular esta diseñada para lubricantes específicos. Estas bases sintéticas son por lo general derivadas de productos petroquímicos.

Más adelante en el capítulo III página 28 se describirán los beneficios de los lubricantes sintéticos.

2.2 ADITIVOS EN LOS ACEITES LUBRICANTES.

Bajo condiciones modernas de operación, los aceites minerales, no son capaces por mucho tiempo de mantener las necesidades requeridas por los motores de combustión interna, de tal manera que para mejorar la calidad y el comportamiento de los aceites lubricantes, es necesario el uso de aditivos más allá de lo que se obtenga a través del proceso de refinación.

Los aditivos son sustancias químicas que en pequeñas cantidades se añaden a los aceites para incrementarles propiedades de las que se encuentran deficitarias o para reducir sus características perjudiciales.

Los aditivos pueden dividirse en dos grandes grupos según los efectos que producen:

a) Inhibidores destinados a retardar la degradación del aceite actuando como detergentes dispersantes, antioxidantes, y anticorrosivos.
b) Aditivos mejoradores de las cualidades básicas físicas, con acción sobre el índice de viscosidad, el punto de congelación, el punto de fluidez, el poder antiespumante, la extrema presión y la rigidez dieléctrica.

La clasificación anterior no quiere decir que para conseguir cada cualidad sea preciso la mezcla de un aditivo diferente, ya que en el mercado existen productos de esta clase que proporcionan varias ventajas simultáneamente.

Las compañías productoras de aceites lubricantes terminados no dan mucha información de la gran cantidad de aditivos que usan en la preparación de sus aceites por razones obvias, y además porque los aditivos están en constante renovación. Ya sea en su composición química como en las cantidades a mezclar. En Chile las principales compañías distribuidoras de aceites lubricantes terminados, llámese Mobil, Shell o Esso, reciben desde el extranjero 8 a 10 cortes básicos de aceites lubricantes destilados del petróleo, los que mezclados entre sí y además con aditivos obtienen una enorme cantidad de aceites lubricantes terminados y puestos en el mercado consumidor. Actualmente los porcentajes de aditivos que puede llevar un aceite van en el orden de un 0.5 a 15%.

Descripción de los principales tipos de aditivos.

TIPO	*NATURALEZA QUIMICA*	*FUNCIÓN*
Dispersante básico	Calcio, bario o phenato de magnesio o silicato	1. Neutralización de ácidos 2. prevención de lacas y formación de depósitos 3. Dispersión de solubles
Dispersante de cenizas	Poli-isobutenol succimide	1. Dispersante de hollín 2. Prevención de lacas y formación de barniz.
Antioxidante	Difosfato de zinc, hindered pherrol, olefín fosfosulforizado, silicato metálico.	Prevención de oxidación y densidad
Aditivo de presión extrema	Ditiofosfato de zinc, fosfato orgánico, sulfuro orgánico y compuesto clorinine.	Prevención del desgaste (camones y metales)
Aditivo anticorrosivo	Calcio, teórico o sulfonato de sodio, amino orgánico.	Prevención de corrosión
Mejorador del índice de viscosidad	Compuesto polimérico, poliéster o hidrocarbones.	Reducción de perdida de viscosidad por aumento de temperatura.
Rebaja del punto pobre Aditivo anti-espuma	Metacrilato polimérico compuesto de silicona	Mejora las propiedades de flujo a bajas temperaturas. Prevención de espuma bajo condiciones de vigorosa agitación

Tabla 2.1 Principales tipos de aditivos.

CAPITULO III

CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES.

Las diferentes clases de mecanismos utilizan diferentes tipos de lubricantes y estos se clasifican de distintas formas, ya sea por su naturaleza, estado físico, según su viscosidad, o por su tipo de servicio.

3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES DE ACUERDO A SU ORIGEN.

Antiguamente los lubricantes fueron basados en aceites animales y aceites vegetales los cuales cumplieron satisfactoriamente los requerimientos de lubricación de motores y maquinas de la época. Como las condiciones llegaron a ser más severas, y tanto las cargas como las velocidades se incrementaron, estos lubricantes pasaron a ser menos adecuados, porque aunque eran excelentes, ellos se oxidaban fácilmente, en especial a altas temperaturas, dando como resultado un aumento en la viscosidad, formación de ácidos, residuos y depósitos gomosos. La llegada del petróleo ofreció una alternativa: aceites minerales, cuyas propiedades físicas y químicas fueron más adecuadas para los nuevos requerimientos.

La clasificación de los aceites de acuerdo a su origen se puede hacer de la siguiente manera.

- Aceites Orgánicos
- Aceites Minerales
- Aceites Sintéticos

  Debido a la importancia de los dos últimos es en estos donde se realizará un mayor énfasis.

3.1.1 *Aceites orgánicos (natural).*

Estos aceites son de base vegetal o animal, los que si son tratados debidamente se pueden obtener buenos resultados, siendo estos los pioneros en el arte de la lubricación, entre ellos tenemos el aceite de Ballena, este ya extinguido por razones obvias, después tenemos el aceite de Girasol que actualmente se ha utilizado incluso para hacer combustibles (de no mucha calidad). Tenemos otros como el aceite de oliva, ricino, etc. Estos resisten bien la presión y el calor pero la temperatura máxima que pueden alcanzar es de 300°C y se congelan a temperaturas no muy bajas.

Debido a la poca importancia de su utilización en la actualidad no se realizara una mayor profundización en el tema.

3.1.2 *Aceites minerales*.

Los aceites lubricantes del tipo mineral son obtenidos principalmente desde el petróleo crudo, el cual esta formado por una mezcla de hidrocarburos (compuesto de carbón e hidrogeno), junto con pequeñas cantidades de sulfuro, nitrógeno, oxigeno y metales como vanadio, níquel e hierro. Los hidrocarburos varían en cuanto a sus propiedades químicas de acuerdo a su estructura molecular, propiedades físicas de acuerdo al tamaño de sus moléculas, variación de estados en los que se encuentra desde gas, líquido hasta sólido. El petróleo crudo varía en propiedad de acuerdo a su contenido relativo de parafínicos, nafténicos (ciclo-parafínicos) e hidrocarburos aromáticos. Las propiedades de los productos provenientes del petróleo, varían similarmente dependiendo en gran medida del tipo de crudo, aunque los métodos modernos de refinería permiten una flexibilidad considerable en la selección del crudo para la manufactura de un determinado tipo de producto.

En la refinería el crudo es separado por destilación en un número determinado de fracciones que son además refinados para producir rangos de petróleo (F.O, D.O, etc.), lubricantes, bitúmenes y ceras. El crudo es destilado primero bajo presión atmosférica, con lo cual, los componentes van hirviendo a 370ºC separándose en fracciones arbitrarias que se evaporan a diferentes rangos de temperatura en forma ascendente dando origen así a lo que son la base de los productos comerciales como; Gases de petróleo, gasolina, kerosén, gas oil, petróleo diesel y aceites calientes. Los residuos de esta destilación pueden ser usados como combustible residual o bien destilarse bajo vacío y obtener otros destilados de los cuales es manufacturado el combustible pesado (fuel oil), aceites lubricantes destilados y ceras parafínicas. De los residuos de la destilación bajo vacío (*short residue*) se obtienen combustibles residuales, aceites lubricantes residuales (*cylinder stoock*), micro ceras y bitúmenes, de acuerdo con el tipo de crudo, el límite que separa cada fracción de las sucesiones primaria, es arbitraria, dependiendo de los requerimientos comerciales y técnicos y no de la constitución química; excepto para gases y algunos hidrocarburos líquidos, que no se han hecho pruebas para aislar los compuestos químicos individuales, sino que las fracciones consisten en mezclas de hidrocarburos

3.1.3 *Aceites sintéticos.*

Los lubricantes sintéticos son productos de una reacción química de componentes de bajo peso molecular que forman moléculas más grandes con propiedades óptimas de comportamientos y con viscosidades adecuadas para ser utilizadas como lubricante.

El aceite sintético o hidrocarburo sintetizado (SHC), es un lubricante diseñado y elaborado para cumplir más eficazmente las necesidades de lubricación. Este se obtiene del polibutano o del propileno y son más estables que los aceites minerales

El término Hidrocarburo sintetizado (SHC), y lubricantes sintéticos, utilizados de la misma forma para describir una familia de aceites y grasas sintéticas que incluyen: aceites circulantes, aceites de engranajes, aceites hidráulicos, grasas y aceites de compresores. Estos lubricantes son utilizados en una gran variedad de aplicaciones industriales. Por definición un lubricante sintético es un lubricante diseñado y elaborado para servir mejor a los propósitos previamente reservados para productos extraídos directamente del petróleo. Los términos sintetizado y sintético, describen los aceites básicos principalmente Polialfaolefinas (PAOs). Adicionalmente, hay otros tipos de aceites básicos que incluyen poliglicoles, ésteres orgánicos, ésteres fosfatados, diésteres, polifenilester, fluorocarbones y siliconas, sólo por mencionar algunos.

Un material sintetizado, es uno producido por combinación química o por construcción de moléculas complejas derivadas de moléculas menos complejas. Los lubricantes sintéticos están hechos de una fracción, durante el proceso de destilación del petróleo. Las bases de lubricantes sintéticos son también producidos de gas etileno. El gas etileno es elaborado durante el proceso de destilación y reacciona para formar moléculas complejas, saturadas, que son utilizadas para la producción de básicos sintéticos.

De acuerdo a esto el lubricante sintético puede clasificarse en las siguientes familias:

- PAO: "Poly Alpha Olefines": son el resultado de una reacción química del etileno que consiste en la reacción de polimerización de compuestos olefínicos. Son multigrados según la clasificación SAE para motor y cajas de cambio, y su punto de congelación es muy bajo. También son conocidos como Hidrocarburos de síntesis, por ser "construidos" artificialmente con productos procedentes del crudo petrolífero. Se aplican en aceites de uso frigorífico por su propiedad de continuar fluidos a muy baja temperatura. Si comparamos éste con un aceite mineral tiene un mayor índice de viscosidad y una mejor resistencia a la oxidación.
- Ésteres orgánicos: Se obtienen también por síntesis, es decir, de forma artificial, pero sin la participación de productos petrolíferos. Al contrario de las bases anteriormente mencionadas, los Esteres son producto de la reacción de esterificación entre productos de origen vegetal, tales como alcoholes y ácidos grasos de origen vegetal. Son Multigrados y tienen una capacidad lubricante extraordinaria.
- Ésteres fosfóricos: son producto de la reacción de óxidos fosfóricos y alcoholes orgánicos. Su alto costo hace que su uso quede restringido a los fluidos hidráulicos resistentes al fuego en aplicaciones muy específicas. Tienen un muy buen poder lubricante y antidesgaste.

A diferencia de los aceites minerales, que son una mezcla compleja de hidrocarburos producidos naturalmente, los básicos sintéticos son productos elaborados en su mayoría con la misma molécula en configuración y tamaño.

Los aceites básicos producidos por la naturaleza a partir del petróleo, carecen de una estructura molecular y varían dependiendo de la calidad y la procedencia del crudo. Los aceites sintetizados, no varían, lo que mejora su habilidad para desempeñarse en un amplio rango de temperaturas. Adicionalmente su tamaño y su estructura uniforme, los fluidos sintéticos, tienen también idénticas uniones moleculares muy fuertes y una estructura saturada. Debido a que la síntesis es hecha de un gas, los sólidos como las ceras, no son contenidas en los productos finales, como sucede en los procedimientos para elaborar bases tradicionales. Además, los sintéticos tienen un inherente alto índice de viscosidad, lo que hace que se adelgace menos con altas temperaturas y que se engruese menos en las bajas temperaturas.

Lubricantes sintéticos marinos**.**

Luego de una exitosa experiencia de los lubricantes sintéticos en el mercado de las industrias aeronáuticas y automovilísticas, se introdujo a la industria naval, esto obligó a los proveedores a disponer de sus productos en los principales puertos alrededor del mundo.

Los armadores se han dado cuenta de los beneficios económicos en los costos de operación y mantención que pueden obtenerse al utilizar lubricantes sintéticos, debido a que al ser utilizados proporcionan un menor coeficiente de fricción, el cual influye en los costos de operación y al existir un menor desgaste el equipo requiere una menor mantención, otros beneficios serán mencionados a continuación.

Hay que señalar que los lubricantes sintéticos no pretenden reemplazar a los minerales en todas sus aplicaciones, solo en los equipos en los cuales se ha demostrado beneficios reales, sean estos técnicos, económicos o ambos.

Beneficios esperados.

Se pueden nombrar algunas ventajas entregados por los lubricantes sintéticos frente a los minerales.

Mayor fluidez y bombeabilidad a bajas temperaturas.

La tabla 3.1 nos entrega la comparación de propiedades de dos aceites Mobil SAE 40 para motores marinos diseñados para el uso con combustibles destilados, se puede ver claramente que el aceite sintético Mobilgard SHC 120 sobresale lejos con 38°C más bajos en el punto de congelación y menos de ½ con la viscosidad a temperaturas de 0°C y -10°C. Ventajas similares a bajas temperaturas presentan el lubricante sintético en relación con aceites hidráulicos.

	TIPO DE ACEITE	
CARACTERÍSTICA	**Mobilgard 412**	**Mobilgard SHC 120**
VISCOSIDAD SAE	*40*	*40*
Numero Basico Total	15	12 – (15)
Indice de viscosidad	100	140
Punto de congelación, °C	-12	-50
Centistokes a 0°C	2,500	1,100
Centistokes a 10 °C	7,000	2,900

Tabla 3.1 Comparación entre los aceites Mobilgard 412 (mineral) y Mobilgard SHC 120 (sintético)

Mayor Viscosidad y retención de la película de aceite a altas temperaturas.

Cuando se entregan las propiedades de los lubricantes sintéticos Mobil SHC a bajas temperaturas, existe un aumento natural del índice de viscosidad, el que además ayuda a la continuidad de la lubricación y, en el caso de los aceites hidráulicos, efectivamente un aumento de la transmisión de poder cuando es usado a altas temperaturas. La tabla 3.2 ilustra la mejor retención de viscosidad comparando nuevamente el lubricante Mobilgard 412 con Mobilgard SHC 120. Mientras ambos aceites son SAE 40, a 200°C la experiencia en las paredes de los cilindros de los motores en la posición más alta a la que llegan los anillos, el lubricante SHC 120 provee un 10% más de viscosidad. A 225°C, vemos en algunos de los nuevos motores de alta concentración de poder, el lubricante sintético entrega una gran protección la que continúa cuando se incrementa la temperatura.

	TIPO DE ACEITE	
CARACTERÍSTICA	**Mobilgard 412**	**Mobilgard SHC 120**
VISCOSIDAD SAE	*40*	*40*
Índice de viscosidad	100	140
Centistokes a 100°c	14	14
Centistokes a 200°c	2.7	3.0 (1)
Centistokes a 225°c	2.1	2.4 (1)

Tabla 3.2. Comparación entre los aceites Mobilgard 412 (mineral) y Mobilgard SHC 120 (sintetico)

Menor generación de calor en la zona de contacto y menor perdida de energía.

Debido a que existe un único tipo de estructura molecular en los lubricantes sintéticos, menos energía es consumida moviendo las moléculas pasando una a otra a la zona de carga, esto es una disminución en el coeficiente de fricción. La energía perdida dentro de la película del lubricante en la generación de calor disminuye, debido a que los lubricantes sintéticos son capaces de reducir la temperatura de operación producto de una insatisfactoria película de lubricación a una disminución del nivel de temperatura donde se puede realizar una lubricación exitosa. La disminución de la temperatura de operación puede ser extendida a la fatiga del metal. El gráfico 3.3 muestra para ambos casos el consumo de energía y temperatura el aumento en algunas altas cargas antifricción en cojinetes, usando primero lubricantes minerales y luego sintéticos. Hay que notar la gran reducción en la pendiente utilizando lubricantes sintéticos en la temperatura y en el consumo de energía eléctrica.

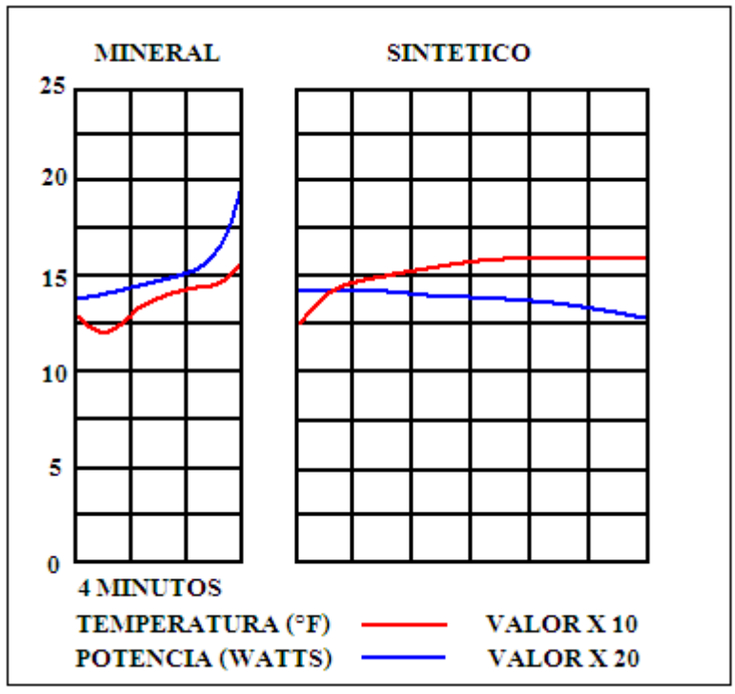

Gráfico 3.3 Reducción del consumo de potencia y disminución de temperatura con la utilización de aceite sintético.

Mayor protección ante depósitos a altas temperaturas.

Para una lubricación eficaz, el aceite debe, primero ser capaz llegar a los lugares que se desean lubricar, segundo debe evitar la formación de depósitos que podrían perjudicar la operación. Se considera al calor como el verdadero enemigo de la vida útil de los lubricantes y la limpieza de los equipos, una de las áreas donde los lubricantes sintéticos pueden dejar fuera a los minerales en la estabilidad térmica y a la oxidación.

La oxidación contribuye a aumentar la viscosidad del aceite lo que puede causar que un lubricante quede “fuera de grado” y disminuya la fluidez. Esta oxidación puede ser resultado de

la formación de barniz y laca proveniente de los anillos, válvulas (motor a combustión) y de partes móviles. El gráfico 3.4 muestra la tendencia de la resistencia de la viscosidad de un lubricante en un motor marino usando un aceite mineral premium SAE 40 y uno usando componentes sintéticos. La extrema diferencia entre el porcentaje de la resistencia de la viscosidad entre los dos aceites se debe a una severa prueba de oxidación.

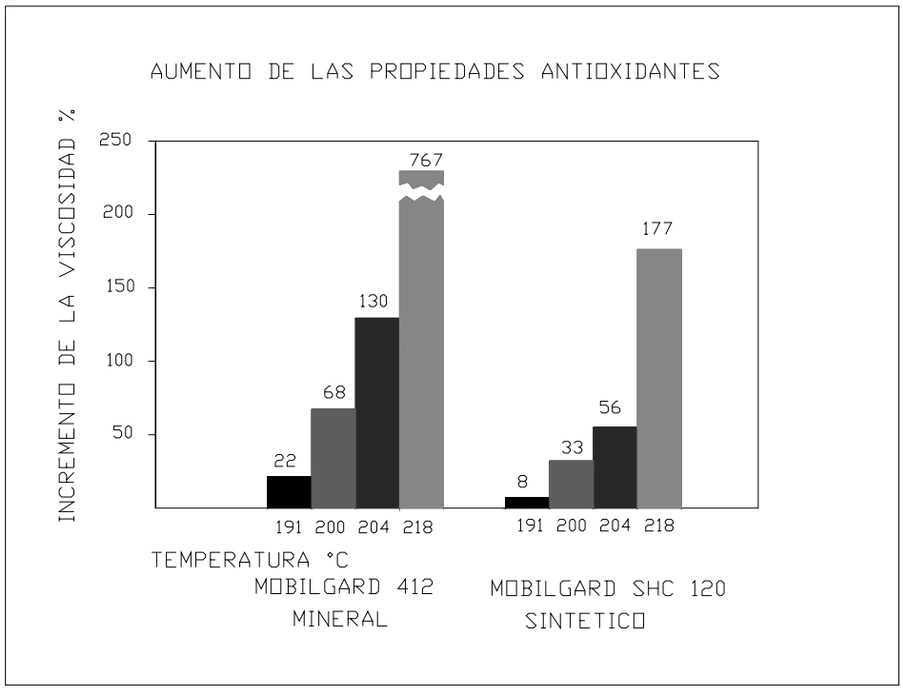

Grafico 3.4 Aumento de las propiedades antioxidantes

Seguridad frente a altas temperaturas.

En algunos equipos en los cuales se presenten condiciones de alta temperatura es necesario que el aceite entregue seguridad, debido a la posibilidad de incendios. El aceite sintético presenta una mayor seguridad debido a que prácticamente no forma depósitos y poseen una temperatura de auto ignición y una temperatura de inflamación más elevada. Como por ejemplo el aceite Gargoyle Artic SHC 224 que es un aceite para compresores frigoríficos posee un punto de inflamación de 218 °C.

3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES SEGÚN SU VISCOSIDAD.

Los primeros aceites lubricantes eran sin aditivos y se clasificaron solamente por su viscosidad. Los grados SAE (*Society of Automotive Engineers*) se aceptaron de manera universal para sustituir a los primeros términos “ligero”, “medio” y “pesado”, Fluido semifluido viscoso que suelen utilizarse en las refinerías de petróleo para distinguir el grado de viscosidad de las fracciones lubricantes y que por no tener en cambio una definición universalmente aceptada pueden representar a productos de viscosidad sensiblemente diferentes.

La clasificación SAE se basa solamente en la viscosidad del aceite a una temperatura determinada sin que se tenga en cuenta ninguna otra consideración. Los progresos de la industria del motor fueron poniendo exigencias que no pudieron ser satisfechas ni aun por los aceites de mejor calidad, y en el año 1935 aparecieron en el mercado lubricantes que contenían aditivos detergentes. Estos primeros aceites detergentes tenían algunas limitaciones por su tendencia a acentuar la corrosión de algunas de las aleaciones utilizadas en los cojinetes de biela, por lo que para evitar este inconveniente, pronto se introdujeron aditivos antioxidantes e inhibidores de la corrosión en las formulaciones de las exigencias del motor.

La nueva situación hizo insuficientes las clasificaciones que sólo tenían en cuenta la viscosidad, y para complementar las designaciones SAE de forma que la composición del aceite quedara también de alguna manera reflejada en el Instituto Americano del petróleo (API) introdujo los términos “Regular”, “Premium” y “Heavy Duty”, o “HD” (Servicio Severo). El primero quedaba reservado para los aceites que no contenían aditivos antioxidantes ni detergentes; aceites “Premium” eran aquellos que contenían aditivos antioxidantes, y aceites “HD”, los que contenían aditivos detergentes. De la misma manera que a los aceites “HD” se les incorporó también aditivos antioxidantes, la denominación “Premium” pronto tomo un carácter más amplio para incluir aceites que, aunque inhibidos en principio particularmente contra la oxidación, podían también tener cierto poder de detergencia. La tendencia a ir elevando dicho nivel unos y otros aceites, condujo a la existencia de una gran diversidad de grados, por lo que en el año 1952 el citado Instituto consideró oportuno definir unos tipos de servicio que permitieran una elección más racional de lubricante con arreglo a determinadas exigencias. De esta manera se introdujeron seis designaciones que se conocen con el nombre de Clasificaciones de Servicio API. Esta nueva clasificación utiliza los términos ML, MM y MS para designar por tipos de servicio los cuales son, ligero, moderado y severo, respectivamente, en motores de gasolina, y DG, DM y DS para el servicio en motores Diesel.

La nueva clasificación API no se basa solamente en la composición de los aceites, sino en las propias condiciones de lubricación, tal como pueden venir determinadas por la concepción de los motores, por su forma de utilización y por las calidades del combustible o carburantes empleados.

A continuación se dan algunas indicaciones sobre las mencionadas designaciones, que han venido a aceptarse en la mayor parte de los países como termino de referencia para representar a los distintos tipos de servicio de los motores.

3.2.1 CLASIFICACIÓN EN GRADOS SAE.

Desde 1911 la Sociedad de Ingenieros Automotrices de los Estados Unidos (SAE) ha establecido distintas clasificaciones de viscosidad de los aceites para motor, destinadas a ser usadas por los fabricantes de motores en el momento de determinar los grados de viscosidad a ser recomendados en sus productos y por los fabricantes de lubricantes en la formación e identificación de sus aceites. Esta clasificación de viscosidades puede verse en la tabla 3.6. donde se definen dos grupos de viscosidades: aquellos que están seguidos por la letra W (winter, invierno en ingles) y aquellos que no contienen esa letra.

Grado SAE de viscosidad	Viscosidad (cP) máx. a baja temperatura.	Viscosidad (cP) máx. de bombeo a baja temperatura	Viscosidad (cSt) a 100°C	
			MIN	MAX
0W	3250 a -30	-35	38	_
5W	3500 a -25	-30	38	_
10W	3500 a -20	-25	4,1	_
15W	3500 a -15	-20	5,6	_
20W	4500 a -10	-15	5,6	_
25W	6000 a -5	-10	9,3	_
20	-	-	5,6	menos de 9,3
30	-	-	9,3	menos de 12,5
40	-	-	12,5	menos de 16,3
50	-	-	16,3	menos de 21,9

Tabla 3.6 Grados de clasificación SAE

Nota: 1cP = 1m Pa.s 1 cSt = 1 mm^2/s

Para los grados de viscosidad W se establecen los siguientes requisitos:

Bombeo máximo sin esfuerzo de corte.

Esta es una medida de la capacidad de un aceite para fluir hasta la entrada de la succión de aceite y proveer una adecuada presión de aceite durante las etapas iniciales de operación. Esta temperatura se determina mediante el método ASTM D3829 “Test method for determination of yield stress and apparent viscosity of engine oils at low temperature”. Esta medición se realiza en un viscosímetro especial denominado el Mini-Viscosímetro Rotativo o MRV, el cual mide o bien la existencia de esfuerzo de fluencia o la viscosidad en la ausencia de medición de esfuerzo de fluencia después de haber enfriado la muestra por medio de un ciclo de enfriamiento prescrito (también llamado TP1).

Viscosidad máxima a una temperatura determinada

Esta viscosidad se expresa en centipoises (cP) y se determina utilizando una versión multi temperatura del método ASTM D2602, método de ensayo de la viscosidad aparente de los aceites para motor a bajas temperaturas, utilizando el simulador de arranque en frío.

Se ha determinado que existe correlación entre las viscosidades medidas por este método y la velocidad de giro del motor durante el arranque a bajas temperaturas y por ende con la facilidad de encender el motor en estas condiciones.

Viscosidad mínima a alta temperatura.

Para cada uno de los grados W se especifica sólo una viscosidad mínima en centistokes (cSt) a 100ºC.

Para los grados restantes 20, 30, 40, 50 y 60 se establece una viscosidad mínima y máxima (en cSt) a 100ºC.

Es posible, si embargo, formular aceites que satisfagan simultáneamente los requerimientos de uno de los grados W y cuya viscosidad a 100ºC se encuentre dentro del intervalo definido para uno de los grados sin W. Estos son los denominados aceites "Multigrados".

Los aceites multigrados son aceites para motores que cumplen los requisitos de más de una clasificación de grado SAE de viscosidad, y por lo tanto pueden ser adecuados para utilizarse con un rango de temperaturas más amplio que un aceite monogrado. Estos aceites tienen dos números de grado de viscosidad que indican su clasificación más alta y más baja. Ejemplo SAE 10W40. El número de grado menor indica la fluidez relativa del aceite con tiempo frío para una partida fácil y flujo inmediato de aceite. La "W" significa *winter*, invierno en ingles, el número más alto indica la viscosidad relativa a temperaturas operativas mayores para la protección adecuada

3.2.2 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN API PARA ACEITES DE MOTOR.

Clasificación API (*American Petroleum Institute*) de servicio en motor de Combustión Interna, para la guía en la selección de los aceites para motor. Existe además la clasificación para el servicio de motores a gasolina, pero debido a su escaso uso en el ámbito naval, no se entregaran mayores detalles.

"C" Encendido por compresión.

CA para servicio de motores Diesel de trabajo ligero – Servicio típico de motores diesel operados en trabajo ligero o moderado, con combustibles de alta calidad y ocasionalmente se han

incluido motores a gasolina en servicio ligero. Los aceites para este servicio proveen protección contra la corrosión de cojinetes y formación de depósitos en las ranuras de los anillos en algunos motores diesel de aspiración natural cuando usan combustibles de tal calidad que no imponen requerimientos extraordinarios para la protección contra el desgaste y depósitos. Estos se usaron mucho a fines de los años 40 y 50, pero no deberán ser usados en cualquier motor a menos que sean recomendados específicamente por el fabricante.

CB para servicio de motores diesel de trabajo moderado – Servicio Típico de motores diesel operados en trabajo ligero a moderado, pero con combustibles de más baja calidad que los utilizados en la clasificación anterior, los cuales necesitan más protección contra el desgaste y la formación de depósitos. Ocasionalmente, se han incluido motores a gasolina en servicio ligero. Los aceites designados para este servicio proveen la protección necesaria contra la corrosión de cojinetes y depósitos a alta temperatura en motores diesel de aspiración natural usando combustibles con alto contenido de azufre. Los aceites designados para este servicio fueron introducidos en 1949.

CC para servicio en motores diesel y gasolina – Servicio típico para algunos motores diesel de aspiración natural, turbo sobrealimentados o sobrecargados operados en servicios de trabajo moderados a severos y ciertos motores a gasolina de trabajo pesado. Los aceites designados para este servicio proveen protección contra depósitos a alta temperatura y corrosión de cojinetes en motores diesel, y también protegen contra la herrumbre, corrosión y depósitos a baja temperatura en motores a gasolina. Estos aceites fueron introducidos en 1961.

CD para servicios en motores diesel - Servicio típico de algunos motores diesel de aspiración natural turbo sobrealimentados o sobrecargados en trabajo severo cuando usan combustibles de un amplio rango de calidad, incluyendo a los combustibles con alto contenido de azufre, donde el control efectivo contra el desgaste y depósitos son altamente vitales. Los aceites designados para este servicio fueron introducidos en 1955 y proveen protección contra la corrosión y depósitos a alta temperatura en motores diesel.

CD-II para servicio en motores diesel de dos tiempos – Servicio típico en motores diesel de dos tiempos que operan en condiciones severas. Los aceites designados para este servicio también cumplen con los requisitos de la categoría CD y pasan la prueba 6V-53T de Detroit diesel.

CE para servicio en motores diesel - Servicio típico en motores diesel de trabajo pesado turbo sobrealimentados y sobrecargados fabricados desde 1983 y operando bajo condiciones de baja velocidad y alta carga, y de alta velocidad y alta carga. Los aceites designados para este servicio

también pueden ser usados en donde se recomienden otras categorías anteriores para motores diesel.

CF Servicio en motores diesel de inyección directa e indirecta – Aceites para servicio típico en motores diesel con inyección directa e indirecta. Fueron diseñados para ser usados en motores diesel que utilizan un amplio rango de tipos de combustibles, incluyendo aquellos con alto contenido de azufre (sobre 0,5). La mantención de un control efectivo de los depósitos y desgastes del pistón y del cobre producido por la corrosión de rodamientos, es esencial en estos motores, los cuales pueden ser de aspiración natural, turbo sobrealimentados o sobrecargados. Los aceites para este servicio fueron introducidos en 1994 y pueden ser usados también cuando se recomienda la categoría CD.

CF-2 para servicio pesado en motores diesel de 2 tiempos - Aceites de servicio típico para motores diesel de dos tiempos que requieran un control efectivo sobre depósitos en anillos y ralladuras en los cilindros. Los aceites diseñados para este servicio están disponibles desde 1994 y pueden ser utilizados también cuando se recomienda la categoría CD II. Estos aceites no cubren necesariamente los requisitos de las categorías API CF o CF4, a menos que se indique explícitamente el cumplimiento de ellas.

CF-4 para servicio en motores Diesel - Servicio típico para motores diesel de trabajo pesado, de 4 tiempos y alta velocidad, turbo sobrealimentados y sobrecargados fabricados desde 1990, particularmente en tractores, camiones y autobuses en servicio de carretera. Los aceites CF-4 exceden los requerimientos de los aceites de categoría CE y están diseñados para reemplazarlos. Los aceites CF-4 también pueden utilizarse en reemplazo de las anteriores categorías CD y CC. La nueva categoría CF-4 provee mejor control de consumo de aceite y depósitos en los pistones.

CG-4 para servicio en motores Diesel – La categoría de servicio API CG-4, describe los aceites para uso en motores diesel de 4 tiempos de alta velocidad usados en aplicaciones tanto en vehículos de carretera de servicio pesado (0.05% en peso de azufre en el combustible). Los aceites CG-4 proveen de un control efectivo de depósitos del pistón a altas temperaturas, desgaste, corrosión, espumación, estabilidad a la oxidación y acumulación de hollín. Estos aceites son especialmente efectivos para motores diseñados para cumplir con los estándares de emisión de gases de 1994 y pueden ser usados también en motores que requieren categorías de servicio API, CD, CE y CF-4.

3.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES DE ACUERDO A SU CONSISTENCIA.

Los lubricantes pueden clasificarse además de acuerdo a su consistencia en aceites y grasas, a continuación se entregan las principales características de las grasas.

3.3.1 GRASAS LUBRICANTES.

Se define grasa lubricante como una dispersión semilíquida a sólida de un agente espesante en un líquido (aceite base). Consiste en una mezcla de aceite mineral o sintético (85-90%) y un espesante. Al menos en el 90% de las grasa, el espesante es un jabón metálico, formado cuando un metal hidróxido reacciona con un ácido graso. Un ejemplo es el estearato de litio (jabón de litio).

Cuando la grasa tiene que contener propiedades especiales, se incluyen otros constituyentes que actúan como inhibidores de la oxidación y mejoradores de la película lubricante. Combinando el jabón, aceite o aditivo, se pueden producir diferentes calidades de grasas para una amplia gama de aplicaciones.

Las principales propiedades de las grasas son las siguientes, se quedan adheridas en el lugar de aplicación, proveen un sello y un espesor laminar extra.

La grasa se emplea generalmente en aplicaciones que funcionan en condiciones normales de velocidad y temperatura. La grasa tiene algunas ventajas sobre el aceite. Por ejemplo, la instalación es más sencilla y proporciona protección contra la humedad. Las desventajas que presenta son la dificultad a disipar el calor, la película de grasa atrapa impurezas y no las expulsa.

Generalmente se utiliza en la lubricación de elementos tales como cojinetes de fricción y antifricción, levas, guías, cadenas, engranajes abiertos y algunos rodamientos.

Clasificación de las grasas lubricantes.

Las grasas se pueden clasificar de acuerdo al tipo de jabón empleado en su formación debido a que este le entrega sus principales características. Los tipos de grasa más comunes emplean como espesante un jabón de calcio (Ca), sodio (Na), o litio (Li).

Grasas cálcicas (Ca).

Las grasas cálcicas tienen una estructura suave, de tipo mantecoso, y una buena estabilidad mecánica. No se disuelven en agua y son normalmente estables con un 1 a 3% de agua. En otras condiciones el jabón se separa del aceite de manera que la grasa pierde su consistencia normal y pasa de semilíquida a líquida. Por eso no se debe utilizar en mecanismos cuya temperatura sea mayor a 60ºC. Las grasas cálcicas con aditivos de jabón de plomo se

recomiendan en instalaciones expuestas al agua a temperaturas de hasta 60ºC. Algunas grasas de jabón calcio-plomo también ofrecen buena protección contra el agua salada, y por ello se utilizan en ambientes marinos. No obstante, existen otras grasas cálcicas estabilizadas por otros medios distintos del agua; éstas se pueden emplear a temperaturas de hasta 120ºC; por ejemplo, grasas cálcicas compuestas.

Grasas sódicas (Na).

Las grasas sódicas se pueden emplear en una mayor gama de temperaturas que las cálcicas. Tienen buenas propiedades de adherencia y obturación. Las grasas sódicas proporcionan buena protección contra la oxidación, ya que absorben el agua, aunque su poder lubricante decrece considerablemente por ello. En la actualidad se utilizan grasas sintéticas para alta temperatura del tipo sodio, capaces de soportar temperaturas de hasta 120ºC.

Grasas líticas (Li).

Las grasas líticas tienen normalmente una estructura parecida a las cálcicas; suaves y mantecosas. Tienen también las propiedades positivas de las cálcicas y sódicas, pero no las negativas. Poseen una buena capacidad de adherencia a las superficies metálicas y una excelente estabilidad a alta temperatura.

La mayoría de las grasas líticas se pueden utilizar en una gama de temperaturas más amplia que las sódicas. Las grasas líticas son muy poco solubles en agua; las que contienen adición de jabón de plomo, lubrican relativamente, aunque estén mezcladas con mucho agua. No obstante, cuando esto sucede, están de alguna manera emulsionadas, por lo que en estas condiciones sólo se deberían utilizar si la temperatura es demasiado alta para grasas de jabón de calcio-plomo, esto es, 60ºC.

Grasas de jabón compuesto.

Este término se emplea para grasas que contienen una sal, así como un jabón metálico, usualmente del mismo metal. Las grasas de jabón de calcio compuesto son las más comunes de este tipo, y el principal ingrediente es el acetato cálcico. Otros ejemplos son compuestos de Li, Na, Ba (Bario), y Al (Aluminio). Las grasas de jabón compuesto permiten mayores temperaturas que las correspondientes grasas convencionales.

Grasas espesadas con sustancias inorgánicas.

En lugar de jabón metálico se pueden emplear distintas sustancias inorgánicas como espesantes, por ejemplo, bentonita y gel de sílice. La superficie activa utilizada sobre partículas de estas sustancias absorbe las moléculas de aceite. Las grasas de este grupo son estables a altas

temperaturas y son adecuadas para aplicaciones de alta temperatura; son también resistentes al agua. No obstante, sus propiedades lubricantes decrecen a temperaturas normales.

Grasas sintéticas.

En este grupo se incluyen las grasas basadas en aceites sintéticos, tales como aceites ésteres y siliconas, que no se oxidan tan rápidamente como los aceites minerales. Las grasas sintéticas tienen por ello un mayor campo de aplicación.

Se emplean distintos espesantes, tales como jabón de litio, bentonita y PTFE (teflón). A menudo, estas grasas sintéticas tienen poca resistencia al rozamiento a bajas temperaturas, en ciertos casos por bajo de -70º C.

Grasas para bajas temperaturas.

Tiene una composición tal que ofrecen poca resistencia, especialmente en el arranque, incluso a temperaturas tan bajas como -50º C. la viscosidad de estas grasas es pequeña, de unos 15mm²/s a 40º C.

Grasas para medianas temperaturas.

Las llamadas grasas ¨multi-uso¨ están en este grupo. Se recomiendan para equipos con temperaturas de -30 a +110º C; por esto, se puede utilizar en la gran mayoría de los casos.

La viscosidad del aceite base debe estar entre 75 y 220mm²/s a 40º C.

Grasas para altas temperaturas.

Estas grasas permiten temperaturas de hasta 150ºC. Contienen aditivos que mejoran la estabilidad a la oxidación. La viscosidad del aceite base es normalmente de unos 110mm²/s a 40º C, no debiéndose exceder mucho ese valor, ya que las grasas se pueden volver relativamente rígidas a temperatura ambiente y provocar aumento del rozamiento.

Grasas extrema presión (EP).

Normalmente una grasa EP contiene compuestos de azufre, cloro ó fósforo y en algunos casos ciertos jabones de plomo. Con ello se obtiene una mayor resistencia de película lubricante, esto es, aumenta la capacidad de carga de la película lubricante. Tales aditivos son necesarios en las grasas para velocidades muy lentas y para elementos medianos y grandes sometidos a grandes tensiones. Funcionan de manera que cuando se alcanzan temperaturas suficientemente altas en el exterior de las superficies metálicas, se produce una reacción química en esos puntos que evita la soldadura.

La viscosidad del aceite base es de unos 175mm²/s (máx. 200mm²/s) a 40º C. En general, las grasas EP no se deben emplear a temperaturas menores de -30º C y mayores de +110º C.

Grasas antiengrane (EM).

Las grasas con designación EM contienen bisulfuro de molibdeno (MoS_2), y proporcionan una película más resistente que los aditivos EP. Son conocidas como las ¨antiengrane¨. También se emplean otros lubricantes sólidos, tales como el grafito.

Aditivos en las grasas lubricantes.

Para obtener una grasa con propiedades especiales, se incluyen a menudo uno o más aditivos. Los principales aditivos utilizados en las grasa lubricantes son los siguientes:

Los aditivos antidesgaste.

Mejoran la protección que la propia grasa ofrece. Es especialmente importante que el equipo en contacto esté bien protegido contra la oxidación si funciona en ambientes húmedos.

Aditivos antioxidantes.

Retrasan la descomposición del aceite base a alta temperatura. Esto da lugar a mayores intervalos de relubricación, manteniendo bajos los costos.

Los aditivos EP (extrema presión).

Por ejemplo jabones de plomo y compuestos de azufre, cloro o fósforo, aumentan la capacidad de carga de la película.

Los aditivos estabilizadores.

Este tipo de aditivo hace posible el espesado de aceite base con jabones con los que no forma compuestos fácilmente. Generalmente, sólo se precisa poca cantidad, por ejemplo, la grasa cálcica tiene un 1 a 3% de agua como estabilizador.

CAPITULO IV

SISTEMAS DE LUBRICACIÓN.

4.1 FORMAS DE APLICACIÓN DE LOS LUBRICANTES.

Existen varias formas o métodos de aplicación de los lubricantes, los que dependen del diseño de la maquinaria, de que se pretende lubricar, las cargas que se transmiten o de la operación. De este modo para satisfacer las diferentes necesidades existen distintos sistemas de lubricación los que son: por circulación forzada, por barboteo, y por gravedad.

4.1.1. Lubricación por circulación forzada.

Es el sistema utilizado con mayor frecuencia, en el cual debe existir un flujo de lubricante constante. Este tipo de sistema esta compuesto por una bomba la cual se encarga de entregar presión y velocidad al lubricante y a través de las líneas o vías de lubricación, por donde el aceite llega a puntos determinados en el sistema donde se requiere lubricar, después de esto el aceite lubricante escurre hasta un estanque desde donde es nuevamente succionado por las bombas para reiniciar el circuito. Este sistema requiere aceites que puedan trabajar durante largos períodos de tiempo, sin alterar sus características, dependiendo del sistema y las condiciones de trabajo la duración de este período.

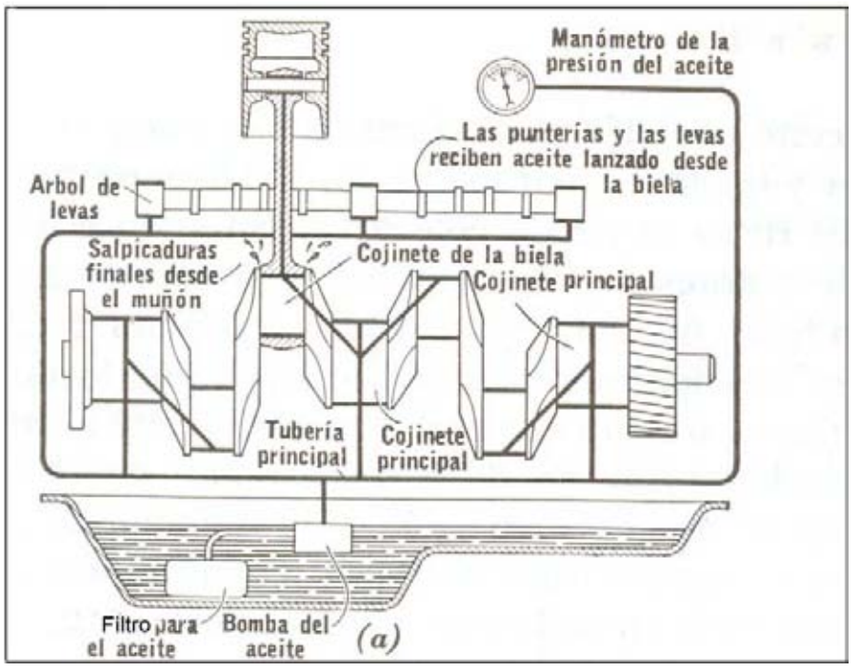

Figura 4.1 Sistema de lubricación forzada.

4.1.2 Lubricación por barboteo.

Este sistema de lubricación es bastante simple, se emplea en motores de cárter húmedo, donde el nivel de aceite dentro del cárter alcanza al eje cigüeñal, y al ponerse en funcionamiento el motor, los elementos sumergidos en el aceite salpican el aceite a los elementos superiores. En la figura 4.2 se puede apreciar un sistema mixto, donde una bomba mantiene un nivel de aceite, y por medio de un lubricador salpica aceite hacia la biela.

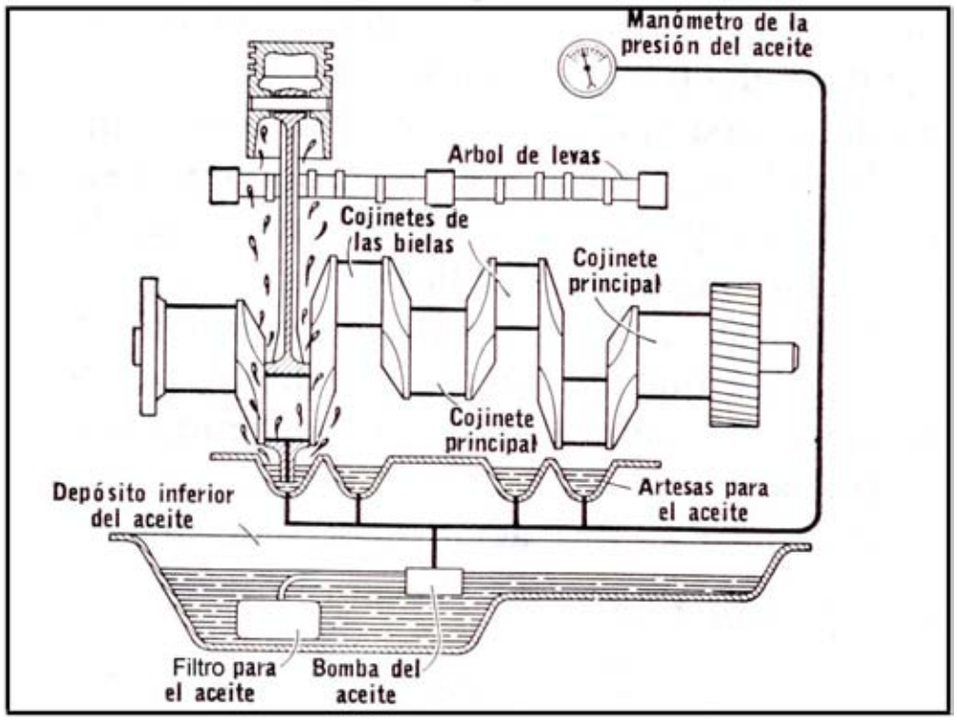

Figura 4.2 Sistema de lubricación por barboteo.

4.1.3. Lubricación por gravedad.

En este sistema de lubricación se suministra el aceite de manera constante, gota a gota, permitiendo así que el exceso gotee fuera del motor a un ritmo que se espera no supere la cantidad administrada. Esto comúnmente recibe el nombre de “lubricación por desperdicio”, ya que el aceite simplemente se pierde.

El aceite se suministra al motor a través de un alimentador de lubricante a goteo por gravedad.

Este sistema de lubricación era utilizado antiguamente para la lubricación de motores pequeños.

4.2 EQUIPOS UTILIZADOS A BORDO Y SU LUBRICACIÓN.

El uso del lubricante a bordo seria más simple y más económico si un aceite o una grasa pudiesen utilizarse para satisfacer todas las necesidades a bordo, lo que no es así, por lo que es necesario un tipo de aceite diferente para cada maquinaria o sistema, aún cuando los equipos de similares características pero de distintas manufacturación requieren distintos lubricantes.

En la lubricación marina hay que mirar el rango de los lubricantes en una selección cuidadosa, puede asegurar que los equipos desde proa a popa estén libres de problemas en los barcos.

Los lubricantes marinos promedios son los siguientes:

- Aceite para cilindros de motor con cruceta.
- Aceite para sistemas de motor con cruceta.
- Aceite para motores sin cruceta.
- Aceite para motores Diesel de alta velocidad.
- Aceite para turbina.
- Aceite hidráulico.
- Aceite para engranaje.
- Aceite para compresores de aire.
- Aceite para compresores de refrigeración.
- Aceite para compresores LPG.
- Lubricantes para engranajes descubiertos.
- Grasas.
- Preventivos de oxidación.
- Aceites sintéticos.

La mayoría de estos lubricantes vienen en una variedad de grados de viscosidad S.A.E e I.S.O y un rango de T.B.N.

- Los aceites para motores están disponibles con un T.B.N. entre un rango de 5 a 85 mg KOH y en grados de viscosidad S.A.E de 30, 40, 50 y 15W50.
- Aceites hidráulicos, de engranaje, de turbina y compresores están disponibles en diferentes grados de viscosidad I.S.O en un rango desde I.S.O 15 hacia arriba hasta 680 o incluso más alto.
- Las grasas están disponibles en diferentes propiedades y consistencias.
- Además, existe un número de lubricantes que están disponibles, en versiones minerales y sintéticos.

Un ejemplo de la cantidad de aceites usados a bordo es la siguiente carta de lubricación de buque en particular, la cual se basa en los distintos requerimientos de aceite por las maquinarias a bordo y el tipo de aceite recomendado por un fabricante de aceite.

Armador: C.S.A.V	Buque: M/V IMPERIAL
Dirección: VALPARAISO	Fecha: 2002

Equipo y parte a ser lubricado		Lubricante recomendado
MOTOR PRINCIPAL		
Motor Principal Manufact: MAN B&W Tipo: 6L42MC Potencia: 3.510 BHP Rev: 153 rpm	Cilindros Sist. de circulación de aceite Sist. de enfriamiento de pistones	MOBILGARD 570 MOBILGARD 300 MOBILGARD 300
Turbo sobrealimentador Manufact: MAN B&W Tipo: NA 40/TO 740	Sist. de lubricación	MOBIL DTE OIL 16M
Sistema de camones Manufact: MAN B&W	Sist. de lubricación	MOBILGARD 300
Governor Manufact: WOODWAR Tipo: PGA	Hidraulico	MOBIL RARUS SHC 1026
Virador Manufact: RUSIA/GETRIVE NORD Tipo: 7232100S/90 A-4 BRE4	Gear box Sist. de operación hidráulico	MOBILGEAR 630 MOBILTAC 375 NC
Línea de eje Manufact: GALAST SHIPYARD Tipo:	Sistema de lubricación	MOBILGARD 300
Puerta de sello del túnel: Manufact: GALAST SHIPYARD	Sist. de operación hidráulico	MOBIL DTE OIL 15M
Tubo codaste Manufact: GALAST SHIPYARD	Eje propulsor	MOBILGARD 300
GENERADORES AUXILIARES		
Motor generador auxiliar (3) Manufact: MAN B&W CXZ Tipo: 6L20/27 Potencia: 510 KW Revoluciones: 1000 rpm	Cilindros y descansos	MOBILGARD 312
Governor Manufact: WOODWARD	Sist. hidraulico	MOBILGARD 312

Turbosobrealimentador.			
Manufact:	MAN B&W		
Tipo:	NR 15/135	Sist. de lubricación	MOBILGARD 312
Generador Disel de emergencia			
Manufact:	DONG FENG CHINA		
Tipo:	6135 JZD	Sist. de lubricación	MOBILGARD 312
	EQUIPOS AUXILIARES.		
Compresores de aire principales (3).			
Manufact:	HAMWORTY ENG.		
Tipo:	27TF54	Cilindros y descansos	MOBIL RARUS 827
Compresor de emergencia.			
Manufact:	HAMWORTY ENG.		
Tipo:	2 SM 10 A 4	Cilindros y descansos	MOBIL RARUS 827
Compresor de aire acondicionado.			
Manufact:	SABROE DINAMARCA.		
Tipo:	CMO 26 F 22	Cilindros y descansos	GARGOYLE ARTIC OIL 300
Grúa de la sala de maquinas.			
Manufact:	SC Menaron		
Tipo:	EM 5032	Gear box	MOBILGEAR 630
Compresor de aire acondicionado de la sala de control			
Manufact:	DAIKIN INDUSTRIES CO.		
Tipo:	US 5 FC	Cilindros y descansos	GARGOYLE ARTIC OIL 300
Compresor cámaras frigoríficas.			
Manufact:	SABROE DINAMARCA.		
Tipo:	55/49 X4 CYL	Cilindros y descansos	GARGOYLE ARTIC OIL 300
Purificador de F.O (2)			
Manufact:	ALFA LAVAL SAPAIN		
Tipo:	MOPX 205 TGT 24/50	Engranajes	MOBIL SHC 630
Purificador de L.O (2)			
Manufact:	ALFA LAVAL SAPAIN		
Tipo:	MOPX 205 TGT 24/50	Engranajes	MOBIL SHC 630
Servomotor			
Manufact:	KAWASAKI	Operación hidráulico	
Tipo:	RM 21 / 032	Sistema	MOBIL DTE OIL 16M
Mecha del timón			
Manufact:			
Tipo:		Puntos de engrase	MOBILGRASE WHP 222
Grúa para provisiones (2x1T)			
Manufact:	MENARON GALAST ROMANIA		
Tipo:	1.5 t	Sit. de operación hidráulico Engranajes	MOBIL DTE OIL 16M MOBILGEAR 630
Bomba de achique de sentinas			
Manufact:	ELECTRICAL PUMP		
Tipo:	EPS – 50 VAS 1885 /2	Engranajes	MOBILGEAR 630

MAQUINARIA DE CUBIERTA		
Winches		
Manufact: BRISSONEAU & LOTZ	Engranajes	MOBILGEAR 630
Tipo: MB2 / 418/F181	Grasa lubricante	MOBILGREASE XHP 222
Maniobras y Winche de popa		
Manufact: China	Engranajes	MOBILGEAR 630
Tipo:	Grasa lubricante	MOBILGREASE XHP 222
Grúas hidráulicas N° 1 y 2		
Manufact: BRISSONEAU & LOTZ	Caja de engranajes	MOBILGEAR 629
Tipo:	Engranajes abiertos	MOBILTAC 375 NC
	Grasa lubricante	MOBILGREASE XHP 222
Bomba de pistones		
Manufact: SPECK KOLBEN		
Tipo: S 100	Caja de engranajes	MOBILGEAR 630
Sistema de válvulas de tanques de lastre		
Manufact: DANFOSS SYSTEM	Sist. de operació hidraulico	MOBIL DTE 15M
Tipo:		
Motor del bote		
Manufact: CHINA	Carter	MOBILGARC 1 SHC
Tipo: 16 A – 3	Engranajes	MOBILGEAR 630
Winche del bote		
Manufact: ZHENJIANG MARINE CHINA		
Tipo: DZBY 63/30	Engranajes	MOBILGEAR 630
LUBRICACION GENERAL		
	Puntos de engrase	MOBILGREASE XHP 222
	Motores eléctricos	MOBILUX EP-2
	Engranajes abiertos	MOBILTAC 375 NC
	Lub. con aceite	MOBIL DTE 16M
	Partes libres	MOBILARMA 798

Tabla 4.3 Cartilla de lubricación de la M/N Imperial

4.2.1 **LUBRICACIÓN DE MOTORES DIESEL.**

El motor Diesel tiene un amplio campo de aplicaciones en el sector marino, bien sea como fuente de energía para propulsión o como unidad auxiliar para la generación de energía eléctrica. Su operación es relativamente económica, razón por la cual ha habido un gran interés en su desarrollo, y en consecuencia, su crecimiento durante los últimos años ha sido muy acelerado. Actualmente el motor Diesel se usa mundialmente en diversas aplicaciones, como motores principales en plantas de generación de energía eléctrica; así como unidades pequeñas, de menor potencia para uso auxiliar. Las velocidades operacionales varían desde 125 r.p.m. para motores grandes, hasta 3500 r.p.m. para motores pequeños de menor peso.

Por otra parte, el motor Diesel de menor tamaño se usa ampliamente como unidad propulsora en pequeñas embarcaciones costeras y de agua dulce, así como en naves de alta mar.

Tipos de motores diesel utilizados en el área marina.

En el área marina se utiliza tanto el motor diesel de dos tiempos como el de cuatro tiempos, cada uno de ellos con una aplicación especifica:

1. Motor de dos tiempos: Motor diesel de gran tamaño y de velocidad de operación baja. En este caso se utiliza el motor de cruceta.
2. Motor de cuatro tiempos: Motor Diesel de velocidad operacional mediana o alta. Dentro de esta clasificación se encuentra el motor sin cruceta.

Lubricación de motores marinos.

Las diferentes características de cada tipo de motor a combustión interna toma vital importancia en los distintos sistemas de lubricación y el tipo del lubricante que se van a emplear, debido a que la lubricación de motores esta regida por los problemas que se presentan, como lo son: la formación de depósitos provenientes del lubricante y de la combustión del petróleo, que cada vez es menos refinado, y la oxidación parcial del aceite lubricante. La película del lubricante debe mantenerse entre las partes en movimiento y resistir las altas temperaturas y presiones que se producen dentro del motor.

La necesidad de utilizar lubricantes especiales para motores marinos se detectó desde hace ya largo tiempo, por lo cual en el transcurso de los años se han desarrollado aceites para satisfacer los requerimientos de este tipo de maquinaria.

A diferencia de la lubricación de la maquinaria industrial, la lubricación de los motores marinos requiere que los aceites tengan ciertas propiedades especiales, entre las cuales se cuentan:

a) Protección contra la herrumbre.

El agua siempre está presente en un buque y suele plantear un severo problema, si accidentalmente logra pasar al cárter del motor o al tanque de almacenamiento de aceite lubricante. Los aceites que corren el riesgo de contaminarse con agua, no deben quedar afectados por el contacto con la misma y asimismo deben brindar protección a la maquinaria contra la herrumbre. La posibilidad de herrumbre en la maquinaría a bordo se incrementa, debido a que la contaminación usualmente se debe al ingreso de agua de mar, la cual es más corrosiva. Por consiguiente, los lubricantes marinos deben poseer la capacidad de proteger las superficies metálicas de la herrumbre producida tanto de agua dulce como salada.

b) Demulsibilidad.

Los aceites marinos por razones antes ya mencionadas pueden formar emulsiones con agua. Por consiguiente la capacidad de un aceite para separase rápidamente del agua (demulsibilidad), es de gran importancia.

c) Neutralización de ácidos y reserva alcalina.

Esta propiedad, aún cuando en cierta medida es requisito en todos los aceites utilizados en la lubricación de cilindros, es particularmente necesaria en aquellos motores Diesel de cruceta que queman combustibles residuales marinos con alto contenido de azufre, debido a que en la combustión se generan grandes cantidades de ácido sulfúrico corrosivo.

Recientemente, los combustibles residuales también se han usado en algunos motores auxiliares de mediana velocidad sin cruceta.

d) Aplicaciones múltiples.

La capacidad de un aceite para ser usado en más de una aplicación, es de considerable importancia para un armador en lo que a espacio de almacenamiento se refiere.

Si se dispusiera de un solo grado de aceite para varias aplicaciones, lo que sería ideal, él número de tanques de almacenamiento de aceite podría reducirse y el espacio disponible para la carga podría aumentar. Además, al reducir el número de aceites a bordo, disminuiría la probabilidad de utilizar un aceite erróneo en una aplicación en particular.

Tipos de lubricación en el motor Diesel*.*

Como ya se ha mencionado en capítulos anteriores existen distintos tipos de lubricación como lo son, la lubricación hidrodinámica que es cuando la película de aceite evita el contacto de las superficies a una determinada velocidad relativa, y la lubricación del tipo límite, cuando se crea una película mínima entre los metales en contacto.

En el motor se debe evitar el contacto metal-metal entre las partes móviles, tales como cojinetes, anillos del pistón, tren de válvulas, y eje de camones. En todas estas partes móviles la lubricación es hidrodinámica excepto entre los anillos del pistón, las cajeras del pistón y la pared del cilindro donde existe tanto lubricación hidrodinámica como límite. Ambos tipos de lubricación se presentan en una revolución completa del eje cigüeñal.

Cuando el pistón se encuentra a media carrera tiene la máxima velocidad, un instante después debe empezar a frenar para llegar al punto muerto superior o al punto muerto inferior y cambiar de sentido, en este punto la velocidad del émbolo se aproxima a cero y la lubricación es del tipo límite. A mitad de la carrera es del tipo hidrodinámica (figura 4.4).

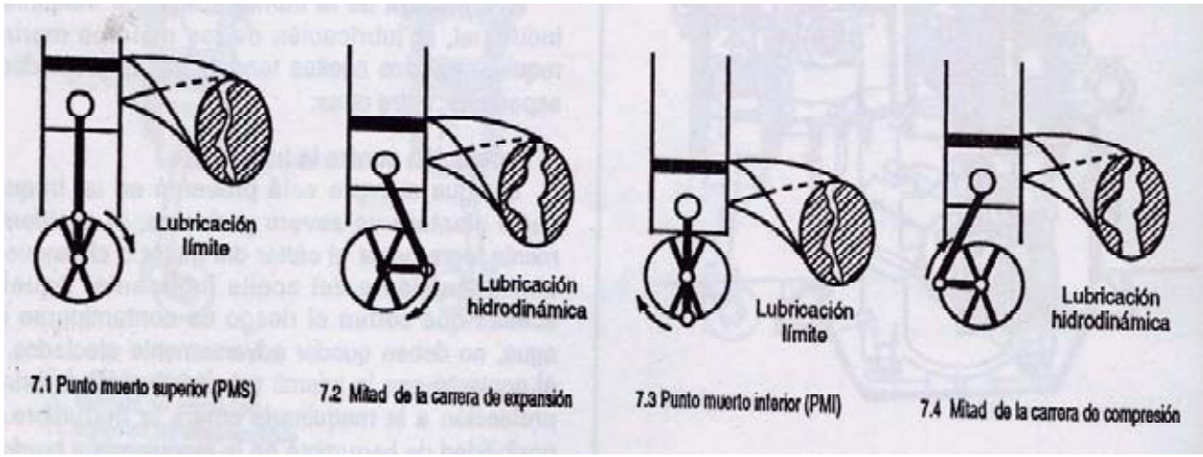

Figura 4.4 Tipos de lubricación.

En consecuencia, el aceite del motor debe formar una adecuada película lubricante, así como evitar el desgaste cuando ocurren las velocidades mínimas de deslizamiento.

Los lubricantes para motores marinos se clasifican de acuerdo a su aplicación la cual puede ser: aceite para cilindro, aceite para sistemas de circulación de cárter seco, aceite para sistemas de circulación de cárter húmedo.

TIPO DE ACEITE	**APLICACIONES**
Aceite para cilindro.	Para la lubricación de motores Diesel de cruceta de dos tiempos de baja velocidad.
Aceite para sistemas de circulación de motores de cárter seco.	
Aceite para sistemas de circulación de motores de cárter húmedo.	Para la lubricación de motores Diesel sin cruceta de mediana y alta velocidad

Tabla 4.5 Clasificación de los aceites de acuerdo a su aplicación.

LUBRICACIÓN DE CILINDROS.

El adecuado funcionamiento de la lubricación de cilindros es absolutamente esencial para el correcto movimiento de trabajo del pistón y los anillos, debido a que cumple con la función de lubricar la superficie deslizante de los anillos sobre la camisa y controlar el desgaste junto con la limpieza en la zona de combustión, además cumple la función de dar estanqueidad a los gases dentro del cilindro. Como requisito para una operación eficiente es la limpieza y la cuidadosa instalación de las líneas de lubricación.

La lubricación de los cilindros se efectúa de dos maneras distintas que son: por salpicadura en los que durante el movimiento del pistón se va lubricando el cilindro con el mismo aceite del cárter, esto ocurre en motores de cárter húmedo sin cruceta, y por lubricación forzada en motores de cárter seco.

1. *Lubricación de cilindros de motores de cruceta de dos tiempos.*

En forma opuesta a los sistemas de lubricación, la lubricación de cilindro se realiza a pérdida total, es decir el aceite es inyectado dentro del cilindro y el movimiento reciproco del pistón lo distribuye sobre la superficie de la camisa, después de realizar su tarea se quema.

Las condiciones de operación de los cilindros de los motores marinos lentos o de mediana velocidad, quemando combustibles residuales con una alta viscosidad, son bastante severas para los lubricantes, debido a que estos motores son de dos tiempos y no existe una carrera inactiva donde se puedan volver a formar las películas de aceite a temperaturas y presiones moderadas. Por esto los lubricantes deben cumplir con algunos requisitos, debido a que las temperaturas de los gases al comienzo de la carrera de combustión exceden los 1700°C y la temperatura superficial de las camisas refrigeradas por agua es de unos 220°C en la proximidad del anillo de compresión superior.

Los lubricantes de cilindros modernos, se formulan con aceites bases de buena calidad e incorporan aditivos que entregan diversas funciones.

a) Poseer la adecuada viscosidad a altas temperaturas de trabajo y ser suficientemente fluida para esparcirse rápidamente sobre las superficies de trabajo.
b) Capacidad para extenderse rápidamente sobre las paredes del cilindro, con la finalidad de esparcir los aditivos sobre la totalidad de la superficie de deslizamiento.
c) Formar menor cantidad de cenizas y depósitos en las lumbreras de escape y en las cajeras del pistón.
d) Reducir la fricción de deslizamiento al mínimo, entre las paredes de los cilindros y los anillos del pistón, reduciendo por tanto el desgaste friccional y abrasivo.
e) Neutralizar eficientemente los ácidos minerales formados por la combustión, debido al alto contenido de azufre proveniente de los combustibles residuales.
f) Disminuir la formación de depósitos en las cajeras del pistón, los cuales causan su atascamiento y ruptura de los anillos, dejando escapar los gases de la combustión con la consiguiente pérdida de potencia.

La mayoría de los expertos en la materia, están de acuerdo en que la corrosión es una de las causas del desgaste de los cilindros, y que se debe a la formación de ácido sulfúrico producido por la condensación de óxidos de azufre y vapor de agua dentro de los cilindros del motor.

En el caso de los combustibles destilados, estos productos tienen una importancia relativamente insignificante, en cambio en los combustibles residuales estos poseen un mayor contenido de cenizas y azufre, así como una mayor proporción de asfáltenos caracterizados por una combustión lenta. Por esta razón los efectos del desgaste abrasivo y corrosivo llegan a ser de gran importancia.

Se han desarrollado aceites lubricantes que poseen la capacidad de neutralizar los ácidos corrosivos que se forman en las paredes del cilindro. Además poseen un efecto detergente / dispersante, el que reduce al mínimo la acumulación de los productos de la combustión sobre las superficies del pistón y sobre los anillos, dispersando estos productos antes que puedan causar daños.

En los motores de dos tiempos, el aceite para cilindros debe desempeñar sus diversas funciones con normalidad sin contribuir a la acumulación de depósitos en las lumbreras de la camisa. En ciertos casos donde ocurre esta acumulación, los depósitos están compuestos normalmente por productos de la combustión. En esta situación es muy difícil mejorar las condiciones mediante el uso de un aceite para cilindros.

Se ha determinado que una de las precauciones más importantes para prevenir el ataque corrosivo, es la de mantener el sistema de enfriamiento de la camisa siempre a una temperatura mayor al punto de condensación de los ácidos producidos durante la combustión, (en algunos casos, 66°C en el fluido refrigerante). Este hecho resulta evidente durante la partida de los motores en frío, o durante maniobras cuando una condición determinada suele causar una disminución a la temperatura del motor. Algunos motores poseen en el circuito de agua de enfriamiento de la chaqueta, un sistema de calefacción con un serpentín de vapor, el cual entrega temperatura al agua de chaqueta, otros poseen un circuito de agua de enfriamiento mixto con los motores generadores, de esta forma cuando el motor se encuentra fuera de servicio se mantiene con temperatura, para que durante el proceso de maniobras de zarpe el motor posea una temperatura adecuada.

En una generalización de los índices de desgaste de la camisa, bajo condiciones normales de operación, es razonable esperar valores promedios de aproximadamente 0,1 mm por cada mil horas de operación. Algunos fabricantes de motores mencionan cifras de 0,05 a 0,09 mm en la misma cantidad de tiempo.

Por otra parte, además de los productos corrosivos, los productos abrasivos también contribuyen al desgaste de las paredes del cilindro. Las materias abrasivas pueden llegar a los cilindros arrastradas por el aire de barrido o de sobrealimentación, aunque es posible eliminarlas usando filtros adecuados. Las partículas sólidas dentro del combustible que pudieran causar el desgaste, se eliminan por lo general mediante los separadores centrífugos, incorporados en el sistema de purificación del combustible a bordo, con esto también se pueden evitar posibles daños en los inyectores por causa de la suciedad del petróleo.

Todos los esfuerzos para mantener los desgastes de camisas y anillos dentro de los límites razonables serían inútiles si no se siguiera un método apropiado para la alimentación del lubricante. Dependiendo del diseño del motor, la cantidad de aceite a aportar en un motor de dos tiempos que trabaja con combustible residual de alto contenido de azufre es del orden de 0.5 a 0.8 gr∗HP/hora. Estas cifras son probablemente más altas que las necesarias para una buena lubricación, pero así se añade un mayor peso de aditivo alcalino para combatir el ataque corrosivo. En términos generales (dejando el costo aparte) la cantidad de alimentación máxima viene dictada por las características especiales del aceite para formar depósitos en la corona del pistón, válvulas de escape y turbinas del turbo sobrealimentador.

Básicamente, el aceite para el cilindro es suministrado por una bomba de lubricación de alta presión accionada mecánicamente por el eje de levas o por el tren alternativo, (figura 4.6 muestra una bomba de lubricación de cilindros de un motor Sulzer RND90), el aceite es suministrado hacia puntos situados radialmente alrededor de la camisa del cilindro, exactamente debajo de los anillos de compresión cuando el pistón este en posición del punto muerto superior. Generalmente la cantidad de puntos de entrada en la camisa pueden ser entre 4 a 12 agujeros y mediante un lubricador de cilindros (figura 4.7 y 4.8).

Ciertos diseños de motores requieren la inserción del lubricador a través de los espacios de la chaqueta para enfriar, otros mediante una serie de conductos perforados, que permiten la entrada a través del cuello de la camisa, evitando así pasar por los espacios para el agua. Las imágenes en la figura 4.9 y 4.10 muestran respectivamente cada tipo. El aceite para el cilindro entra por unos agujeros en la camisa que por lo general se abren a una ranura de aceite o a una serie de ranuras para el aceite. Estas ranuras toman una forma sinusoidal, permitiendo una buena distribución y lubricación entre la camisa y los anillos.

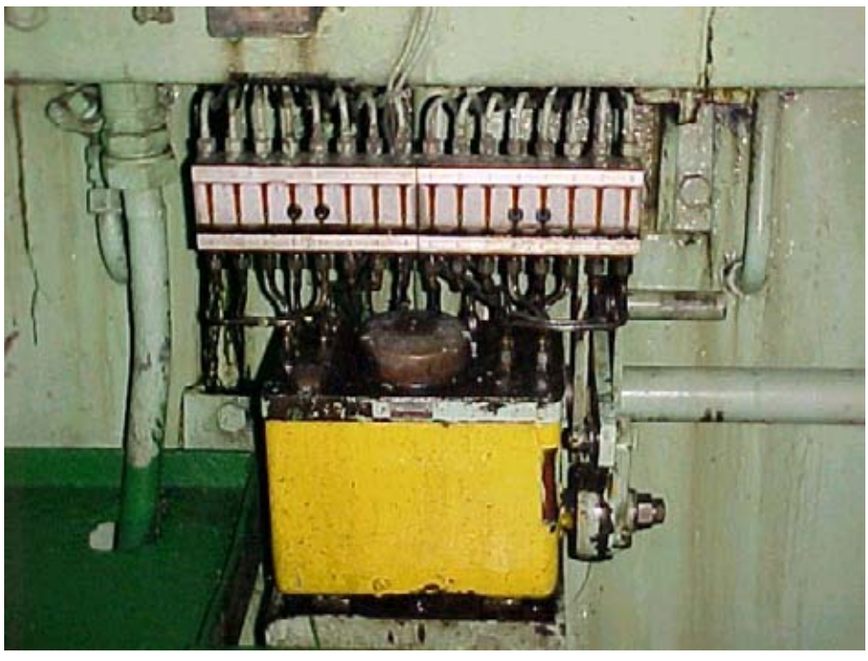

Figura 4.6 Bomba lubricadora de un motor Sulzer.

Figura 4.7 Fotografía de una camisa de un cilindro de un motor MAN B&W.

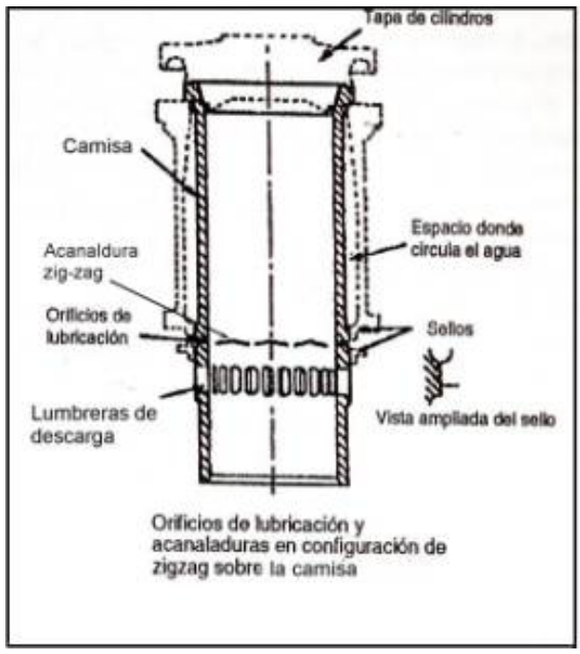

Figura 4.8 Corte transversal de una camisa.

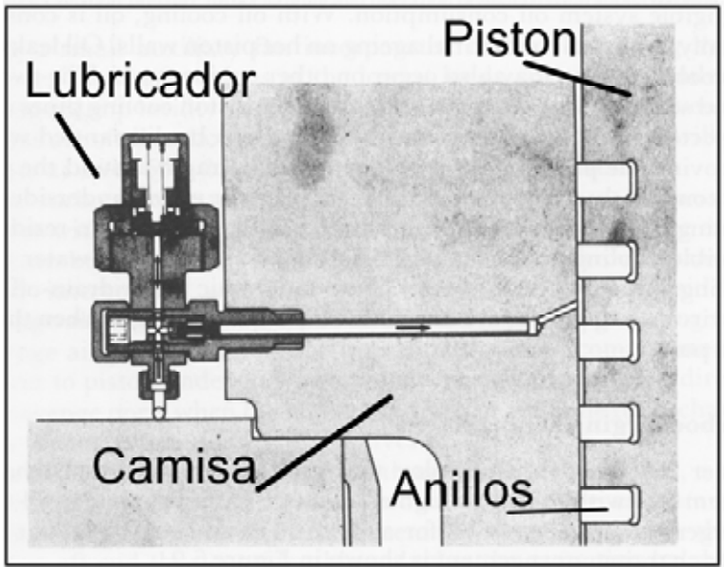

Figura 4.9 Lubricador de cilindro de un motor Sulzer.

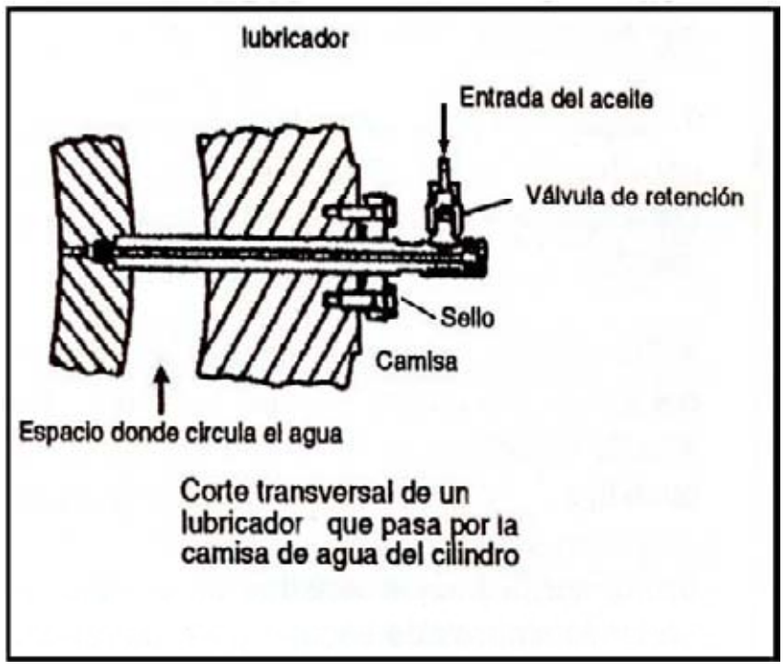

Figura 4.10 Corte transversal de un lubricador.

La sincronización de la inyección de aceite para el cilindro es bastante importante debido a las altas presiones y temperaturas de combustión, algunos fabricantes han equipado a sus motores con sistemas de lubricadores con sincronización exacta de alta presión. Estos sistemas aseguran que el aceite sea inyectado en posición correcta del pistón, cuando sea el momento más efectivo para hacerlo, y evitan cualquier perdida innecesaria que contribuya a la formación de depósitos en el cilindro.

Una lubricación inadecuada trae con sigo un aumento en la temperatura de los anillos lo que puede producir un excesivo y prematuro desgaste de los anillos, la camisa y en casos extremos puede atacar a los pistones.

Una lubricación excesiva puede traer como resultado depósitos de carboncillo en la corona del pistón o que el anillo se pegue a la cajera. Se puede agregar la posibilidad que pudiesen ocurrir fuegos en el múltiple de descarga o en el alojamiento de la turbina del turbo sobrealimentador, debido a la acumulación de depósitos de aceite en dichas partes.

La optima medida de aceite lubricante en los cilindros bajo las variadas cargas es motivo de experiencia practica acumulada durante largos periodos de operación, sobre el fundamento de la apariencia de las camisas, pistones y anillos.

El sistema de lubricación de cilindros consta de uno o más estanques de almacenamiento de aceite, dependiendo de la autonomía del buque, de ahí es alimentado hacia un estanque diario, el sistema de llenado de este estanque puede ser por gravedad, bombas con sistemas de operación manual o automático, o bomba de accionamiento manual, esto considerando que el motor no debe funcionar sin lubricación de cilindros, por lo cual se debe asegurar que el estanque diario, siempre tenga aceite. Este estanque diario es diseñado de acuerdo al consumo

del motor, además se deben considerar, los filtros necesarios para el sistema. El aceite de lubricación de cilindros desciende por gravedad desde un tanque alto hacia las bombas lubricadoras de cilindros (figura 4.11)

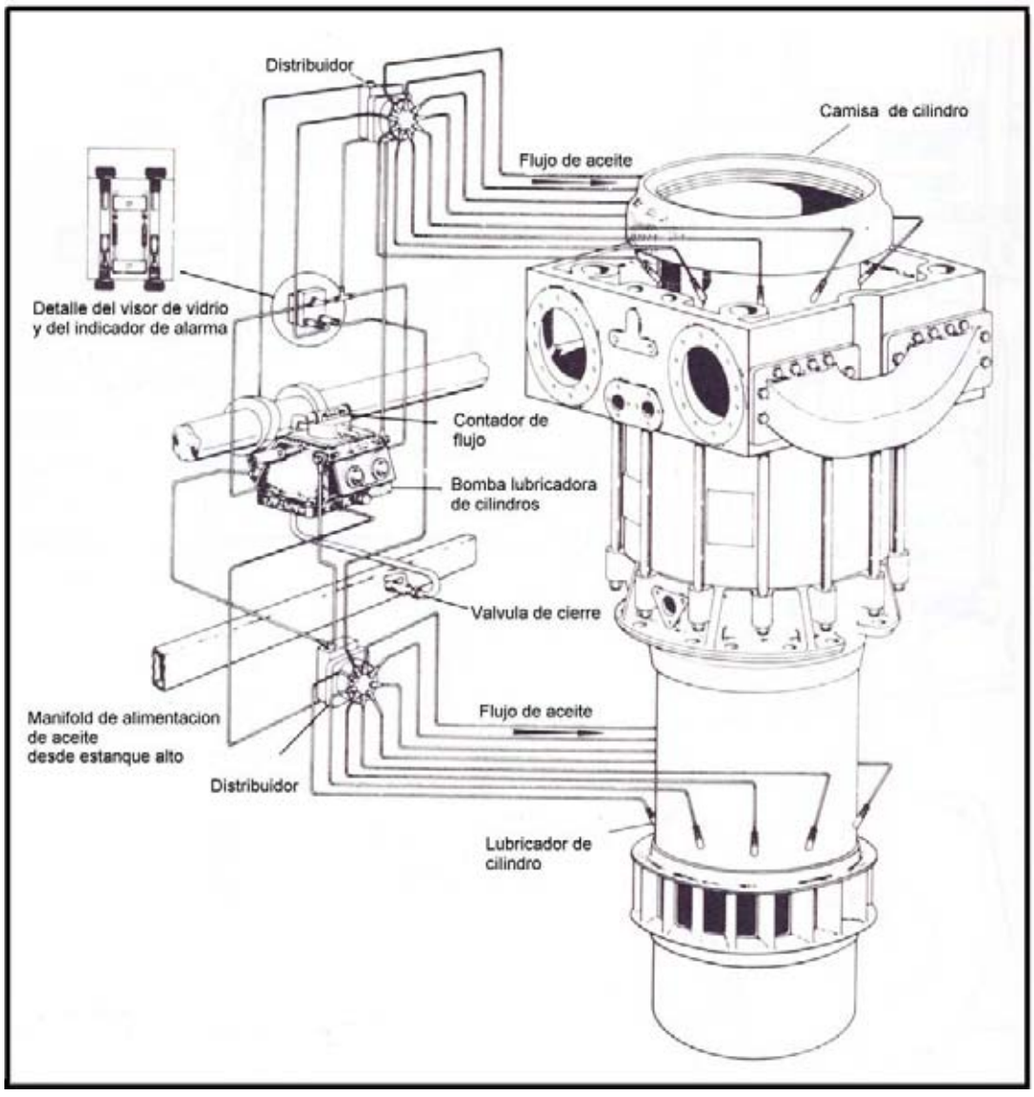

Figura 4.11 Esquema de un sistema de lubricación de cilindro

En resumen, un lubricante para cilindros de calidad media en motores que utilicen combustibles con alto contenido de azufre, debe tener un T.B.N de 40 a 70 mg KOH para combatir el desgaste por corrosión, la sal alcalina debe reunir propiedades para neutralizar rápidamente los ácidos, buenas condiciones de detergencia / dispersión, soportar cargas y tener afinidades con el metal, buena extensibilidad, resistencia térmica a la oxidación y formar la mínima cantidad de cenizas abrasivas. Debido a estos requisitos los aceites deben poseer una cantidad de aditivos de alrededor de un 33%.

2. *Lubricación de cilindros en motores sin cruceta.*

Los motores sin cruceta utilizan un solo tipo de aceite para la lubricación de los descansos y cilindros, si bien existen alguno motores con una alimentación independiente a los cilindros.

El hecho que un único tipo de aceite lubrique descansos y cilindros hace que, además de contar con las características exigibles a un aceite para motores con cruceta, tendrá que contar con características especiales que le permitan lubricar adecuadamente los cilindros, es decir dispondrá de un nivel de alcalinidad adecuada, una elevada capacidad de soportar altas presiones y características anti-desgaste, además de un elevado poder detergente dispersante.

La llegada de aceite a la camisa (figura 4.12), se realiza por medio de un conducto en el eje cigüeñal, a través de un conducto en la biela y del bulón del embolo, llegando a la corona del pistón donde refrigera esta, mediante una circulación continua de aceite que circula por estos canales, luego el aceite sale por unos orificios dispuestos para este efecto en el pistón. Los anillos aceiteros o de engrase tienen por misión distribuir adecuadamente una fina película de aceite sobre las paredes del cilindro, eliminando el exceso de aceite que es arrastrado hacia el cárter. Otra forma de lubricación de camisas es la representada en la figura 4.13, donde el aceite lubricante pasa a través de los conductos del cigüeñal, hasta el pie de biela, y por medio de una tobera ubicada en la biela el aceite es lanzado hacia la camisa, para que posteriormente los anillos aceiteros del pistón lo distribuyan alrededor de la camisa.

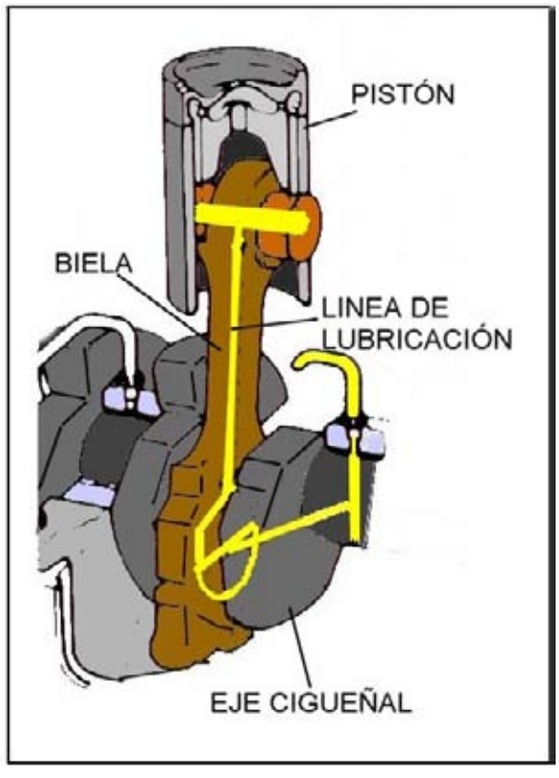

Figura 4.12 Diagrama de la llegada del aceite desde el eje cigüeñal a la biela.

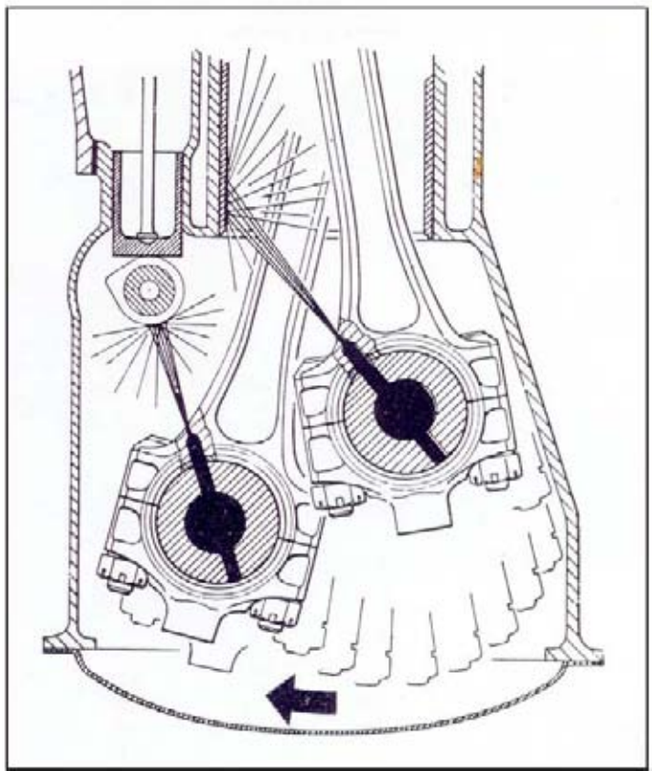

Figura 4.13 Diagrama de lubricación de camisa de un motor de embolo buzo.

En las figuras 4.14 y 4.15 muestran la tobera de lubricación dispuesta en la biela, por donde sale el aceite luego de pasar a través del cigüeñal hasta el pie de biela, luego pasa atravesando la biela, donde llega para lubricar el pasador del pistón, para luego salir a través de la tobera indicada en la figura, el aceite tiene como función enfriar el pistón, luego el aceite cae, pasando a través de los orificios dispuestos en el pistón en las cajeras de los anillos de lubricación (figura 4.16).

Figura 4.14

Figura 4.15

Figura 4.17 Fotografía de un pistón de motor de 4 T.

LUBRICACIÓN POR CIRCULACIÓN FORZADA EN MOTORES DIESEL.

Dentro de las principales funciones de un aceite lubricante de sistema de circulación en un motor Diesel es la lubricación de descansos. Las condiciones de este tipo de lubricación conducen a la llamada lubricación hidrodinámica, y los puntos a tomar en cuenta son: el claro de los descansos, la carga, la velocidad del motor y la temperatura de operación.

La formación de una película fluida depende de que el aceite sea retenido en el espacio entre el eje y el descanso. Si el aceite escurre más rápidamente de lo suministrado, evidentemente no habrá oportunidad de formar la película. La proporción en que el aceite escurre de los descansos depende de dos factores: juego de los descansos y la viscosidad del aceite.

La carga en los descansos nunca es capas de romper la continuidad de la película de lubricación, previsto que el aceite es suministrado en proporción suficiente para compensar su escape.

La velocidad de un eje tiene una influencia directa en la fricción interna y por lo tanto en la viscosidad del aceite. Un aumento en la velocidad aumenta la fricción la que al aumentar la temperatura, reduce la viscosidad.

El deterioro acelerado del aceite del sistema se debe principalmente a altas temperaturas locales, que a veces se presentan alrededor de un pistón enfriado por aceite. El aceite se oxida más rápidamente de lo normal, y el proceso puede ser acelerado por catalizadores que penetran al aceite por medio de la contaminación. Los ácidos fuertes, derivados de los gases de la combustión también pueden acelerar la oxidación del aceite. Estos ácidos principalmente en

presencia de agua salada, son las principales causa de la corrosión en el cárter y fallas en los cojinetes del motor.

A partir del año 1958 se incrementaron los casos de deterioro acelerado del aceite; y en ocasiones hasta tal extremo, que el total de aceite debía ser retirado después de un período muy corto de uso. El riesgo de oxidación acelerada del aceite y la contaminación con ácidos fuertes, aumentó con la utilización de combustibles residuales y con el incremento de la potencia y las dimensiones del motor.

El riesgo puede ser disminuido modificando el diseño del motor, previniendo el excesivo recalentamiento del aceite, el contacto con los gases de descarga y el drenaje de aceites del cilindro. A pesar de esto, obviamente sería una ventaja que el aceite por sí solo pudiera hacerle frente a estas condiciones.

1. *Lubricación de sistemas en motores de cruceta de dos tiempos (motores de cárter seco con sump tank)*

En un motor grande de baja velocidad, con ciclo de dos tiempos y de tipo de cruceta, el cárter queda completamente separado de la zona de combustión. Para evitar el riesgo de la entrada al cárter de ácido sulfúrico y contaminantes sólidos, se desarrollaron prensas selladoras divisorias entre el cárter y los cilindros, estas prensas poseen segmentos de obturación y anillos rascadores los cuales trabajan sobre el vástago del pistón.

La figura 4.18 muestra la mitad de una prensa de un motor MAN B&W 6L42MC, donde se pueden ver los anillos rascadores, y la figura 4.19 muestra los componentes de una prensa. Las figuras (figura 4.20 y 4.21) muestran la prensa de anillos rascadores del vástago del pistón de un motor Sulzer RND 90.

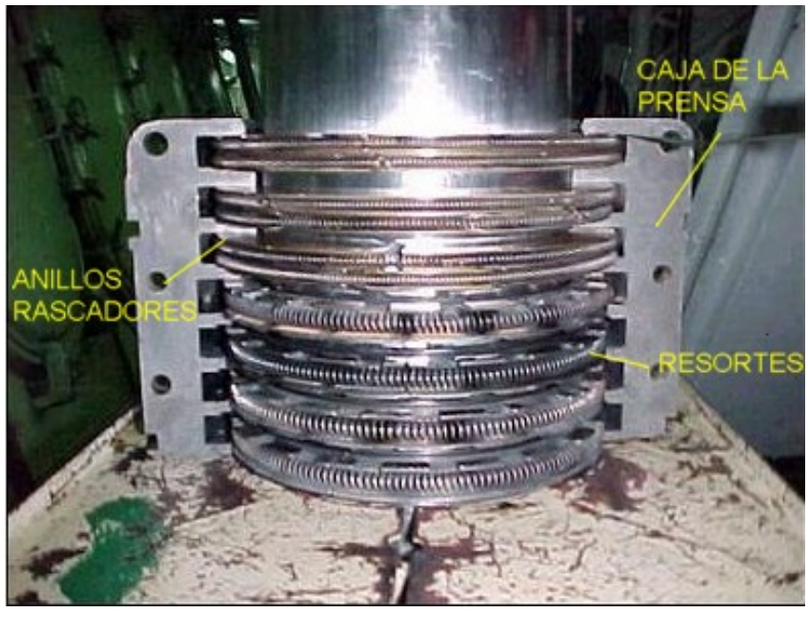

Figura 4.18 Prensa selladora del vástago del pistón de un motor MAN B&W 6L42MC.

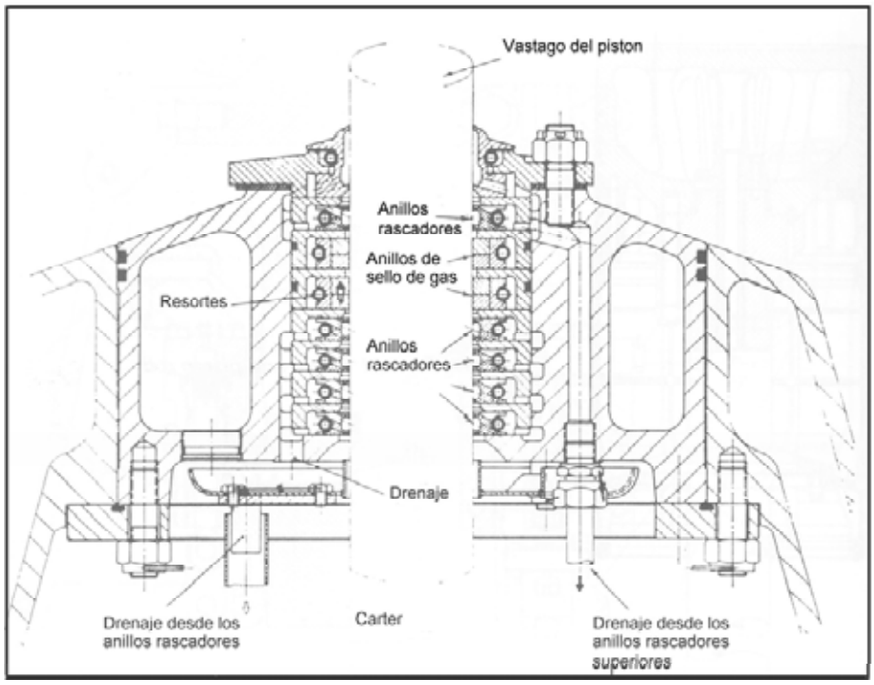

Figura 4.19 Diagrama en corte de una prensa selladora de vástago de pistón.

Figura 4.20 Prensa selladora de vástago de pistón después de 8000 horas de operación.

Figura 4.21 Prensas limpias y reparadas listas para operar.

De esta forma los residuos de la combustión y del aceite de cilindros caen a la cámara de aceite de prensa desde donde deben ser sacados fuera por una línea de drenaje.

En el sistema de lubricación para el caso de grandes motores de dos tiempos con cruceta (figura 4.22). El aceite lubricante pasa desde el colector seco del cárter (cárter seco) al estanque colector principal de aceite lubricante (sump tank). El aceite es hecho circular desde este colector que normalmente esta ubicado en el doble fondo generalmente debajo del motor, por medio de bombas de aceite, la cual lo aspira a través de un filtro primario, luego pasa por el enfriador de aceite, donde se regula la temperatura para lograr la viscosidad adecuada, después de esto el aceite pasa a través de un filtro secundario automático, para finalmente circular a través de los descansos y crucetas del motor, y de vuelta al tanque colector para volver a circular. En la figura se puede observar temperaturas referenciales, ya que cada fabricante entrega los valores para el correcto funcionamiento de su maquinaria. La purificación del aceite se efectúa mediante la centrifugación y la filtración.

El aceite lubricante del sistema de circulación tiene como funciones:

- Lubricar descansos.
- Enfriar pistones (opcional de cada motor).
- Mantener limpio el motor.
- Prevenir el ataque químico por parte de elementos corrosivos.
- Responder a la filtración de contaminantes.
- Poseer buenas características de separación del agua (demulsibilidad).
- Lubricar los equipos auxiliares.

- Ofrecer una buena estabilidad térmica.

Algunas consideraciones de las funciones de los aceites en este tipo de motor son:

a) Lubricación de cojinetes: La lubricación de cojinetes representa la función principal del aceite del sistema de circulación en los motores Diesel del tipo de cruceta.

   Los aceites usados en el sistema de lubricación deben poseer una viscosidad apropiada para proporcionar una lubricación hidrodinámica y por presión sobre la película de aceite. El aceite también debe ofrecer características especiales en cuanto a su capacidad para soportar carga, a fin de proteger los cojinetes del contacto metal-metal.

b) Enfriamiento de los pistones: Según sea el diseño del motor, existen motores diseñados con enfriamiento de pistones mediante agua de enfriamiento, y otros motores utilizan el mismo aceite empleado en la lubricación. Si se emplea un sistema de enfriamiento con aceite, este queda expuesto a temperaturas muy elevadas.

   Para efectuar adecuadamente esta función, el aceite lubricante debe tener cuatro características básicas:

- Resistencia a los aumentos de viscosidad ocasionadas por la oxidación del aceite.
- Resistencia a la acumulación de depósitos debido a la oxidación.
- Resistencia a la formación de ácidos corrosivos producidos por la oxidación.
- Protección contra la formación de depósitos causados por altas temperaturas.

  El enfriamiento de los émbolos con agua trae con sigo una serie de desventajas, a pesar de que este líquido posee una mayor capacidad de transferencia térmica que el aceite.

  Estas desventajas son:

- Es impositivo diseñar sistemas de circulación independientes.
- La presión del sistema es más elevada. El riesgo de filtración de agua al cárter y por lo tanto, si el aceite tiene que desempeñar sus funciones aunque se encuentre contaminado con agua, aumenta el riesgo de formarse herrumbre y corrosión, el aceite debe mantenerse separado del agua sin producirse la emulsión ni degradación de los aditivos.

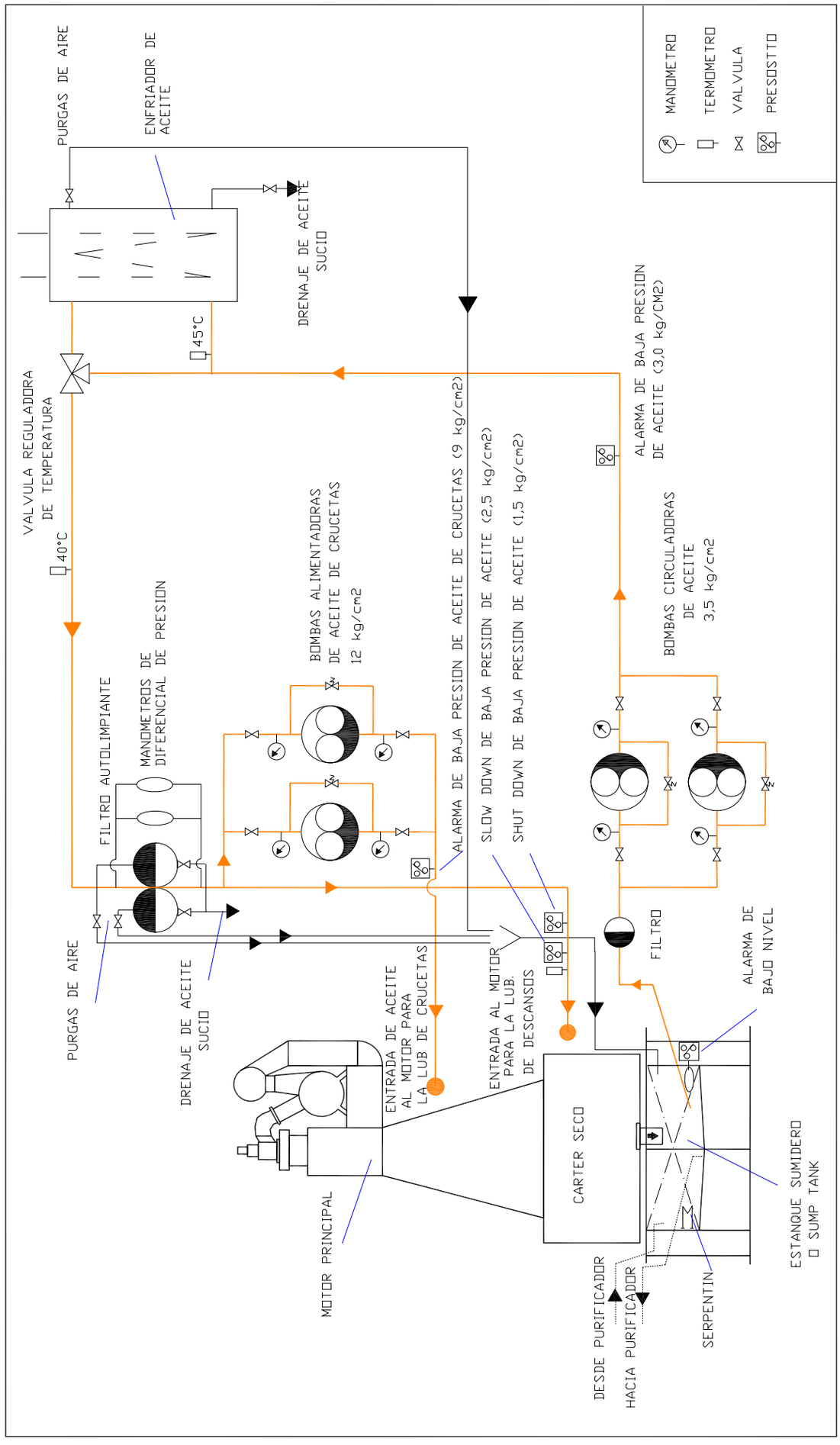

Figura 4.22 Diagrama general de un sistema de lubricación.

2. *Lubricación de motores Diesel de cuatro tiempos (sin cruceta).*

El motor Diesel de cuatro tiempos, -tanto de velocidad mediana (250 –1100 rpm) como alta (mayor a 1100 rpm), ha alcanzado una notable aceptación en el motor marino. Aunque el motor se ha desempeñado tradicionalmente como fuente de suministro de energía para los equipos auxiliares, es bastante reciente que el motor de velocidad mediana, a menudo operando con combustibles residuales, se emplea como medio de propulsión principal en los buques.

En los motores de mediana velocidad las temperaturas y presiones de combustión son más elevadas, por lo que se imponen severas exigencias en los lubricantes. El paso de gases a través de los anillos lleva consigo los productos de la combustión, contaminando de esta forma el aceite del cárter con hollín, cenizas, ácidos sulfúricos, e hidrocarburos oxidados.

Además las temperaturas y presiones elevadas producto de la combustión, generan un aumento de temperatura en la cara inferior, y en las cajeras del pistón, lo que produce la descomposición química del aceite y conduce a la formación de depósitos carbonosos y lacas sobre las superficies del pistón. Otro problema es el desgaste excesivo de los anillos y el ataque corrosivo que sufren por el paso de los gases.

Estos motores han sido adaptados para quemar combustibles residuales, para obtener una mayor economía, por lo que el cambio de combustible en estos motores ha provocado que los lubricantes posean una buena resistencia a la oxidación, buena dispersión, y suficiente alcalinidad para neutralizar los ácidos corrosivos en los cilindros y en el cárter. Que los lubricantes proporcionen un buen rendimiento en todos estos aspectos, es fundamental para garantizar la economía y confiabilidad operacional del motor.

El uso de combustibles residuales trae como consecuencia los mismos problemas que en la lubricación de motores de cruceta de dos tiempos; y la disminución de la alcalinidad trae las mismas consecuencias que en los otros motores.

Los motores diesel de alta y mediana velocidad imponen ciertos requerimientos a los lubricantes como lo son:

- Controlar el desgaste.
- Poseer estabilidad térmica y contra la oxidación.
- Deben proteger los cojinetes de la corrosión.
- Controlar la formación de depósitos.
- Ofrecer poder detergente/dispersante.
- Mantener el nivel de alcalinidad.
- Poseer una buena demulsibilidad.
- Inhibir la formación de herrumbre.
- Filtrabilidad.

En la figura 4.23 se aprecia un diagrama de lubricación de un motor de cuatro tiempos sin cruceta en el cual una bomba acoplada al motor succiona el aceite del cárter del motor, a través de un filtro de aspiración, luego de la bomba el aceite pasa por un filtro de cartucho más fino que el anterior, el aceite entra al motor para la lubricación de descansos y engranajes, además se puede apreciar una línea de lubricación hacia los balancines de válvulas. Otros elementos que se pueden observar son la varilla indicadora de nivel y un manómetro.

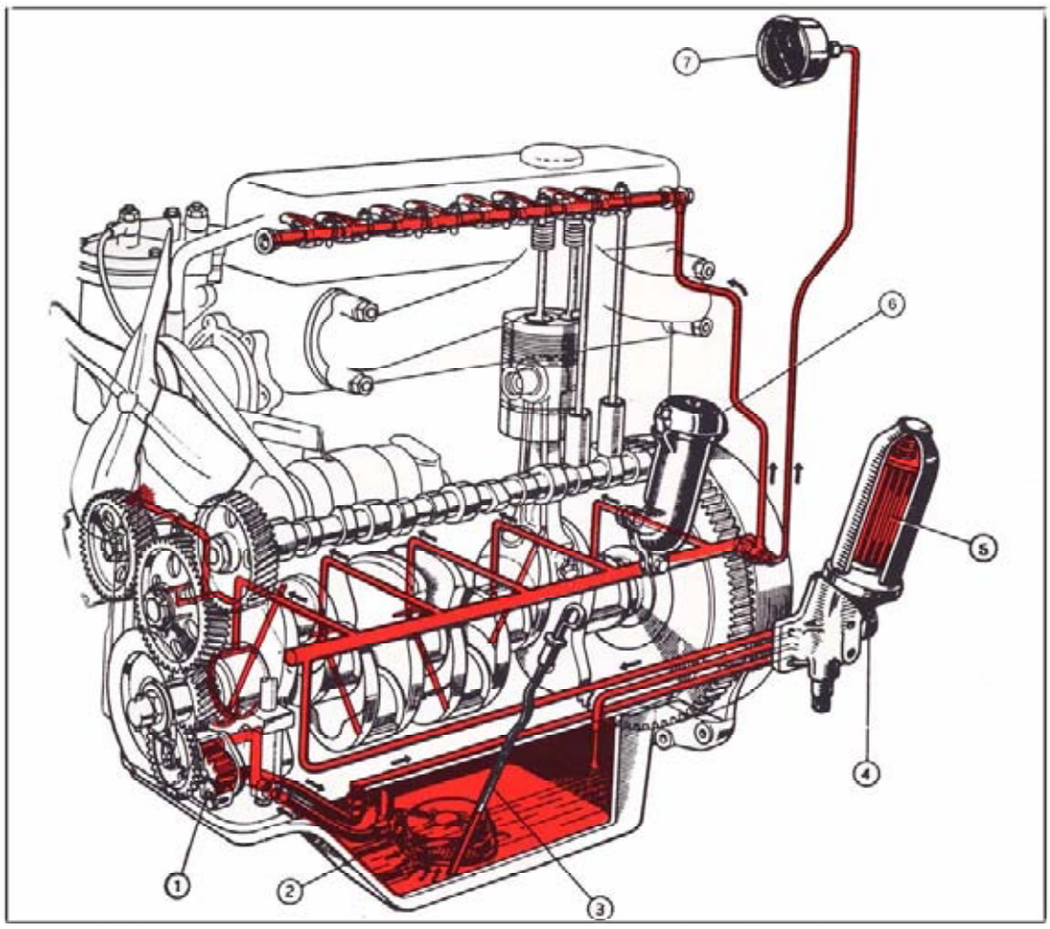

Figura 4.23 Sistema de lubricación de un motor Diesel de cuatro tiempos, donde los números representan: 1. Bomba de aceite, 2. Filtro de aspiración, 3. Varilla indicadora de nivel, 4. Válvula de sobrepresión, 5. Filtro, 6. Tapón de llenado, 7 Manómetro.

4.2.2 LUBRICACIÓN DE EQUIPOS AUXILIARES.

En una embarcación para llevar a efecto las distintas actividades que le competen poseen distintos equipos auxiliares, los cuales pueden estar relacionados con la operación del motor principal, para la propulsión y maniobra del buque; así como al manejo de la carga, equipos de amarre y fondeo, y seguridad de la vida humana.

Los equipos a bordo se pueden agrupar en: Equipo auxiliar de la sala de máquinas, y en equipo auxiliar de cubierta.

Como se menciono anteriormente en la pagina 45, la cantidad de aceites utilizados a bordo son bastantes y los equipos aun más, por esto se hará mención de solo algunos equipos utilizados a bordo.

EQUIPOS AUXILIARES DE LA SALA DE MÁQUINAS.

Dentro de la sala de máquinas podemos encontrar distintos mecanismos auxiliares, encontrándose entre los más importantes generadores eléctricos, los cuales proveen de energía a la mayor parte o a la totalidad de los equipos de a bordo, además hay motores eléctricos para el accionamiento de diferentes equipos, sistemas de iluminación, compresores de aire, compresores de refrigeración, ventiladores y sistemas de bombeo.

En un buque con sistema de propulsión con motor de combustión interna, se encuentran equipos como: Bombas centrifugas para el agua de enfriamiento de la chaqueta. Bombas de desplazamiento positivo para el aceite lubricante, la transferencia y alimentación de combustible.

Además existen equipos para la limpieza del aceite lubricante ya sea para la filtración, purificación o clarificación.

Motores generadores (figura 4.24).

Como se sabe todos los buques generan su propia energía eléctrica para alimentar los distintos equipos que la requieren, además del sistema de alumbrado. Las naves con motores de propulsión Diesel, utilizan motores generadores de tipo Diesel, los cuales pueden ser dos o más. En caso que el motor principal posea una hélice de paso controlable se podrá contar con un generador acoplado, si es que la potencia del motor así lo permite.

En los motores generadores en condiciones de operación levemente severas, se recomienda utilizar aceites que cumplan con nivel de calidad API CC; en motores de elevado rendimiento aceite de calidad API CD; en motores operando a alta velocidad y en condiciones severas, aceites de nivel de calidad API-CE.

Debido al alto costo de los combustibles, los generadores auxiliares de mediana velocidad utilizados en los buques han sido modificados para poder consumir combustibles residuales o mezclas con destilados, con un contenido de azufre mayor entre un 2 a 3% en el peso del combustible. En consecuencia los lubricantes requeridos para este tipo de motores deben poseer una mayor alcalinidad para contrarrestar este mayor porcentaje de azufre, un TBN de 25 a 35.

Los generadores Diesel de emergencia poseen como requerimiento, la capacidad de una rápida puesta en acción bajo cualquier temperatura, por lo general se trata de proteger de las

bajas temperaturas que pudiesen existir en climas fríos. Como consecuencia estos generadores deben alimentarse de combustibles livianos y ser lubricados con aceites con un alto índice de viscosidad, y un punto de fluidez lo suficientemente bajo para permitir una partida en cualquier condición de temperatura. Generalmente se recomienda el uso de aceites multigrado con grados de viscosidad SAE 10W/30, 15W/50 ó 20W/40, los que se comportan satisfactoriamente tanto en el trópico como en las regiones polares. El caso que se utilicen sistemas de partida hidráulica o neumática, se recomienda aceites de viscosidad SAE 30.

Existen generadores eléctricos que se acoplan al eje del motor principal y pueden tener dos cojinetes de soporte. Los generadores de pequeño y mediano tamaño utilizan cojinetes de rodamientos y los de tamaño más grande cojinetes planos. Los rodamientos de bolas o de rodillos son aptos para ser lubricados con grasa; en tanto que los cojinetes planos se lubrican con aceite, ya sea por anillo o por el sistema de lubricación del motor principal.

En el caso de buques con sistema de propulsión a vapor en que se utilicen los generadores del tipo de turbina, se recomienda el mismo aceite utilizado en las turbinas de propulsión principal, pero con sistemas separados.

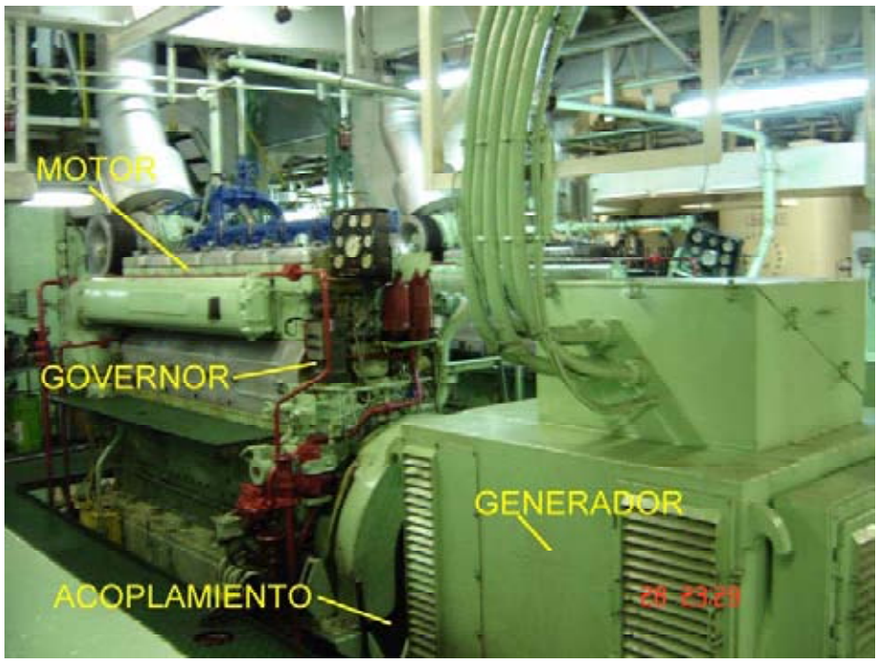

Figura 4.24 Fotografía de un motor generador auxiliar YANMAR.

Motores eléctricos.

Generalmente los motores eléctricos se utilizan para el accionamiento de la mayoría de los equipos a bordo y pueden estar sometidos a distintas cargas, la mayoría de los cojinetes utilizan rodamientos de bolas o de rodillos.

Los rodamientos usados pueden ser diseñados para recibir una relubricación periódica y otros se instalan rodamientos sellados.

Los periodos de engrase se ven afectados por distintos factores como:

- El tipo de carga que debe soportar.
- Las temperaturas de operación.
- Humedad.
- Limpieza de la zona donde esta ubicada el equipo (contaminación).
- Calidad de la grasa.

La lubricación de rodamientos será dada más adelante.

Reductores de engranajes.

Generalmente los equipos auxiliares de transmisión de potencia utilizan reductores de engranajes para acoplarse a mecanismos asociados, como ejemplo podemos encontrar, turbo generadores, los molinetes de anclaje, cabrestantes, grúas, algunas bombas rotativas y turbo ventiladores.

Comúnmente los reductores de menor tamaño se lubrican por salpique, los engranajes inferiores inmersos en un baño de aceite, al rotar, arrastran aceite que lubrica los dientes de los demás engranajes, los que enviaran el aceite a los cojinetes por canales diseñados para este fin.

Existen reductores de varias etapas, dependiendo de la velocidad final requerida. Se utilizan engranajes helicoidales, bi-helicoidales, o tornillo sin fin.

Para la lubricación de un reductor de engranajes, el aceite recomendado dependerá del tipo de engranajes, la carga, la velocidad de los piñones, y temperatura de las zonas contiguas. En el caso de engranajes helicoidales o de dientes rectos, se puede utilizar el aceite del sistema del motor principal sin inconvenientes. Generalmente se utilizan lubricantes para extrema presión.

Durante la mantención diaria de un reductor de engranajes se debe inspeccionar el nivel de aceite y rellenar si es necesario. Además debe quedar registro de las temperaturas de operación, y revisar la existencia de fugas de aceite y niveles de ruido, las que nos podrían indicar el inicio de una falla en los engranajes o cojinetes. Periódicamente se debe drenar el aceite para verificar la presencia de agua u otros contaminantes. Dependiendo de las condiciones se reemplazara o drenara.

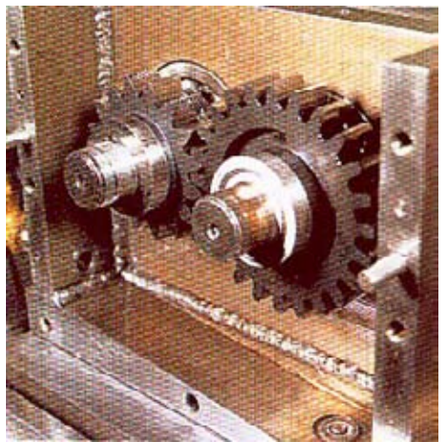

Figura 4.25 Engranaje recto.

Figura 4.26 Engranaje helicoidal.

Figura 4.27 Engranaje conico.

Bombas.

De todos los diferentes tipos de maquinarias auxiliares, las bombas constituyen uno de los grupos más grandes. Estas pueden ser de distintos tipos, cada uno de los cuales tienen sus

propias características las que las hacen adaptables a determinados servicios. Dentro de cada grupo existen diversas formas de construcción en las cuales se incluyen diferentes tipos de arreglos de cojinetes y métodos de lubricación.

1. *Bombas centrifugas*.

Las bombas centrifugas, como su nombre lo indica, dependen de la fuerza centrífuga para su operación. Esta fuerza es generada por el giro a alta velocidad de un impulsor, que consiste esencialmente de un eje sobre el cual se encuentran montadas en forma radial una serie de paletas curvas con medios adecuados para que el líquido penetre en el centro. Cuando el suministro de líquido que se bombea es introducido en el centro, las paletas que giran a alta velocidad envían éste al exterior, impartiéndole una mayor energía cinética. La presión hidrostática del líquido en esta etapa es relativamente baja cuando se le compara con la de descarga. Como resultado de esto, casi toda la energía que posee el líquido en movimiento es cinética. Al dejar las paletas curvas, del impulsor, el líquido a alta velocidad entra en la envolvente estacionaria de la bomba, que rodea el impulsor. Esta sección de la envolvente se llama “voluta” o “espiral”, ya que su forma se deriva de la envolvente de un círculo. El propósito de este espiral es recoger el líquido descargado por el impulsor a alta velocidad, y llevarlo gradualmente a una velocidad relativamente baja, haciendo con ello que la energía cinética se transforme en presión estática.

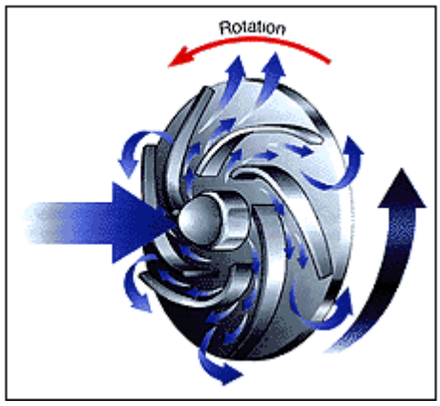

Figura 4.28 Impulsor de bomba centrífuga.

Las bombas centrífugas pueden clasificarse en bombas de etapa simple o de etapas múltiples, esta última consiste de dos o más impulsores operando en serie, donde la descarga de la primera etapa descarga en la entrada de la segunda, este procedimiento sigue dependiendo del número de etapas de la bomba.

Otra clasificación es de acuerdo a la posición del eje ya sea horizontal o vertical.

En los diferentes tipos de bombas que se pueden encontrar en un buque, poseen distintos tipos de arreglos de cojinetes y métodos de lubricación.

a) Bombas centrífugas verticales.

La mayoría de las bombas centrífugas verticales, poseen cojinetes de rodamientos para cargas radiales y axiales, que soportan el eje del impulsor, y están localizados en el exterior de la carcasa de tal forma que no entran en contacto con el fluido de bombeo. Algunas bombas verticales poseen cojinetes planos, que usualmente se lubrican por una copa de grasa o un niple de engrase, la cual se aplica durante las inspecciones.

b) Bombas centrífugas horizontales.

Este tipo de bomba posee el mismo servicio que el prestado por las verticales, usualmente se aplican para la alimentación de calderas y manejo de fluidos de carga. Algunas de estas bombas poseen diseños de cojinetes y sistemas de lubricación idénticos a los descritos en las bombas verticales, con las mismas formas de lubricación. Otros tipos de bombas poseen lubricación de aceite por medio de anillos o por sistema de circulación.

Figura 4.29 Esquema de una bomba centrífuga horizontal.

2. Bombas volumétricas.

Este tipo de bomba puede clasificarse en bombas alternativas, o en bombas rotativas.

a) Bombas alternativas o de desplazamiento positivo (de pistón o embolo).

Son aquellas bombas que entregan un determinado volumen de líquido por cada ciclo de operación de la misma. Esta bomba al aspirar, llena el cilindro de la bomba durante la carrera del pistón en una sola dirección, y después expulsa el líquido en la carrera de regreso.

b) Bombas rotatorias de desplazamiento positivo.

Como su nombre lo indica, las bombas de desplazamiento positivo operan basándose en el principio de que un émbolo giratorio, impelente o accesorio similar, atrapa el líquido en el lado de la succión de la bomba y lo obliga a ir al lado de descarga de la misma. Estas bombas

son principalmente de autocebado, debido a su capacidad de eliminar el aire de las líneas de succión y producir succión a una gran altura.

Generalmente se utiliza con fluidos de mayor viscosidad como aceites y combustibles, para sistemas de alimentación, lubricación o hidráulicos. Algunas partes que requieren lubricación están en el interior de la carcasa, por lo que se lubrican con el mismo fluido bombeado, en los cojinetes y rodamientos localizados en el exterior se utiliza grasa como en los motores eléctricos.

Compresores de aire.

Es común que en los buques existan dos o más compresores, los cuales por lo general son del tipo recíproco, en el que un pistón comprime el aire en un cilindro, estos compresores pueden ser de una etapa, en el cual la compresión desde su inicio hasta la presión final se completa en un solo elemento de compresión, o pueden ser de varias etapas, en el que la compresión desde la compresión inicial a la final se realiza en varias etapas. El aire comprimido posee varios fines a bordo como, sistemas de control, y servicios generales, para los cuales la presión varia entre 4,5 a 9 Kg./cm^2, y de 14 a 24 Kg./cm^2 para sistemas de aire de partida del motor principal, o de motores generadores.

Tanto los descansos como los cilindros de un compresor de aire del tipo reciproco, requieren que el aceite lubricante forme y mantenga una película que minimice la fricción y el desgaste. En los cilindros se debe mantener un flujo de alimentación de aceite mínimo para brindar protección contra la herrumbre y servir como medio de sello en los anillos del pistón para aumentar la eficiencia de compresión.

Los aceites para compresor poseen ciertas características, dentro de las cuales se encuentra un alto punto de inflamación, debido a que el aceite se relaciona con el aire el cual pude llegar a temperaturas superiores a los 100°C, situación en la que es necesaria una buena estabilidad térmica. A modo de ejemplo el aceite Rarus 827 para compresores posee un punto de inflamación de 227°C. Otra característica es la habilidad para separar el aire, por lo que presentan una baja tendencia a la formación de espuma.

La lubricación de las piezas en movimiento de los compresores se hace por lubricación forzada (figura 4.30) por medio de una bomba de aceite accionada por el eje del compresor mediante engranajes o correas. Esta bomba aspira el aceite del cárter del compresor y suministra el aceite a través de un filtro y un enfriador, hacia la parte superior de cada descanso del eje cigüeñal, y descansos de los engranajes reductores si es necesario. El cigüeñal está taladrado de manera que el aceite suministrado a los a los descansos principales circule hacia los descansos de las bielas. Las bielas tienen un conducto que parte de los descansos de biela hasta el buje del eje del pistón, de manera que el aceite sea elevado para lubricarlo.

Como el aceite gotea en los distintos descansos, retorna al cárter y esta listo para hacerse recircular.

En la figura la lubricación de cilindros se hace separadamente por un lubricador de alimentación forzada. El aceite lo suministra el lubricador por medio de líneas de alimentación separadas para cada cilindro. En el extremo de cada línea de alimentación hay una válvula de retención para evitar que el aire comprimido retorne al lubricador. El lubricador comenzara la lubricación automáticamente tan pronto como el compresor arranque. En algunos compresores la lubricación de los cilindros es realizada mediante salpique.

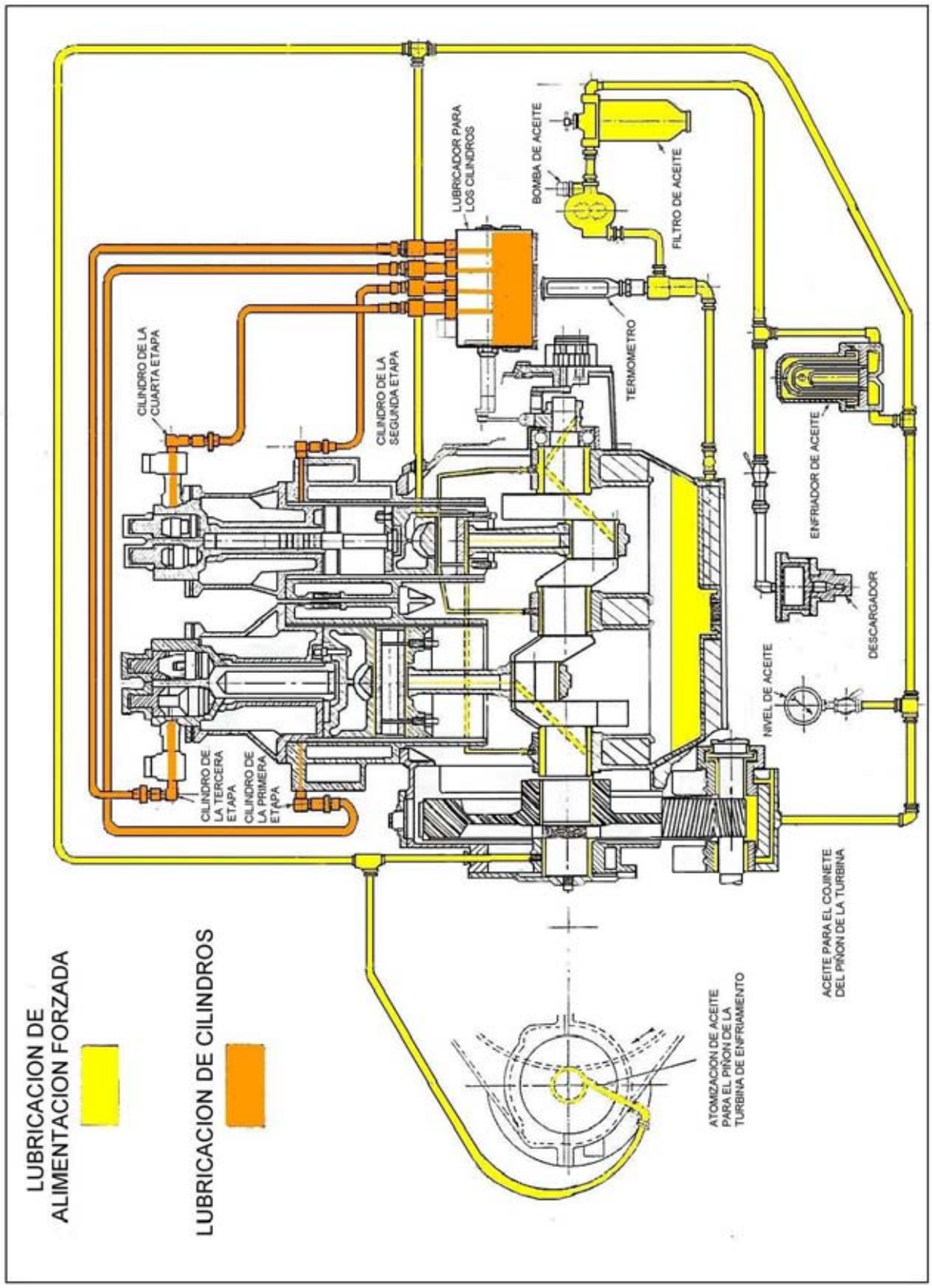

Figura 4.30 Diagrama de lubricación de un compresor.

Compresores frigoríficos.

La refrigeración es el proceso de producir temperaturas más bajas que la atmósfera circundante. Todos los buques tienen sistemas de refrigeración para aire acondicionado o almacenamiento de carga (víveres).

Los compresores en un sistema de refrigeración son del tipo recíproco usando refrigerantes tales como el R-12 y el R-22, estas sustancias son totalmente solubles en aceite durante todo el ciclo de refrigeración normal.

El refrigerante disuelto en el aceite lubricante disminuye su viscosidad y su punto de fluidez.

En consecuencia, tanto el punto de fluidez como la viscosidad son aspectos importantes a la hora de elegir el aceite. El aceite mezclado con el refrigerante debe tener una viscosidad adecuada para lubricar los cilindros y los descansos.

En ciertos casos, se puede producir la precipitación de ceras en la mezcla de aceite refrigerante a bajas temperaturas. Esto dependerá de la formulación del aceite. Por lo tanto, para el caso de refrigerantes en contacto con el aceite, este último deberá tener un punto de floculación con FREON menor que la temperatura en el evaporador para que no se presente precipitación de parafinas en el lado de baja presión, lo cual ocasiona obstrucciones en las válvulas de expansión o en dispositivos de control. A sí mismo, puede disminuir la eficiencia en el intercambio de calor.

Cuando se utiliza un refrigerante insoluble en el aceite, como el amoníaco o el dióxido de carbono, se requiere que el aceite lubricante tenga un punto de fluidez menor que la temperatura del evaporador. De lo contrario, el aceite se congelara en las superficies de intercambio térmico disminuyendo la transferencia de calor.

El punto de floculación se define como la temperatura a la cual las parafinas y otras sustancias disueltas se precipitan formando flóculos (agregados a sustancias sólidas) al entrar en contacto con un fluido refrigerante, en una mezcla de un 10% de aceite y un 90% de refrigerante, cuando el aceite se enfría.

Descansos intermediarios.

Dependiendo de la ubicación del motor en el buque se determinara el largo del eje propulsor, por, lo que los cojinetes que soportan al eje propulsor deben estar sobredimensionados, para soportar las cargas provenientes de la propulsión y las distorsiones producidas en el casco.

Los cojinetes pueden ser del tipo plano lubricados por anillo de aceite, donde el anillo asegura un suministro amplio y confiable de aceite a los cojinetes, o del tipo de rodamientos de rodillos esféricos de doble hilera lubricados por grasa.

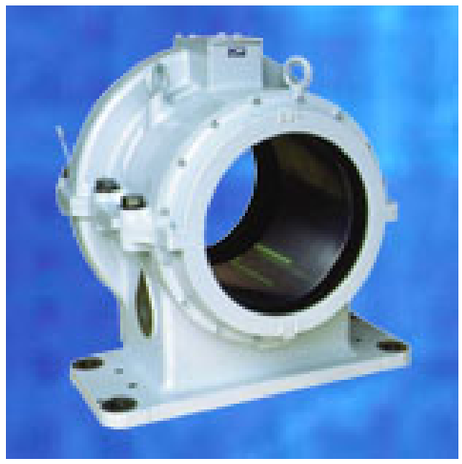

Figura 4.31 Descanso intermediario

Rodamientos.

Los rodamientos son piezas de acero aleado con cromo, manganeso y molibdeno, para facilitar la ejecución de rigurosos tratamientos térmicos y obtener piezas de gran resistencia al desgaste y a la fatiga. En la selección de los materiales, deben tomarse en consideración las temperaturas de operación y una adecuada resistencia a la corrosión.

El material para las jaulas ha evolucionado en forma importante actualmente se utilizan aceros, metales de bajo roce y poliamida.

Otra característica de los rodamientos es la exactitud de sus dimensiones a parte de tener tolerancias muy estrechas para un satisfactorio funcionamiento del conjunto.

Existen rodamientos de muy variados tipos para adecuarse a las diversas aplicaciones, es muy importante escoger el rodamiento preciso, tomando la decisión basándose en criterios tales como: costo, facilidad de montaje, vida útil, dimensiones generales, simpleza del conjunto, cargas a soportar, disponibilidad de repuestos y tipo de lubricación.

Tipos de rodamientos.

Existen dos grandes grupos, que a su vez se dividen en sub-grupos, que veremos más en detalle. Estos grandes grupos son los rodamientos a bolas y a rodillos. Los de bolas presentan como ventaja sobre los rodillos el hecho de presentar menor resistencia friccional, lo que los hace muy adecuados para aplicaciones a alta velocidad, elevada precisión, bajo par torcional y baja vibración. En contraste, los rodamientos de rodillos tienen una capacidad de carga mucho mayor, lo que los hace apropiados para aplicaciones que requieren una larga duración y resistencia a cargas pesadas y de impacto.

La nomenclatura de un rodamiento de bolas se indica en la figura 4.32, en la que se aprecian las cuatro partes principales: aro externo, aro interno, elementos rodantes (bolas), y separador. En rodamientos de bajo costo a veces se omite el separador cuya misión es impedir el contacto entre las bolas del rodamiento. En la figura 4.33 se pueden observar distintos tipos e rodamientos de bolas. En la figura 4.34 se indica la nomenclatura de un rodamiento de rodillos, y en la figura 4.35 se muestran distintos tipos de rodamientos de rodillos.

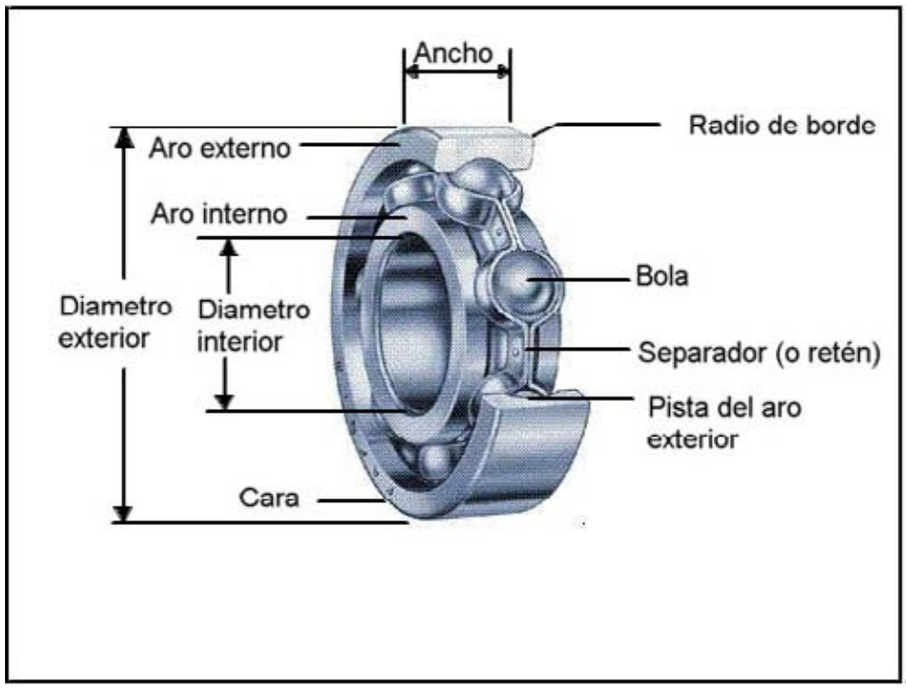

Figura 4.32 Nomenclatura de un rodamiento de bolas.

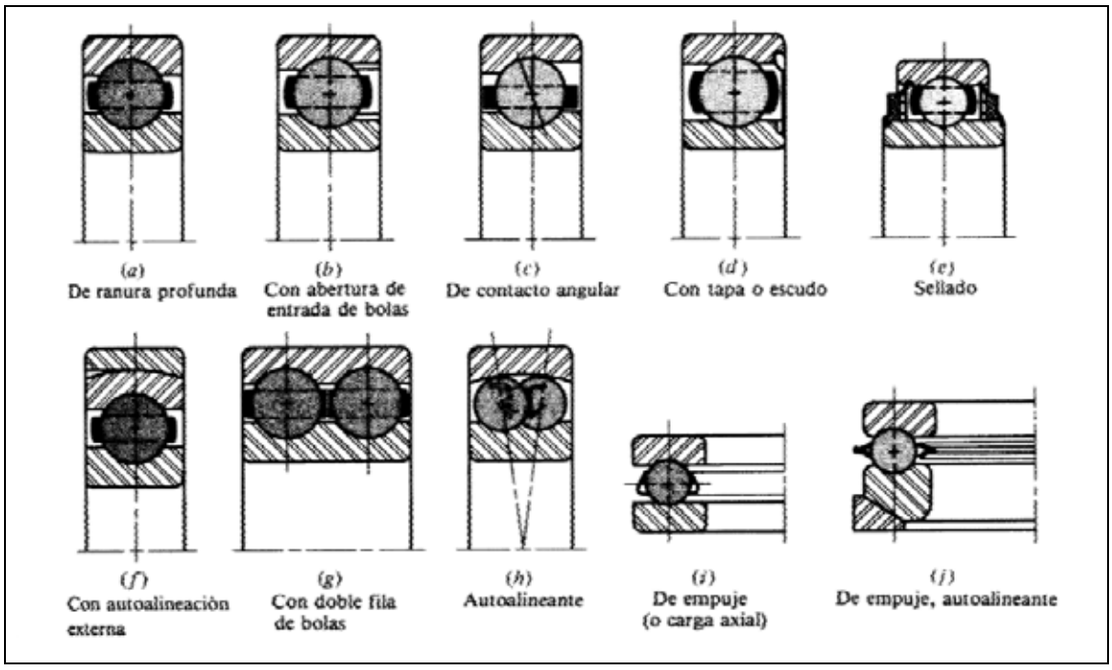

Figura 4.33 Distintos tipos de rodamientos de bolas.

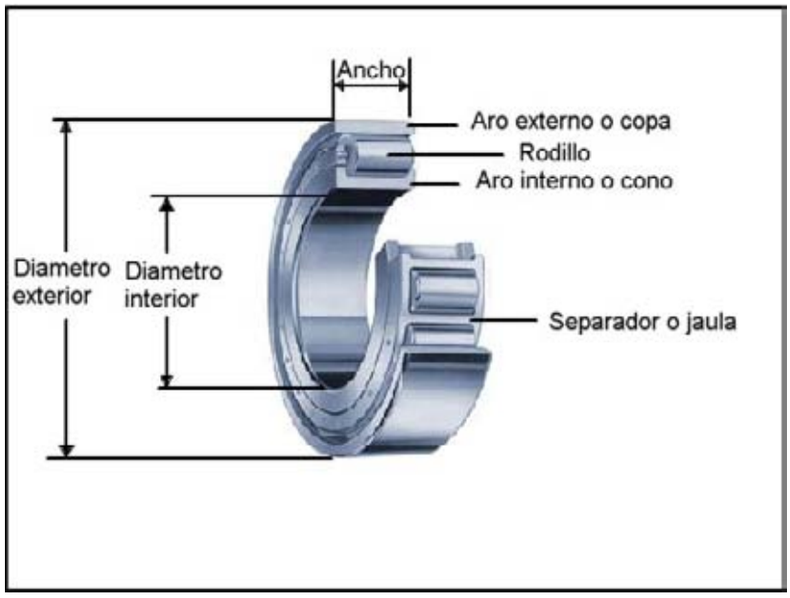

Figura 4.34 Nomenclatura de un rodamiento de rodillos

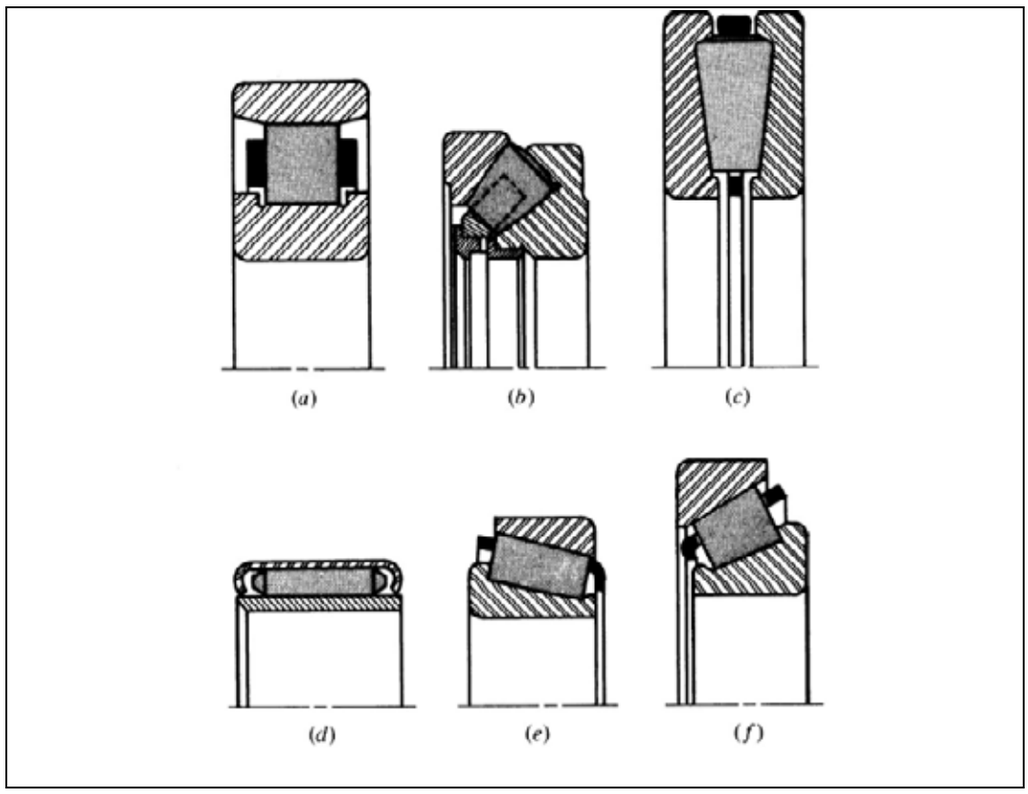

Figura 4.35 Distintos tipos de rodamientos de rodillos: a) cilíndricos, b) esféricos, de empuje, c) cónicos de empuje, d) de agujas, e) cónicos ordinarios, f) cónicos de amplio contacto angular.

Numeración de los Rodamientos

La numeración de los rodamientos indica su diseño, dimensiones, precisión, construcción interna, etc. Esta clasificación esta formada por el nombre del rodamiento, seguida de la

denominación abreviada del mismo, la cual se compone de una serie de números y códigos de letras, agrupados en un código numérico básico y un código suplementario.

El código numérico básico se compone de una serie de cifras, cuyo significado es el siguiente: tipo de rodamiento, serie dimensional (serie de diámetro exterior, serie de ancho, serie de ángulo de contacto) y diámetro interior del rodamiento.

Si las condiciones de servicio exigen una versión especial del rodamiento, se añaden unos signos adicionales a la denominación abreviada, constituyendo un código suplementario.

Este código viene fijado por cada fabricante, y designa tratamiento térmico, precisión, juego interno y demás factores relacionados con las especificaciones y la constitución interna del rodamiento.

Todos estos códigos se encuentran tabulados en los catálogos de los fabricantes de rodamientos.

Por ejemplo: rodamiento rígido de bolas 6306 Z.C3

6: Código del tipo de rodamiento, correspondiente a los rodamientos rígidos de una hilera de bolas.

3 : Serie de diámetro exterior.

06 : Código de diámetro interior (para obtener el diámetro interior se multiplican esto dígitos por 5).

Z : Código de una tapa de obturación.

C3: Código de juego radial interno mayor que lo normal.

A continuación se entrega la tabla 4.36 con los signos de los rodamientos.

C2	Juego radial más pequeño que lo normal.
C3	Juego radial mayor que lo normal.
C4	Juego radial interno mayor que C3.
C3G	Juego radial mayor que lo normal, rodamiento especialmente silencioso.
CM	Juego radial interno para rodamientos de motores eléctricos.
/GL	Pre-carga liviana.
/GN	Pre-carga normal.
/GM	Pre-carga mediana.
/GH	Pre-carga pesada.
G	Rodamiento especialmente silencioso.
M	Jaula maciza de latón, guiada por las bolas.
M.C3	Jaula maciza de latón, guiada por las bolas, juego radial mayor que lo normal.
M.P6	Jaula maciza de latón, guiada por las bolas. Grado de precisión según P6
M.P63	Jaula maciza de latón, guiada por las bolas. Grado de precisión según P6. Juego radial según C3.
N	Ranura circular de sujeción para anillo elástico.
N.C3	Ranura circular de sujeción para anillo elástico. Juego radial según C3.
RS	Una tapa de obturación.
RS.G	Una tapa de obturación. Rodamiento especialmente silencioso.
RSR	Una tapa de obturación.
RSR.C3	Una tapa de obturación. Juego radial mayor que lo normal.
.2RS	Dos tapas de obturación.

.2RSG	Dos tapas de obturación, rodamiento especialmente silencioso.
.2RSR	Dos tapas de obturación.
.2RSR.C3	Dos tapas de obturación. Juego radial mayor que lo normal.
.2RSRG	Dos tapas de obturación. Rodamiento especialmente silencioso.
TP.P63	Jaula maciza de plástico con refuerzo de fibra, guiada en el aro interior. Grado de precisión según P6. Juego radial según C3.
Z	Una tapa de obturación.
Z.C3	Una tapa de obturación. Juego radial mayor que lo normal.
Z.G	Una tapa de obturación. Rodamiento especialmente silencioso.
ZN	Una tapa de obturación, ranura circular de sujeción para anillo elástico.
ZR	Una tapa de obturación.
ZR.C3	Una tapa de obturación. Juego radial mayor que lo normal.
ZR.C3G	Una tapa de obturación. Juego radial mayor que lo normal. Rodamiento especialmente silencioso.
ZR.G	Una tapa de obturación. Rodamiento especialmente silencioso.
ZRN	Una tapa de obturación, ranura circular de sujeción para anillo elástico.
ZZ	Dos tapas de obturación.
ZZA	Dos tapas de obturación, removibles.
.2Z	Dos tapas de obturación.
.2Z.G	Dos tapas de obturación. Rodamiento especialmente silencioso.
.2ZR	Dos tapas de obturación.
.2ZR.G	Dos tapas de obturación. Rodamiento especialmente silencioso.
.ZZRN	Dos tapas de obturación, ranura circular de sujeción para anillo elástico.

Tabla 4.36 Nomenclatura de signos de rodamientos

Lubricación de rodamientos.

El lubricante reduce el roce, también impide el desgaste y la corrosión. El lubricante forma una película entre las superficies de rodadura, con lo cual se evita el contacto metal-metal, incluso con carga elevada. Las propiedades que debemos tener en cuenta a la hora de seleccionar un lubricante son, fundamentalmente, la viscosidad (aceite) y la consistencia (grasa). La consistencia es el grado de rigidez de una grasa. De acuerdo a las características del lugar donde se va a aplicar, a la temperatura, a la carga, a la velocidad, etc., será la elección que se haga. El 90% de los rodamientos son lubricados con grasa, ya que requiere un sistema más sencillo y barato, tienen mejor adhesión y protección contra la humedad y los contaminantes del ambiente de trabajo. Sin embargo, cuando la velocidad es muy elevada, o cuando es necesario evacuar el calor del rodamiento, se prefiere el aceite.

Cómo se engrasa un rodamiento

Si se trata de un rodamiento desarmable, se puede ir engrasando en el orden de montaje. Después de montar el aro, se llena el espacio interno con grasa. Luego engrase el otro aro, asegurándose que todos los espacios están llenos. Si el rodamiento no es desarmable, se debe llenar de grasa ambas caras. En los oscilantes, se pueden girar e inyectar la grasa en los espacios libres entre el separador y las bolillas o rodillos. Importante: el espacio libre del soporte sólo

debe llenarse en un 30 a un 50% de grasa. De esta forma, el rodamiento utiliza la grasa necesaria y el resto queda depositada allí, impidiendo que entren impurezas. Si lo llenamos totalmente, haremos elevar la temperatura del rodamiento innecesariamente.

EQUIPOS AUXILIARES DE CUBIERTA.

Equipo para el manejo de carga.

En cubierta existen distintos mecanismos que requieren lubricación como grúas, poleas, winches, molinetes los que son lubricados con grasa por medio de una pistola de engrase o por una copa de grasa.

En algunas ocasiones puede que se utilice la lubricación con aceite por medio de mechas, copas de alimentación o por gotas o a pérdida total. En particular a los engranajes descubiertos de gran tamaño, se aplica un recubrimiento con un lubricante altamente adhesivo formulado con aceites básicos muy viscosos y compuestos asfálticos. La misma recomendación se extiende a los cables de acero descubiertos.

Se debe tener en cuenta la lubricación para proteger de la corrosión producto del ambiente marino.

Sistemas hidráulicos.

El uso de transmisiones hidráulicas en el campo marino se ha incrementado rápidamente en la actualidad. La hidráulica es usada ampliamente para la transmisión de potencia y control, y ha contribuido notablemente a la automatización a bordo de un buque. Las transmisiones hidráulicas suministran una gran fuerza, una rápida respuesta, control de velocidad constante y generan menores costos de mantenimiento que los asociados con las transmisiones mecánicas, neumáticas o eléctricas.

Los sistemas hidráulicos son utilizados ampliamente con aplicaciones marinas tales como: sistemas de maniobras, cabrestantes, winches, hélices de paso variable, sistemas de control, escotillas, molinetes de anclaje y en puertas estancas.

Componentes de un sistema hidráulico.

Existen seis componentes comunes en los sistemas hidráulicos. Estos son:

1. Tanque de reserva: Para el suministro de fluido al sistema y para absorber las expansiones que se produzcan.
2. Bomba: Para producir el flujo y presión del fluido.
3. Tuberías: Para la transferencia del fluido a los lugares requeridos.

4. Válvulas: Para controlar el direccionamiento, flujo y presión en el sistema.
5. Motor hidráulico: Para convertir la energía hidráulica en energía mecánica.
6. Fluido hidráulico.

Propiedades de un aceite hidráulico.

Los avances en la ingeniería y la tecnología de sellos y empaquetaduras han habilitado a los fabricantes de sistemas hidráulicos, a producir unidades cada vez más compactas.

Se han incrementado tanto las presiones como la velocidad y el margen de temperatura se ha ensanchado. Todas estas condiciones han impuesto cambios en la formulación de los fluidos hidráulicos de tal forma que cubran las exigencias de temperatura, características de la gran variedad de sistemas hidráulicos. De esta manera se dispone de una línea de aceites hidráulicos que ofrecen las siguientes ventajas:

- Fluidez tanto a temperatura de arranque como de funcionamiento.
- Característica antidesgaste o de lubricación.
- Estabilidad a la oxidación.
- Viscosidad adecuada.
- Propiedades antiherrumbre.
- Propiedades antiespumntes.
- Compatibilidad con los sellos de goma.

Estas características aseguran un notable rendimiento del aceite bajo cualquier condición de operación.

Estos aceites poseen un alto índice de viscosidad y son formulados para servir por largos periodos de tiempo.

CAPITULO V.

MANTENCIÓN DE LOS ACEITES A BORDO.

El aceite como es mencionado anteriormente se deteriora y contamina, a un ritmo que depende de diversos factores como: temperatura de operación, volumen de aceite, productos de la combustión, rellenos, etc. Los contaminantes de mayor importancia son el agua en el aceite, la cual puede ser producto de la condensación, o por agua salada, y los sólidos que se pudiesen presentar. Sin embargo existen métodos de mantenimiento para extender la vida útil del aceite. Tales como la decantación, la cadena filtrante y la separación centrífuga.

Principios básicos de la separación.

Los propósitos de la separación pueden ser los siguientes

1. Liberar al liquido de las partículas sólidas.
2. Separar dos líquidos insolubles entre si con diferentes densidades, mientras al mismo tiempo se remueven los sólidos presentes.
3. Separar y concentrar las partículas sólidas provenientes del líquido.

5.1 SEPARACIÓN POR GRAVEDAD O DECANTACIÓN.

Una mezcla de líquido en un recipiente estacionario se limpiara tan lentamente como las partículas sólidas se precipiten al fondo producto de la gravedad. Un líquido liviano asciende mientras que uno más pesado y las partículas descienden.

Una separación continua puede ser producida en un tanque de decantación en el cual se realizan extracciones dispuestas de acuerdo a la densidad de los líquidos.

Para algunos líquidos (como los aceites minerales) la alta temperatura incrementara la capacidad de separación en el proceso de decantación. La temperatura hace variar la viscosidad y densidad del aceite.

Una baja viscosidad facilita la separación, la que puede ser producida por el calentamiento de la mezcla. La diferencia de densidad entre los dos líquidos facilita la separación, cuando es mayor la diferencia más rápida es la separación, esta diferencia puede ser incrementada con el incremento de la temperatura.

5.2 SEPARACIÓN POR CENTRIFUGACIÓN.

En un recipiente con una rápida rotación, la fuerza de gravedad es reemplazada por la fuerza centrifuga que pueden ser miles de veces más grande. La separación de sedimentos en este caso es continua y sucede con mayor rapidez.

La fuerza centrifuga en el recipiente separador puede lograr en unos pocos segundos lo que toma varias horas en un estanque de decantación bajo la influencia de la gravedad

En el plano de la figura 5.1 se observa un circuito de limpieza de purificación de aceite lubricante, como se puede apreciar existen dos purificadores los cuales se utilizan alternadamente, para poder realizar mantención. El sistema trabaja aspirando aceite mediante una bomba de engranajes acoplada al purificador, desde los estanques de decantación de aceite del motor principal o motores generadores, o desde el *sump tank* o cárter del motor principal. Después de la bomba el aceite pasa por un intercambiador de calor donde el aceite aumenta su temperatura para mejorar y facilitar el proceso de purificación, el control de temperatura es realizado por una válvula automática de tres vías. Luego el aceite es purificado por el separador centrífugo y descargado hacia los diferentes estanques. El agua y los sedimentos productos de la separación son descargados al estanque de lodos o *sludge tank*.

Separación centrífuga.

La separación centrifuga es un proceso de separación por medio de una fuerza centrifuga, la que sucede por diferencia en la gravedad especifica de la separación de las partículas sólidas suspendidas en el líquido en este caso el aceite (sólido - líquido), separación de partículas de agua en el aceite (líquido - líquido) o la separación simultanea de partículas de agua y partículas sólidas disueltas en el aceite (sólidos - líquidos pesados - líquidos livianos) etc.

Si la fuerza centrifuga utilizada en esta operación es mayor que la fuerza de gravedad, la separación centrifuga será más rápida que la separación por decantación.

Tomando como ejemplo de la separación de partículas de agua en el aceite, la diferencia entre la gravedad especifica del agua en con el aceite es extremadamente pequeña, y no es raro que este valor sea menor a 0.05. En este caso, la separación sólo es posible por una poderosa fuerza centrífuga.

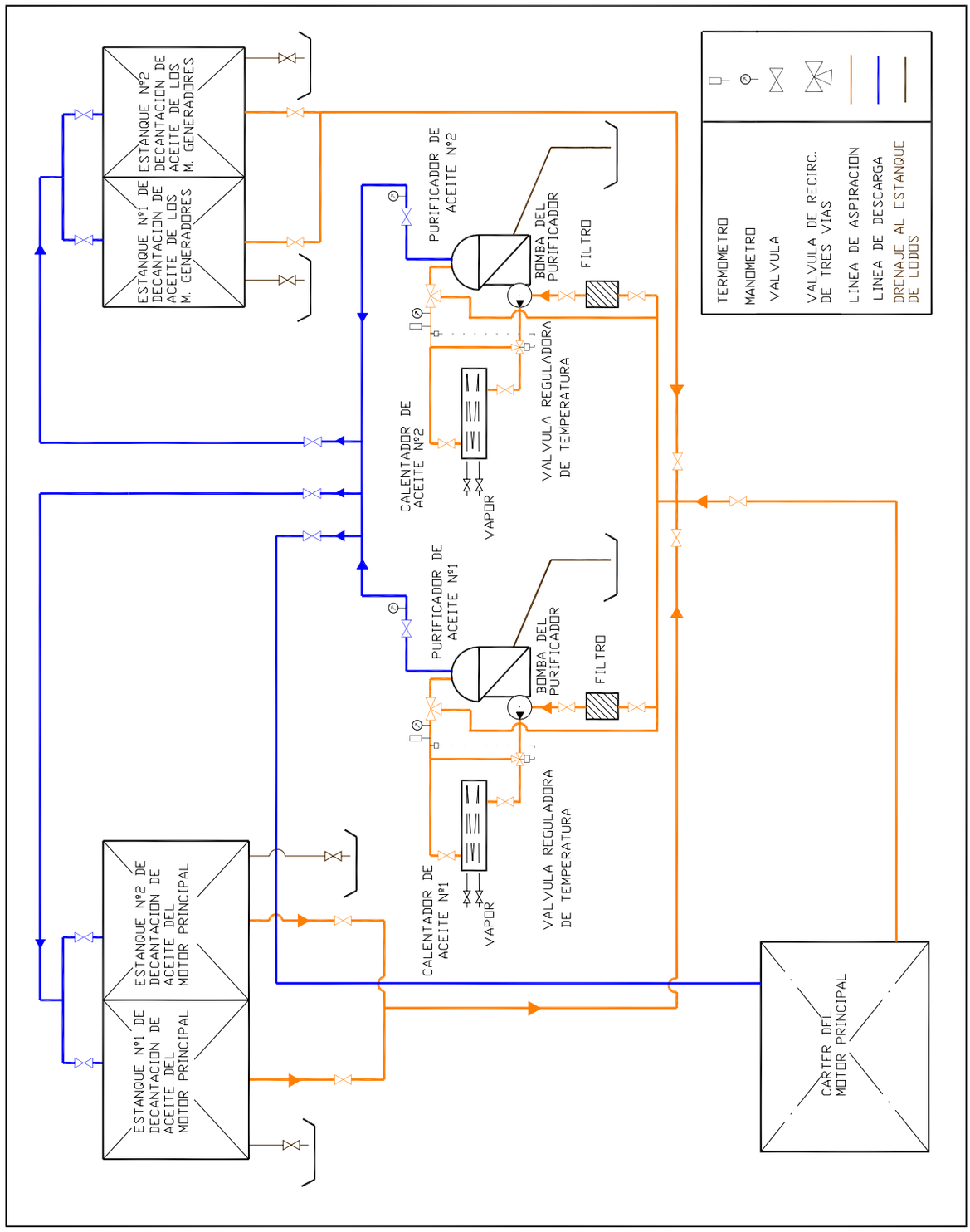

Figura 5.1 Circuito de purificación de aceite.

El separador centrífugo.

El centrifugador de tipo disco esta formado por numerosos discos de cono truncado en el interior del "*b*owl", y el comportamiento de la separación por sedimentación ocurre en los espacios entre los discos.

Por lo tanto, la estructura del centrifugador de este tipo es más complicado que en uno de estructura cilíndrica, y el número de revoluciones es alrededor de 40000 a 10000 r.p.m. Debido a los discos, el área de sedimentación es mucho mayor que en un *bowl* de estructura cilíndrica.

El sistema de centrifugación de paso a paso es mayormente utilizado para la separación de líquido-líquido o sólido-liquido que contengan pequeñas cantidades de sólidos.

Por otro lado en el caso de la separación de “sólido-líquido” o “sólido-líquido-líquido” que contengan una gran cantidad de partículas sólidas el centrifugador con válvula de descarga o con tobera de descarga, es capaz de sacar las partículas sólidas acumuladas durante la operación.

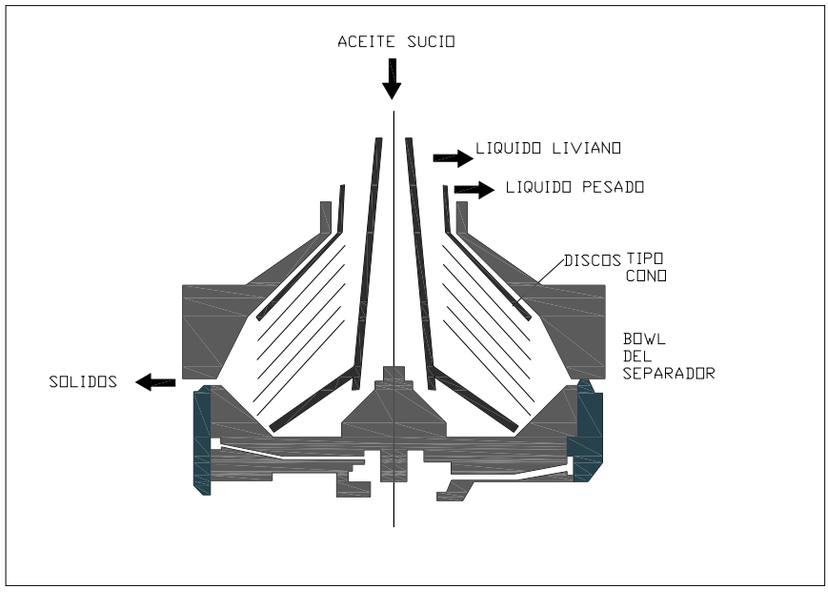

Figura 5.2 Separador centrífugo de discos.

Principio de separación centrífuga.

El centrifugador (separador centrífugo), trabaja la separación por la sedimentación en centrifugado. La figura 5.4 muestra la sedimentación por gravedad bajo condiciones estáticas, la que es sustituida por la sedimentación centrifuga como muestra la figura 5.5.

En ambas sedimentaciones, gravitatoria y centrifuga la separación sucede por medio de la diferencia de gravedad específica entre la mezcla de líquidos, reemplazando la fuerza de gravedad por la centrifuga, para la última.

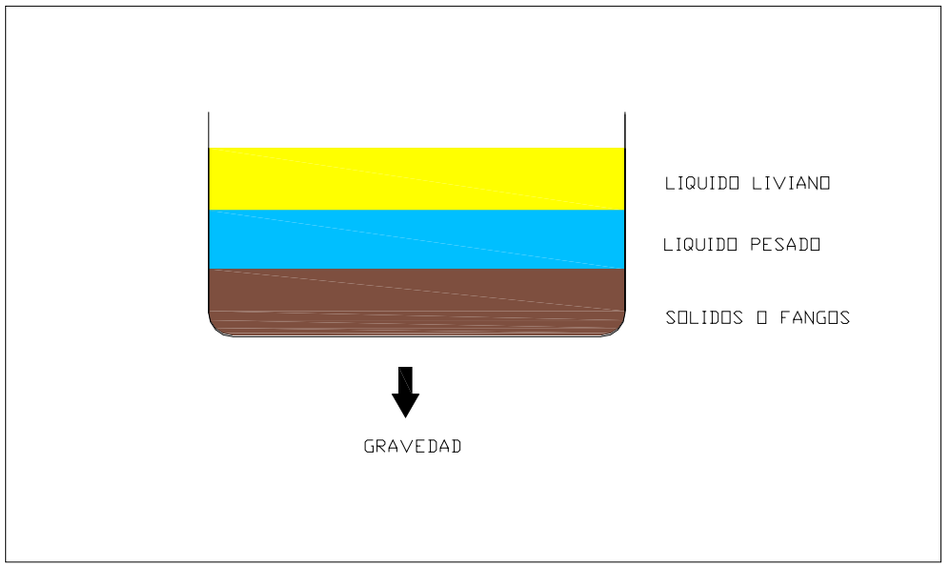

Figura 5.4

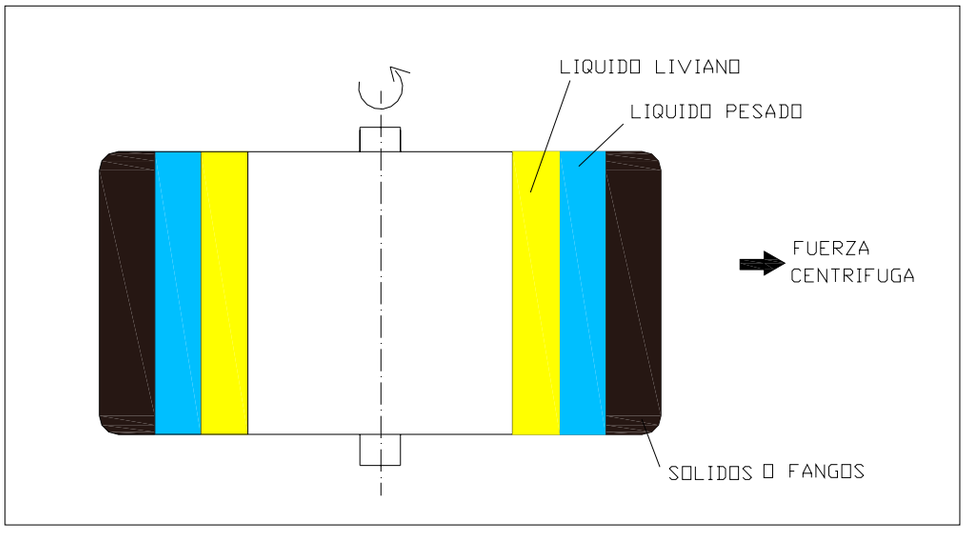

Figura 5.5

Disco de gravedad.

Como fue mencionado anteriormente, en el caso del centrifugador se utiliza la diferencia de gravedad específica entre la mezcla de líquidos, por lo que es imposible cambiar la posición de la interfase del líquido liviano y el pesado, debido a su estructura.

Por lo tanto, en el centrifugador se debe ajustar la posición de salida de un líquido liviano y la del pesado de acuerdo a la diferencia de gravedad específica entre la mezcla de los líquidos, de este modo la interfase puede localizarse en una posición fija dentro del *bowl*.

El ajuste normalmente ocurre en el lado del líquido pesado y el “disco de gravedad” juega un papel importante en esta tarea.

El principio del disco de gravedad es el siguiente:

Con el objetivo de hacer más fácil su entendimiento, se considerara un tubo en “U” para la sedimentación por gravedad (figura 5.6), donde se alimenta agua por el lado “a” y aceite por la

entrada “b”, como la gravedad especifica del aceite es menor a la del agua, los niveles entre ambos lados del tubo serán diferentes como se muestra en la figura 5.7.

En la figura 5.7 se llamaran a los niveles de agua y aceite sobre la interfase O-O’ de ambos líquidos como h_w y h_o, y las gravedades especificas como γ_w y γ_o respectivamente. De donde obtenemos la siguiente ecuación.

$$\gamma_o \cdot h_o = \gamma_w \cdot h_w$$

$$\frac{\gamma_o}{\gamma_w} = \frac{h_w}{h_o}$$

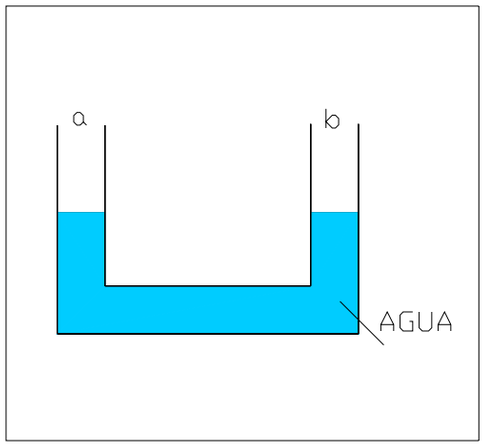

Figura 5.6

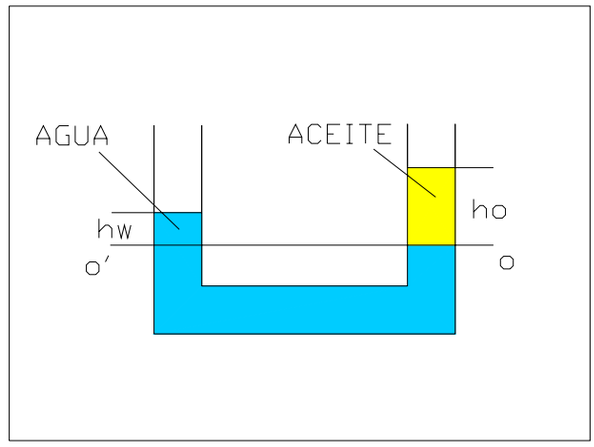

Figura 5.7

Como muestra la figura 5.8, se ha instalado una entrada para la alimentación de mezcla de líquidos en la línea O-O’ de la figura 5.7 y además se han instalado salidas a las alturas de los niveles respectivos.

En la figura 5.8, si solo fuese alimentada agua por la posición “O”, solamente saldría agua por el lado de la descarga de agua, y en el caso que se alimente aceite, solo saldría aceite por su lado de descarga, en ambos casos el nivel de la interfase O-O’ no varía.

Además es fácil de comprobar que si se alimenta por la posición O una mezcla de agua y aceite sin importar la razón de la mezcla, el aceite y el agua fluirán por sus salidas respectivas, y el nivel de la interfase se mantendrá constante.

Anteriormente se explico la relación entre el agua y el aceite sólo aplicando la gravedad en un tubo en U. Ahora si colocamos el tubo en U horizontalmente (figura 5.8) y hacemos actuar una fuerza centrifuga en vez de la gravitatoria sobre el tubo, la relación sobre el agua y el aceite será la misma.

En el caso del campo centrífugo, la relación entre la gravedad específica y los diámetros de los dos líquidos se muestra en la siguiente ecuación.

$$\frac{\gamma_o}{\gamma_w} = \frac{(D^2 - d_w)}{(D^2 - d_o)} \qquad (1)$$

Nota: la razón γ_o/γ_w es llamada razón de gravedad específica.

En el caso del campo centrífugo, la línea O-O' mostrada en la figura 5.8 esta formada en la posición D determinada por la rotación, y las alturas h_w y h_o son sustituidas por las diferencias de altura entre la línea D y las alturas de cada salida como muestra en la ecuación (1).

La figura 5.8 muestra el caso de un *bowl* centrífugo. Para cualquier d_o, d_w o D necesitan ser ajustados para la gravedad específica del líquido a ser tratado, pero generalmente en el caso de este tipo de centrifugador, como d_o y D son fijos, el ajuste debe ser hecho con d_w con relación a la gravedad específica del líquido a ser tratado. Con el objetivo de cambiar d_w, el centrifugador consta con una serie de discos cambiables con algunas diferencias entre ellos, los que son llamados discos de gravedad.

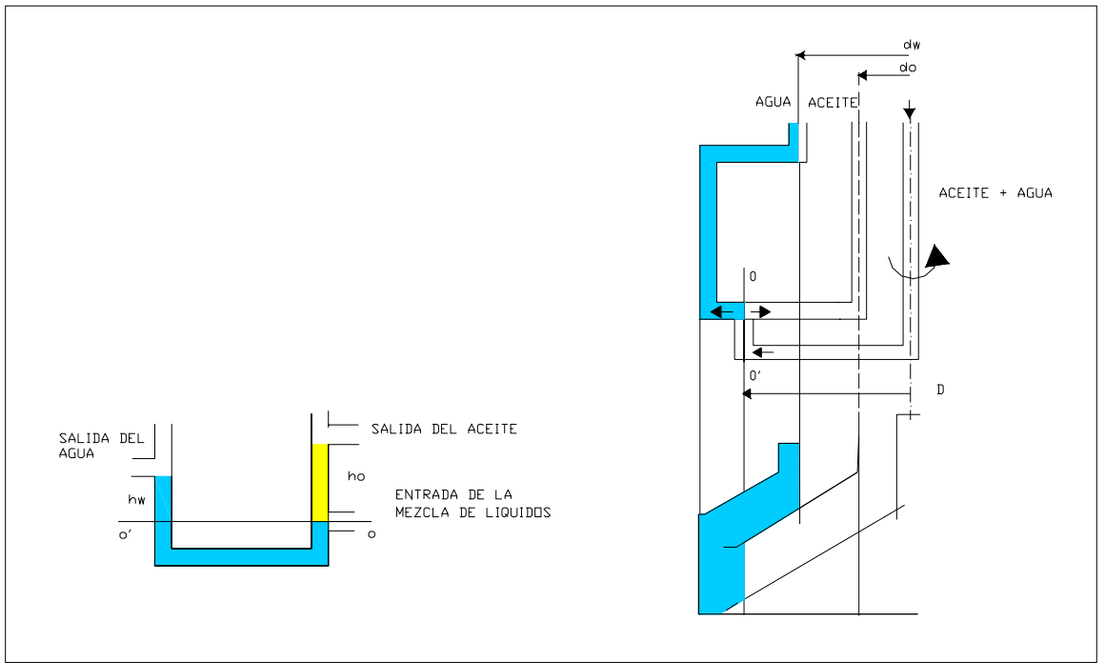

Figura 5.8

Agua de sello.

En la figura 5.8, suponiendo que primero se alimenta el aceite cuando el *bowl* esta vacío, el aceite fluirá por la salida del agua. De acuerdo a esto, es necesario alimentar primero el agua

con el objeto de sellar la salida de esta agua. Una vez que la capa de agua ha sido formada dentro del *bowl*, se alimenta el aceite el que se descarga por la salida del aceite.

El agua alimentada previamente es llamada “agua de sello”.

Para el agua de sello la atención debe ser puesta en razón del flujo. Cuando el agua es alimentada al interior del *bowl*, esta fluirá por la descarga de agua, mientras el flujo sea pequeño, pero si este se incrementa, el agua saldrá por la descarga de aceite tanto como sea la razón a la cual ingrese el agua. La cantidad del fluido en este periodo de tiempo es llamada “capacidad crítica de descarga del lado del líquido pesado (agua)”. Esta difiere de acuerdo al modelo del separador y al disco de gravedad utilizado.

Si se introduce el agua de sello en un periodo mayor al de la descarga crítica, la cantidad de agua de sello será excesiva y fluirá por ambas descargas, la de agua y de aceite. La cantidad deseable de agua de sello es alrededor del 70% – 80% de la capacidad crítica de descarga.

Es ideal seleccionar el disco de gravedad adecuado, de acuerdo a la gravedad específica para que la interfase de separación pueda ser posicionada en el borde externo del agujero del disco y el disco, y se alimente agua de sello para alcanzar esta interfase de separación. Si el aceite sucio es alimentado de manera muy rápida, una parte del agua de sello será conducida por el aceite hacia el lado de descarga de aceite, por lo tanto la cantidad de agua de sello que es alimentada debe ser pequeña, pero suficiente para alcanzar el borde externo del disco.

Por consiguiente, el tiempo de alimentación del agua de sello es decidido sobre la relación entre la cantidad y la velocidad del flujo.

Teoría de separación y cantidad de tratamiento.

a) Teoría y mecanismo de separación.

Varios discos apilados con formas de conos truncados han sido incorporados en el interior del *bowl* con el propósito de aumentar la eficiencia de la separación. El efecto de los discos es el siguiente:

El líquido al ser tratado fluirá a través del distribuidor a los espacios entre los discos en dirección de la flecha en la figura 5.9, Y las partículas sólidas serán tomadas y separadas en los espacios entre los discos, y el líquido purificado saldrá por su descarga correspondiente (esto es por la descarga del liquido liviano).

Una explicación detallada del efecto de separación de los espacios entre los discos es la siguiente:

En la figura 5.10 las partículas sólidas mezcladas en el líquido estarán sujetas a la fuerza centrífuga y serán forzadas a fluir al punto “a”. De acuerdo a esto, en la dirección de “x”, una partícula tendrá la velocidad debido a la diferencia entre la velocidad del fluido y el componente de la velocidad de sedimentación “x” debido a la fuerza centrífuga, mientras que en la dirección

del componente “y”, la velocidad del componente de sedimentación, por lo que la partícula se moverá alrededor del lugar geométrico indicado por la línea segmentada de la figura 5.10 y alcanzara el punto “a’” en el lado posterior del disco. Por otro lado, la velocidad del líquido es cero en el lado trasero del disco en la dirección de “x”, ya que el flujo de los fluidos es laminar entre los discos. Como resultado una partícula sólida estará sometida solamente a la fuerza centrífuga y luego se moverá al espacio de sedimentación en el *bowl*, deslizándose al lado posterior del disco.

Así se ha realizado la separación y remoción de partículas sólidas.

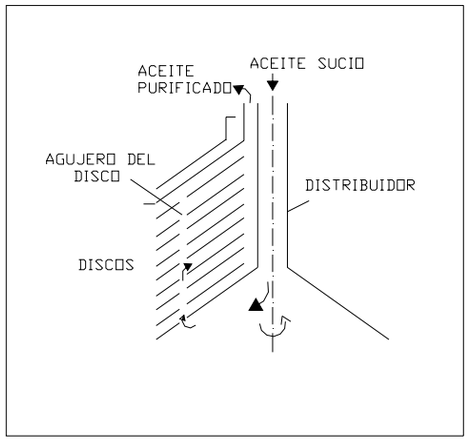

Figura 5.9

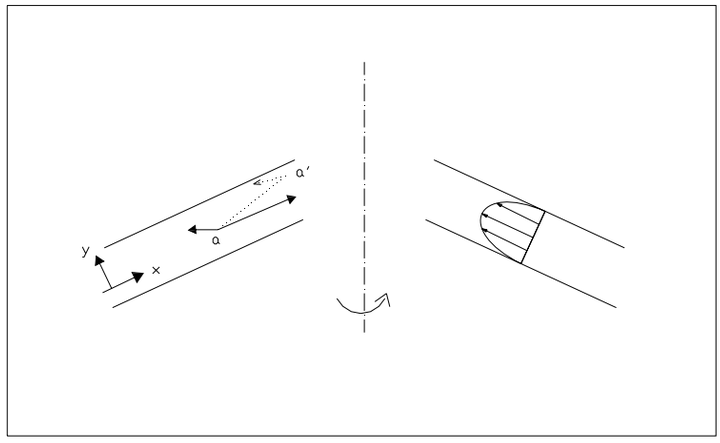

Figura 5.10

Una explicación más clara acerca de la capacidad de separación es la derivación de la ecuación cinemática basada en el movimiento de una partícula como se muestra en la figura 5.11, aquí solo el resultado será descrito.

$$Q = \frac{(\rho_s - \rho_L)\, g\, d^2}{18\,\mu} \cdot \frac{2\,\pi\, n\, \omega^2 (r_2^3 - r_1^3)}{3\, g \tan\theta} \qquad (2)$$

$$S = \frac{2\,\pi\, n\, \omega^2 (r_2^3 - r_1^3)}{3\, g \tan\theta} \qquad (3)$$

$$Q = \frac{(\rho_s - \rho_L)\, g\, d^2}{18\,\mu} \cdot S \qquad (4)$$

Q : Cantidad a tratar	cc/seg.
ρ_S : Densidad de la partícula sólida	gr/cm^3.
ρ_L : Densidad del líquido	gr/cm^3.
g : Aceleración de gravedad	cm/s^2.
d : Diámetro de la partícula tomada	cm.
μ: Viscosidad absoluta	g/cm * seg.

S : Área de sedimentación centrífuga cm^2.

n : Número de discos

ω: Velocidad angular del *bowl* 1/seg.

r_2 : Radio exterior del disco cm.

r_1 : Radio interior del disco cm.

θ: Angulo medio del disco

En la operación centrífuga, la ecuación (4) es extremadamente importante. Es decir, que la cantidad de tratamiento variara a la inversa de la viscosidad absoluta y directamente al cuadrado del diámetro de la partícula.

Al tratar el aceite, la temperatura del tratamiento es muy importante ya que la viscosidad varia con la temperatura.

Por otro lado, por la relación entre la cantidad del aceite a tratar y el diámetro de la partícula, se puede decir: a menor cantidad de tratamiento, el diámetro de la partícula será menor, esto quiere decir que la partícula más fina será removida.

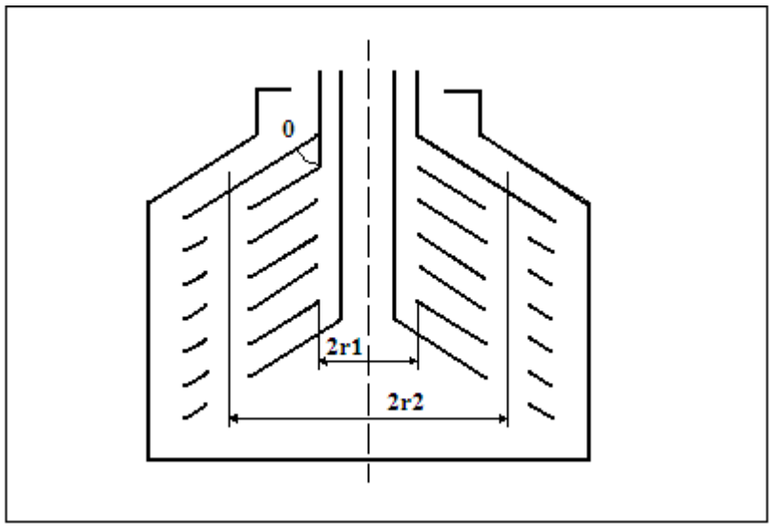

Figura 5.11

5.3 CADENA FILTRANTE.

La función de los filtros es una depuración separando los sólidos de fluidos por el paso a través de una pared porosa, los factores que influyen en la elección de un filtro son:

- Las características de los sólidos a retener, sus dimensiones y su concentración.
- Las características de los fluidos que los transportan, su densidad, su viscosidad y presión.
- El grado de filtración que se desea obtener.

- La curva de perdida de carga en el tiempo y su limite superior.

En algunos buques o embarcaciones pequeñas no se justifica el gasto en equipos de centrifugación, por lo que se confía en que los filtros mantendrán el aceite libre de partículas y en buenas condiciones. Generalmente los filtros consisten en pliegues de papel u otro material fibroso, mallas de metal, con un tamaño nominal de poro denominado en micras (1 micra=10^{-6} m, en milímetros corresponde a 0,001mm).

La mayoría de los sistemas de lubricación están equipados de una malla metálica filtrante muy fina ubicada en la succión de la bomba, para remover las partículas en el aceite. Estas deben ser inspeccionadas periódicamente y examinado las partículas encontradas en ellas, con lo que se puede detectar una falla mecánica.

La utilización de filtros ha mejorado debido a la utilización de aceites altamente dispersantes, los que mantienen el lodo y los barnices en suspensión, de tal forma que al pasar por el filtro, son atrapados.

Con el tiempo, los pequeños espacios entre las fibras del filtro se obstruyen por lo que requieren de limpieza o ser cambiados.

Para filtrar el aceite se emplean disposiciones independientes o simultaneas.

5.3.1 Clasificación de los filtros de acuerdo a su instalación.

Para filtrar el aceite se emplean dos disposiciones independientes o simultáneas.

Filtro en derivación.

Una parte del aceite impulsado por la bomba es recogido en el circuito y desviado hacia el filtro. Después de filtrado, este aceite vuelve al cárter. La cantidad de aceite desviado de esta manera es pequeña respecto al consumo de la bomba par evitar las pérdidas de carga en el circuito de lubricación. Con este sistema se necesita un cierto tiempo para que todo el aceite sea filtrado.

En general este esta disposición en derivación permite un filtrado más perfecto, pues la perdida de la carga debida al filtro no afecta la lubricación del motor.

Filtro en serie.

El filtro esta situado en el circuito de impulsión de la bomba y todo el aceite pasa por él antes de ser distribuido a los distintos puntos de lubricación.

Esta disposición requiere colocar una válvula *by-pass* que permita incomunicar el filtro en caso de obturación.

5.3.2 Clasificación de los filtros de acuerdo a su operación.

Pueden distinguirse dos tipos distintos de filtros de aceite: Los filtros estáticos y los filtros dinámicos.

Los filtros estáticos.

Pueden ser de variados tipos:

.- Filtros de tela metálica.

.- Filtros magnéticos.

.- Filtros de discos apilados.

.- Filtros de elementos filtrantes de superficie.

.- Filtros de elementos filtrantes en profundidad.

Filtro de tela metálica (Figura 5.12)

Los elementos filtrantes están constituidos de telas metálicas de mallas muy finas, cuyas combinaciones pueden tener diferentes grados de filtración, según sean las necesidades. El grado de filtrado puede alcanzar las 5 micras. Ciertos filtros en los que se emplean tela metálicas muy finas, las que están incorporadas por un procedimiento espacial a unos soportes de aleación ligera. Estos tipos de filtros detienen también por adherencia las emisiones de naturaleza gelatinosa, es decir los lodos y, por lo tanto, requieren una vigilancia atenta y periódica.

Figura 5.12 Filtro de tela metálica.

Filtros magnéticos.

La parte esencial de este filtro es un imán (corona de imanes) situado en el interior de un cartucho que se coloca en el circuito de aceite.

Este tipo de filtro detiene las partículas ferrosas e igualmente por cohesión, los restos de bronce y otros metales no magnéticos. Figura 5.13

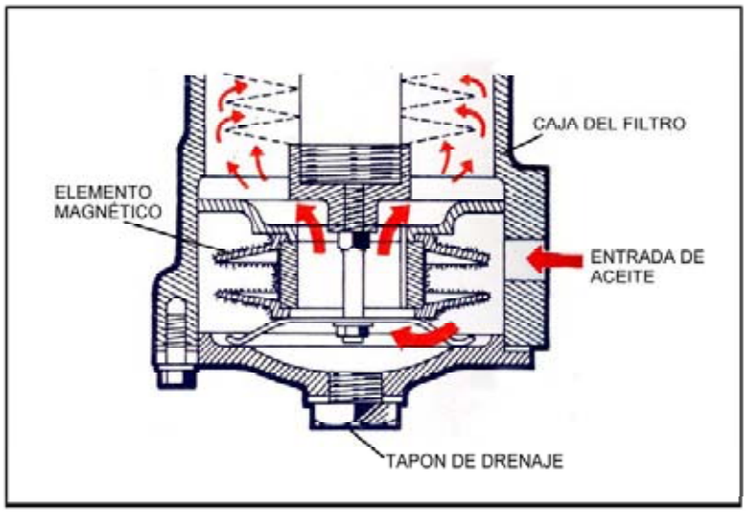

Figura 5.13 Sección esquemática de un filtro magnético.

Discos apilados (Figura 5.14).

Un gran número de discos de papel o metálicos superpuestos unos sobre otros y dejando un espacio muy pequeño entre ellos constituye una columna filtrante. El paso del aceite se realiza por unos cortes laterales en los discos; los depósitos, a veces de dimensiones notables, se reúnen en el exterior de la columna, mientras que una parte de las impurezas más finas se detienen en los espacios entre los discos.

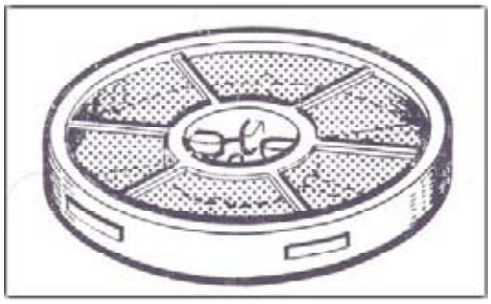

Figura 5.14 Elemento filtrante tipo disco.

Elementos filtrantes por superficie (Figura 5.15).

El elemento filtrante se presenta bajo la forma de una hoja permeable, la dimensión de sus poros condiciona la finura del filtrado.

Con el fin de reducir, la pérdida de carga se aumenta al máximo la superficie filtrante y se procura situarla en un volumen mínimo. A este efecto la hoja puede estar doblada numerosas veces sobre ella misma, generalmente en forma de acordeón, y mantener su forma por medio de una armadura metálica. Se obtiene así un cartucho filtrante que se coloca en una caja metálica unida al circuito de lubricación.

El material filtrante puede ser fieltro o un papel especial; el papel está generalmente impregnado con un producto destinado a aumentar su resistencia mecánica y, también a veces, modificar sus propiedades de atracción respecto al agua, a fin de evitar una obturación demasiado rápida.

En los dos casos, el elemento filtrante no puede limpiarse y el cartucho debe reemplazarse por uno nuevo cuando se produce la obturación.

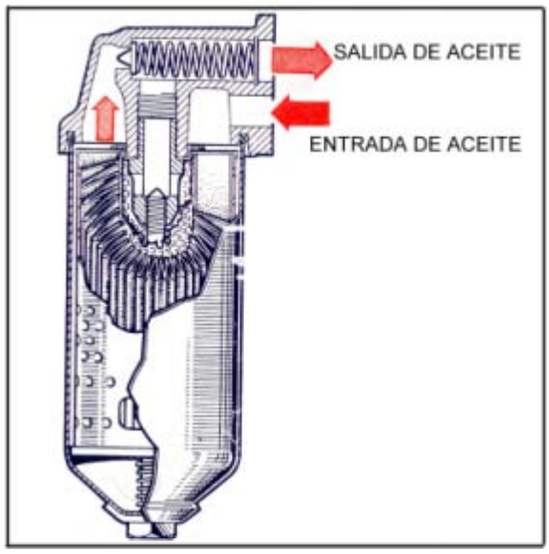

Figura 5.15 Filtro de elemento filtrante en superficie.

- *Elementos filtrantes en profundidad*.

La materia filtrante está constituida por fibra de naturaleza diversa: lana fieltro, lana de vidrio, etc., apiladas en una especie de red, de manera que forme un tubo de gran espesor.

Las fibras, dispuestas en todos los sentidos, dejan entre ellas intersticios de dimensiones muy variables y constituyen un sistema filtrante en el que se depositan progresivamente las impurezas: las mayores son detenidas cerca de la entrada, la finura del filtro aumenta progresivamente según la profundidad de penetración.

El cartucho se obtura poco a poco, en todo su espesor, debe ser reemplazado periódicamente.

Los filtros estáticos de acuerdo a su construcción pueden clasificarse en: simples, dobles o en automáticos.

- *Filtros simples* (Figura 5.16).

Estos filtros pueden ser aplicados en cualquier tipo de líquido, montándose en la aspiración o descarga, para proteger de impurezas a los elementos ubicados en la línea (bombas, válvulas, manómetros, toberas, etc.) Tamaño de filtración desde 10 micras.

Figura 5.16 Filtro estático simple

- *Filtros dobles* (figura 5.17).

Estos filtros se utilizan en procesos continuos que no se pueden interrumpir, por lo que deben cambiarse de un lado a otro para la limpieza del primero.

Figura 5.17 Filtro doble

***Los filtros dinámicos*.**

Este tipo de filtro puede ser dividido en filtros centrífugos y automáticos.

Filtros centrífugos.

El filtro centrífugo (figura 5.18) se compone de un cuerpo cilíndrico o caja cerrada por una tapa, en el interior del cual se encuentra un rotor, este gira alrededor de un eje hueco solidario de caja y que está perforado por unos orificios que ponen en comunicación la canalización de llegada del aceite del motor con el interior del rotor. Dos conductos verticales, formando cuerpo con el rotor y provistos de una tela metálica, permiten escaparse al aceite por dos toberas situadas bajo el rotor.

Cuando el aparato está conectado al circuito de lubricación de un motor, el aceite a presión penetra en el rotor, esté se llena y luego pasa finalmente por los tubos verticales. En razón de la presión que reina en el interior del rotor, el aceite sale a gran velocidad por las toberas y, por reacción, hace girar el rotor. La fuerza centrífuga que resulta de este movimiento, proyecta las impurezas contra la pared interna del rotor sobre la cual se depositan. El aceite purificado se escapa por las toberas y se dirige hacia el cárter por un gran orificio situado en la base de la caja.

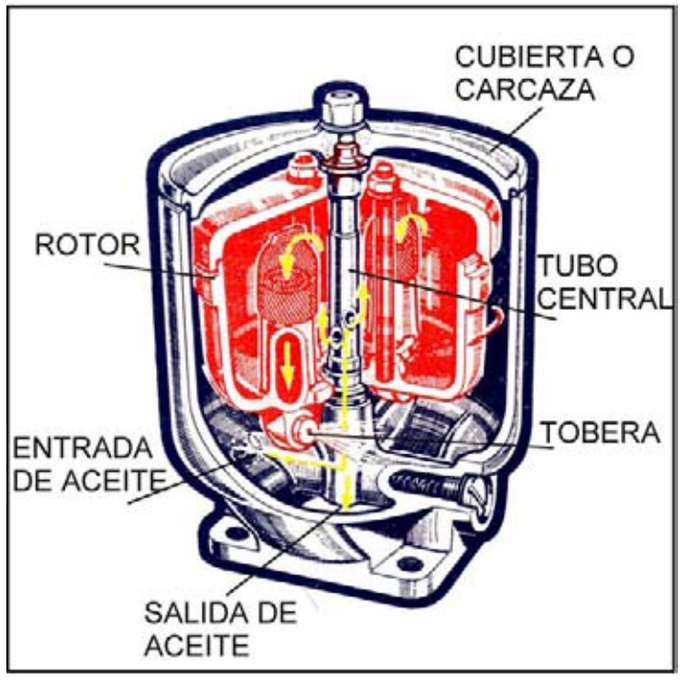

Figura 5. 18 Sección de filtro centrífugo.

Filtros autolimpiantes o automaticos.

La aplicación de estos filtros en procesos tanto continuos, donde en el aceite se presentan pocos sólidos en suspensión. Estos filtros son de discos o de elementos filtrante de estrías con

uno o más raspadores, según el modelo. La limpieza puede realizarse manualmente o por la actuación de un motor en forma continua, automática o controlado por un temporizador.

Este tipo de filtros con acción autolimpiante es considerado secundarios debido a que están ubicados después de la bomba de alimentación de aceite antes de la cual existe otro filtro al que se le llama primario.

A continuación se da como ejemplo la explicación de operación de un filtro Niikura Kogyo Co.

- Operación automática.

Cuando el sistema se encuentra en servicio la presión del lado primario P_1, a la entrada del filtro, (figura 5.19) y la presión en lado secundario P_2 (después del filtro), poseen una pequeña diferencia, pero cuando existe una diferencia sustancial, en la que P_1 es mayor que P_2, debido a la obstrucción del filtro, la válvula de operación se abre debido al aumento de presión (se abre en forma manual para cada uno de los filtros), esto hace que parte del aceite sea alimentado al motor hidráulico y a la válvula de limpieza. El motor hidráulico es movido por la presión de aceite y transmite este movimiento al filtro el cual es rotado lentamente, la zona donde se encuentra el filtro es denominada cámara de limpieza la cual posee una alta presión. La válvula de limpieza la cual se abre debido a la presión lo cual provoca una disminución de presión en dicha cámara de limpieza, descargando el aceite sucio.

- Operación manual.

La operación manual se realiza abriendo las válvulas de limpieza en forma manual y moviendo el filtro mediante la manilla, lo cual debe realizarse lentamente.

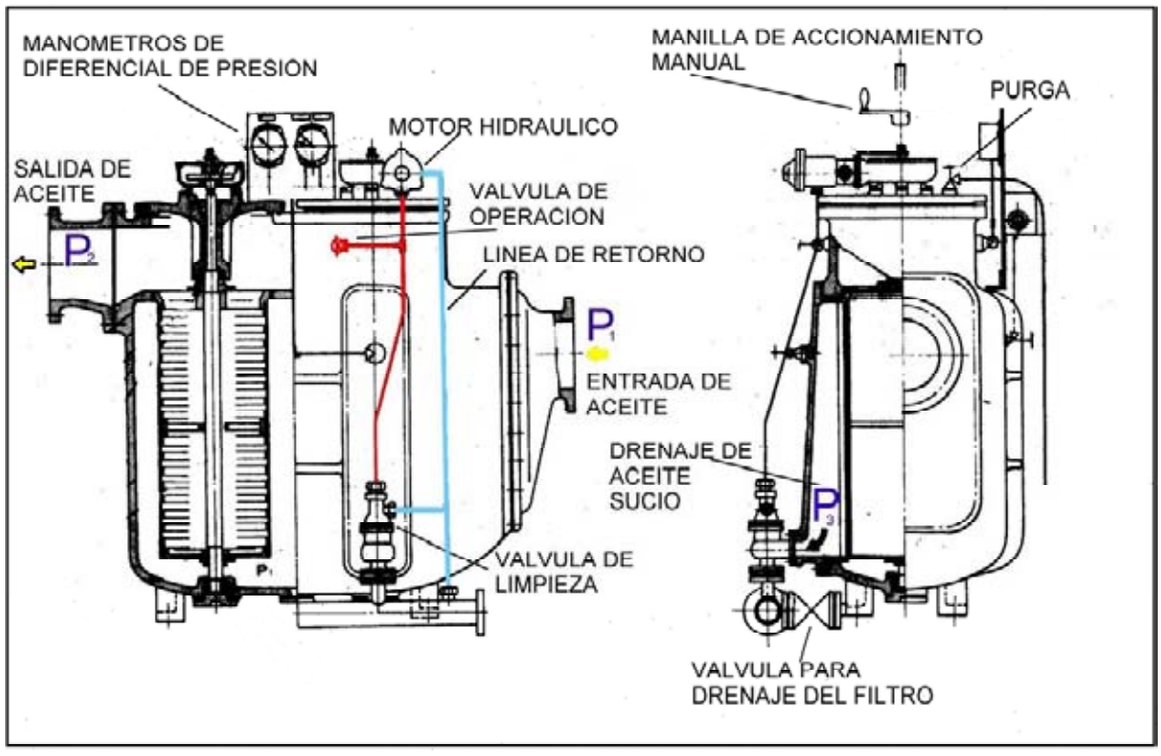

Figura 5.19 Filtro automático marca Niikura kogyo Co.

Filtro autolimpiante del tipo vela.

El elemento filtrante de estos filtros se compone de varias velas insertables de malla de iguales medidas y conmutadas en paralelo, con ello se logra una gran superficie de filtración en un volumen reducido.

Este filtro autolimpiante (Figura 4.20) consiste en una serie de cartuchos cada uno fijado al cuerpo, con elementos de tipo vela. En operación normal el flujo total de aceite lubricante del motor principal pasa a través de todos los filtros a excepción de uno que queda de reserva. Cuando un censor de diferencial de presión censa una disminución de la presión en todos los cuerpos filtrantes, se inicia un ciclo de autolimpieza cuando los filtros en operación acumulan suficientes impurezas. Si la disminución de presión a través del filtro comenzara a ser demasiado grande el flujo de aceite hacia el motor disminuiría y la presión de aceite después del filtro sería demasiado baja.

Cuando comienza el proceso de limpieza, una válvula rotatoria conducida por un motor eléctrico es rotada hasta la cámara del filtro que esta en reposo, el cual es puesto en la línea y la entrada y salida del aceite de cada una de los otros cuerpos son cerradas. Entonces es aplicado aire comprimido directamente en las cámaras, que se encuentran ahora fuera de servicio, en dirección contraria al sentido del flujo normal del aceite, la cual que limpia las impurezas acumuladas en el filtro, luego se abre una válvula ubicada en la base del filtro automático por donde sale el aceite sucio.

El ciclo de limpieza es completado cuando las cámaras vacías son rellenadas con aceite, y una cámara limpia se convierte en la nueva cámara de relevo. El aceite sucio sacado de las cámaras es reciclado en un filtro con cartucho desechable y retornado al cárter del motor.

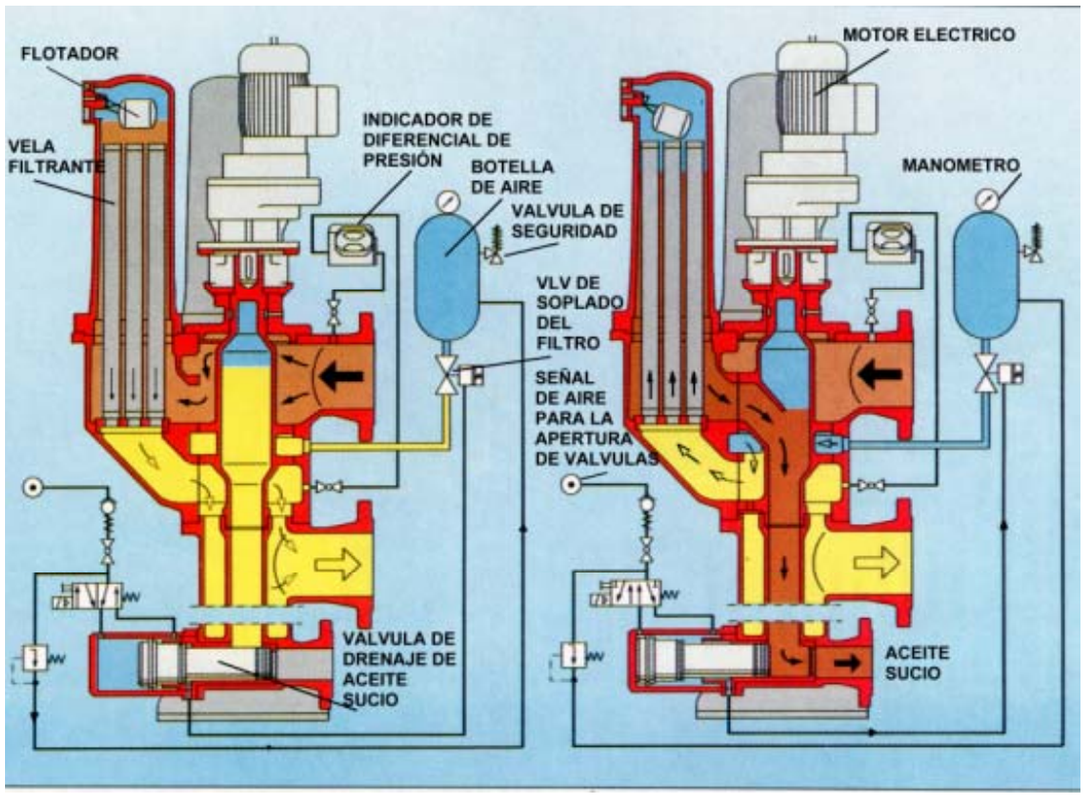

Figura 5.20 Diagrama de un cartucho de un filtro autolimpiante tipo vela, a la izquierda el filtro en condición normal de funcionamiento y a derecha en proceso de soplado.

5.4 ANÁLISIS DE ACEITES USADOS.

Al momento de elegir un lubricante, se escoge por sus propiedades de acuerdo a condiciones de operación para el servicio que es requerido.

Durante el periodo de servicio, el lubricante sufre de la disminución de sus propiedades y en un momento dado es incapaz de satisfacer sus funciones, los responsables de que ocurra esto son los siguientes factores:

- La pérdida de las propiedades asociadas a los aditivos.
- La contaminación del aceite.
- El consumo del lubricante.

El aceite pierde sus propiedades asociadas a los aditivos de forma gradual, de la misma manera que gradualmente aparece la contaminación y sucede el consumo, por lo que la capacidad del lubricante por cumplir sus funciones disminuirá también paulatinamente.

El aceite del motor principal es purificado a bordo de manera constante, además las pérdidas son rellenadas con aceites nuevos, lo que regenera las propiedades del aceite, así el aceite puede mantener sus características por miles de horas permitiendo al lubricante cumplir su función.

Las condiciones de operación poseen una relación directa en la rapidez en que suceda la degradación del aceite lubricante. En un motor en condiciones de operación normales el aceite sufrirá una degradación normal a lenta, pero en un motor que posea un mal funcionamiento el efecto será relativamente más rápido. Por medio de un análisis regular del aceite lubricante es posible conocer la condición del aceite y además la condición del motor o el equipo auxiliar al que pertenezca el aceite. Esto permite realizar las acciones correctivas necesarias sobre el equipo o el aceite.

Los análisis que se realizan a los aceites se efectúan sobre características que se verán más adelante. Estos análisis pueden ser efectuados tanto en laboratorios externos o internos a bordo del buque.

Para que se efectúe un buen análisis de aceite es necesario que la muestra sea tomada de forma correcta, la que debe ser representativa del lubricante que se esta utilizando, y debe ser enviada lo más pronto posible al laboratorio (en caso de efectuarse análisis externos) para recibir en forma rápida los resultados de éste, en caso de que se realicen los análisis a bordo estos deben realizarse con la misma prontitud.

Para la obtención de la muestra, la cual es relativamente pequeña pero suficiente para realizar los análisis, (generalmente es de unos 500 ml), se deben considerar las siguientes precauciones:

- El recipiente usado debe estar limpio y seco, puede ser limpiado con un solvente de limpieza.
- Debe establecerse un punto de muestreo para cada maquinaria, preferentemente donde el aceite fluya libremente, esto hará más fácil la posterior comparación con análisis anteriores.
- La muestra debe ser tomada cuando el equipo se encuentre en condiciones normales de operación, carga y r.p.m.
- Se debe drenar alrededor de un litro de aceite por donde sé esta tomando la muestra para remover cualquier partícula de agua o sedimento atrapado en la línea.

Algunos ejemplos de puntos donde se debe realizar el muestreo son los siguientes (tabla 5.21)

Motor principal	En la descarga de la bomba circuladora de aceite.
Compresores	En el punto medio del cárter o en la línea de retorno de los descansos.
Engranajes	En la línea de retorno antes del filtro.
Sistemas hidráulicos	En la línea de retorno antes del filtro.
Bombas	En la línea de retorno de los descansos.
Turbinas	En la línea de retorno de los descansos.
Tanques de almacenamiento	Se extraen muestras de la superficie y del fondo y se mezclan por partes iguales.

Tabla 5.21 Puntos de muestreo en diferentes equipos.

El análisis de aceite usado, se realiza a bordo cada semana, o por alguna circunstancia especial cuando se piense de la existencia de una posible contaminación, los análisis efectuados a bordo comprende, gravedad especifica, viscosidad, porcentaje de agua en el aceite y T.B.N. de esta manera se puede observar la evolución del aceite de una manera paulatina. Los análisis realizados por laboratorios externos se efectúan sólo a la maquinaria necesaria donde es económicamente justificable ya que son análisis más completos. El intervalo de tiempo en forma general en cual se realiza el muestreo para los análisis de laboratorio externo son los siguientes (tabla 5.22).

Motor con cruceta	4-6 meses
Motor sin cruceta	4-6 meses
Turbina a vapor	6-12 meses
Motores auxiliares Diesel	6-8 meses
Tubo de codaste	Como sea requerido (usualmente 4 muestras por año)

Tabla 5.22 Periodos de muestreo para análisis de laboratorios externos.

Los análisis realizados a los aceites dependen del tipo de lubricante y su servicio.

Los métodos de ensayo utilizados son generalmente los normalizados (ASTM, IP, DIN), a no ser que la empresa elija otros métodos más económicos.

Los principales análisis de laboratorios externos son: de apariencia, contenido de agua, viscosidad cinemática a 40°C, T.B.N., elementos insolubles y punto de inflamación.

- Apariencia.

Esta prueba se realiza por inspección visual, puede dar una indicación inicial de los problemas potenciales en el aceite y nos indicaría hacia donde dirigir los análisis. El encontrarse con un color inusual, la presencia de hollín, si se encuentra emulsionados con agua, la existencia de depósitos.

- Porcentaje de agua.

Durante el servicio del motor el aceite corre el riesgo de contaminarse con agua, la cual puede provenir de la condensación de vapor dentro del cárter de los motores Diesel de cárter seco, o de filtraciones, las que pueden ser en los enfriadores, de la camisa del cilindro o del mal funcionamiento de los separadores centrífugos, etc.

La presencia de agua en los aceites debería ser evitada, ya que puede causar oxidación corrosión, lubricación inapropiada, un intercambio de calor inapropiado, y podría llevar a la formación de sedimentos en la presencia de otras impurezas, además el agua eventualmente puede reaccionar con ciertos aditivos del lubricante, especialmente con aquellos que producen la

reserva de alcalinidad (T.B.N.), desestabilizándolos y haciéndolos más o menos insolubles en el aceite. En estas condiciones existe la posibilidad de obstrucción de filtros, además de la disminución de la reserva de alcalinidad.

La cantidad de agua presente es determinada por el gas producido al entrar en contacto el agua con una muestra de carburo, el porcentaje de agua se realiza de acuerdo a la cantidad de aceite utilizado y la presión entregada por la reacción.

Las figuras 5.23 a 5.27 se muestran las diferentes etapas del análisis del porcentaje de agua en el aceite, en el primer paso (figura 5.23) con el instrumento de medición limpio se agrega el reagente hasta la marca en el interior del instrumento o si es que no la posee 15 ml, este reagente es un diluyente o parafina, la cual diluye la muestra de aceite al realizar el análisis. El segundo paso (figura 5.24) se agregan 5 ml de aceite mediante una jeringa, luego en el tercer paso (figura 5.25) se abre un sobre de reactivo, el cual es a base de carburo, el cual reaccionara con el agua presente en el aceite, y se coloca el sobre verticalmente en el recipiente, luego se coloca la tapa (figura 5.26) y se agita, se debe esperar 5 minutos y leer el valor indicado (figura 5.27), si la aguja se desplaza más allá de 1,2% se debe inmediatamente abrir la tapa para disminuir la presión. Si el contenido del agua esta por sobre el 1,2%, se debe utilizar una menor cantidad de aceite en esta prueba, y el valor del resultado se debe obtener de la siguiente formula.

$$\% \text{ Real} = \frac{(\% \text{ del instrumento} * 5)}{\text{ml de muestra}}$$

Figura 5.23

Figura 5.24

Figura 5.25

Figura 5.26

Figura 5.27

- Viscosidad cinemática a 40°C. (Cst)

Los lubricantes se clasifican en grados de viscosidad definidos por un límite inferior y superior de viscosidad.

Los componentes generados en un aceite por la oxidación tienden a aumentar y cambiar la viscosidad inicial del aceite.

La variación de viscosidad se origina por la oxidación por la presencia de sedimentos y productos insolubles en el aceite, y por la presencia de combustible en el aceite.

La viscosidad puede ser medida por distintos métodos, evaluando el tiempo en que se toma una cantidad determinada de aceite a una determinada temperatura en pasar por un orificio estándar, o el tiempo en que una bola se demora en pasar por el interior de un tubo relleno con aceite, etc.

El resultado del análisis de viscosidad no puede usarse por si misma para indicar la condición del lubricante pero sirve en conjunto con otras propiedades, esto debido a que puede suceder que exista un contaminante que disminuya la viscosidad y otro que produzca el aumento

quedando el valor de la viscosidad dentro de los límites, por esto se deben leer los resultados en conjunto para observar el verdadero estado del aceite.

Figura 5.28 Viscosimetro de la marca Kittiwake.

- Reserva alcalina o numero básico total (T.B.N. mg KOH).

Durante la utilización del aceite en el motor puede entrar en contacto con una cantidad de gases de agresividad variable, producidos por la combustión. El azufre que posee el combustible entra en contacto y reacciona con el aire durante la combustión para formar gases sulfurosos. La mayoría de estos gases salen por el múltiple de descarga, algunos entran en contacto con el vapor de agua formado durante la combustión pudiendo producir ácido sulfúrico, el cual debe ser neutralizado para evitar el desgaste corrosivo que puede provocar.

Este es el rol de los aditivos alcalinos que se consumirán químicamente durante la neutralización. La cantidad de aditivos se mide por el T.B.N. (número básico total) el que entrega la reserva de alcalinidad del lubricante, se mide en mg. de hidróxido de potasio (mg. KOH).

Los valores del T.B.N. no deben disminuir de ciertos valores ya que aumenta el riesgo de corrosión. Los valores límites son entregados por los fabricantes del aceite, como referencia se puede ver la tabla 5.34.

Las figuras 5.29 a 5.32 muestran las distintas etapas del análisis del T.B.N. en el aceite. El instrumento medidor no esta calibrado para medir directamente el T.B.N. se necesitan medir dos valores de presión, uno al aceite nuevo (presión de referencia) y al aceite usado (presión de prueba), en el primer paso (figura 5.29) se agrega una muestra de reactivo T.B.N hasta la marca interna del recipiente del manómetro de prueba, luego se agrega una muestra de aceite (figura 5.30), cuando el valor del T.B.N. varia entre 0-20 mg KOH se deben agregar 10 ml de aceite, de 20-40 mg KOH se deben agregar 5 ml de aceite y si el valor es entre 40-50 mg KOH se deben agregar 2.5 ml de aceite. Como tercer paso (figura 5.31), se tapa y agita durante dos minutos,

luego se lee el valor (figura 5.32), el cual será de prueba o referencia dependiendo si el aceite que se utilizo era usado o nuevo respectivamente.

Figura 5.29

Figura 5.30

Figura 5.31

Figura 5.32

El valor del T.B.N. del aceite usado se realiza de acuerdo a la formula de más abajo, los valores de “y” se obtienen de la tabla 5.33.

T.B.N aceite usado = Valor de y * Valor de T.B.N del aceite nuevo

Presión de referencia (aceite nuevo)

1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	
0,6	0,5	0,4															0,5
1	0,8	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4											1
	1	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4						1,5
		1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4		2
			1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	2,5
				1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	3
					1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	3,5
						1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	4
							1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	4,5
								1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	5
									1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	5,5
										1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	6
											1	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	6,5
												1	1	0,9	0,9	0,8	7
													1	1	0,9	0,9	7,5
														1	1	0,9	8
															1	1	8,5

Presión de prueba (aceite usado)

Tabla 5.33 Valores de “y” para el cálculo del T.B.N.

- Contenidos de productos insolubles (ppm).

Durante el servicio el lubricante se contamina con productos sólidos de origen interno como hollín, partículas de carbono y productos de la hidrólisis de los aditivos, o externos como arena, polvo, óxido y fibras. Estos productos se remueven por el tratamiento centrífugo y los filtros, la cantidad de productos no debe ser muy alto, pues ponen en peligro el normal funcionamiento del motor.

Los análisis utilizados para medir los productos insolubles pueden ser, el método de insolubles de pentano y tolueno, en el que se diluye una muestra en pentano o en tolueno centrifugándola, los insolubles se separan y se pesan. La diferencia entre los insolubles en pentano y en tolueno mide el grado de oxidación del lubricante.

Otro método que determina los insolubles se realiza midiendo la opacidad de la muestra del lubricante, lo cual sólo permite evaluar las partículas de carbón y hollín.

- Contenido de metal desgastado (ppm.).

Durante la operación normal, ciertas partes del motor (anillos, cilindros, cojinetes) se desgastan. El lubricante entonces posee pequeños índices, medidos en partes por millón (p.p.m) de los diferentes metales con los cuales son fabricados los componentes del motor tales como: aluminio, cromo, cobre, estaño, hierro, plomo entre otros.

Observando los cambios en los contenidos de estos metales en el lubricante mediante los análisis periódicos, se obtiene información sobre el proceso en que se desarrolla el desgaste en el motor.

Todo aumento repentino de elementos metálicos es prueba de un mal funcionamiento o indicio de que una determinada parte del motor esta fatigada o ha llegado al termino de su vida útil.

- Punto de inflamación (°C).

El punto de inflamación se determina como la temperatura a la cual a la aplicación de una llama se inflaman los vapores producidos por la muestra de aceite. Este punto disminuye cuando existe la presencia de combustible en el aceite, obviamente la disminución es mayor con petróleo Diesel que con combustible residual.

Interpretación de los resultados y valores limites de los resultados.

Para la interpretación correcta de los análisis de los aceites en servicio, deben evaluarse las propiedades en función del tiempo. Lo cual permite dibujar curvas, las que pueden extrapolarse para estimar tendencia y pronosticar cambios en el aceite.

Si las mediciones se desvían demasiado, indican un mal funcionamiento del motor.

Se debe poner énfasis en el seguimiento de los análisis en el tiempo, debido a que sin la comparación entre éstos, los resultados son difíciles de interpretar.

Existen ciertos valores de alarma para los distinto tipos de análisis en cada tipo de aceite, sobre esto existen diferentes opiniones, ya sea del ingeniero a cargo de la maquinaria, del productor del aceite, o de la empresa manufacturera del equipo.

PROPIEDADES		VALOR LÍMITE
% DE AGUA EN V/V	MOTOR CON CRUCETA	0.05 – 1.0
	MOTOR SIN CRUCETA	0.05 – 1.0
VISCOSIDAD 40°C, mm^2/s	MÁX % DE INCREMENTO	25
	MÁX % DE DISMINUCIÓN	25
NUMERO BÁSICO TOTAL (T.B.N)	MOTOR CON CRUCETA	2.5 MENOS DEL VALOR NORMAL
	MOTOR SIN CRUCETA	VER TABLA 5.35
% DE INSOLUBLES EN PETANO	MOTOR CON CRUCETA	0.3 – 1.0
	MOTOR SIN CRUCETA	2.0 – 3.0
ADITIVOS	CALCIO	VER TABLA 5.36
	ZINC	25 % MENOS DEL VALOR NORMAL
	FOSFORO	25 % MENOS DEL VALOR NORMAL
METALES ppm	HIERRO	100 – 200 ppm
	COBRE	100 – 200 ppm
	PLOMO	50 – 100 ppm
	Al, Sn, Cr, Sb	> 15 ppm

Tabla 5.34 Valores críticos de las propiedades del aceite entregadas por Mobil.

	DELO 100 M	TARO 16 XD	TARO 20 DP	TARO 30 DP	TARO 40 XL TARO 50 XL
MOTOR PRINCIPAL					
ACEPTABLE	> 8	> 10	> 13	> 20	> 20
LIMITE	5 – 8	7 – 10	10 – 13	15 – 20	15 – 20
INSATISFACTORIO	< 5	< 7	< 10	< 15	< 15
SISTEMAS AUXILIARES					
ACEPTABLE	> 8	> 10	> 10	> 15	> 15
LÍMITE	5 – 8	7 – 10	7 – 10	10 – 15	10 – 15
INSATISFACTORIO	< 5	< 7	< 7	< 15	< 15

Tabla 5.35 Niveles de advertencia del T.B.N. y límites de censura para aceites Mobil.

	VERITAS 800 M	DELO 1000 M	TARO 16 XD	TARO 20 DP	TARO 30 DP	TARO 40 XL	TARO 50 XL
ACEPTABLE	> 1000	> 3200	> 4000	> 6000	> 8000	>10000	> 12000

Tabla 5.36 Niveles de calcio mínimos (ppm) para aceites Mobil.

De acuerdo a lo anteriormente señalado al observar los cambios en la tendencia de los resultados de los análisis es importante revisar él porque de la variación, para poder decidir de esta forma las acciones a seguir.

En el caso de presentarse una baja viscosidad, se debe comprobar: si el relleno de aceite se ha hecho con uno de menor viscosidad, si existe dilución por combustible, si al efectuar el análisis se ha producido un error al rotular las muestras.

Si el resultado del análisis arroja una alta viscosidad se debe comprobar: si el relleno de aceite se ha efectuado por uno de mayor viscosidad, si al efectuar el análisis se ha producido un error al rotular las muestras, si existe una oxidación en el aceite, no se ha efectuado el cambio de aceite a las horas de operación autorizadas, y alto contenido de insolubles.

Si se presenta una dilución por combustible se debe verificar: si los inyectores de combustible gotean, si la pulverización de estos es correcta, si existe desgaste en la bomba inyectora, y si existen fugasen las empaquetaduras de la bomba de alimentación de combustible en caso de ser acoplada al motor.

En el caso de presentarse un alto contenido de agua, se debe comprobar: la ventilación del cárter es la adecuada, una baja temperatura de operación por cualquier causa, contaminación con agua procedente del exterior, filtraciones en el sistema de enfriamiento, camisas u o-rings rotos, problemas en el sistema de purificación del aceite.

En los casos siguientes (contenido de metales), el significado del contenido y la acción correctiva varía con la marca y modelo del motor y con el producto empleado, y es afectado por la velocidad del motor y la carga. Los valores deben analizarse de acuerdo a las tendencias y condiciones del motor.

Si se presenta un contenido anormal de Silicio se debe: comprobar si la filtración del aire de barrido es adecuada, o el equipo de muestreo de aceite esta sucio.

Contenido anormal de Hierro, se debe verificar desgaste en las camisas de los cilindros, en los anillos del pistón, engranajes, válvulas, eje cigüeñal.

Contenido anormal de Cobre, se debe revisar los descansos del eje cigueñal, descansos de biela, el pasador del pistón, descansos del eje de camones, además se deben revisar los enfriadores.

Contenido anormal de Plomo, se debe revisar descansos con revestimiento de plomo.

Contenido anormal de Aluminio, se debe comprobar desgaste en descansos de aluminio y contaminación con polvo abrasivo.

Contenido anormal de Cromo se debe revisar desgaste o ralladuras en: anillos, camisas o válvulas con revestimiento de cromo.

CONCLUSIÓN

El uso del lubricante adecuado para cada mecanismo asegura una mayor economía tanto en la mantención, ahorro de energía y una mayor vida útil del equipo. Debido a que un menor coeficiente de fricción disminuye la formación de resistencias parasitarias, lo cual se traduce en una disminución de la energía necesaria para que se produzca el movimiento. Al existir un mayor roce entre las piezas de un determinado mecanismo se crea un mayor desgaste entre estas, lo que puede producir la falla del mecanismo, obligando a realizar mantenciones no programadas, las que son más costosas debido que fuerzan a detener el proceso durante periodos de trabajo, para el cambio de la pieza.

Al trabajar con el lubricante adecuado para cada condición de operación y para cada mecanismo nos entrega una mayor protección y una mayor seguridad, debido a que el rango temperaturas de trabajo del lubricante corresponden a las condiciones, asegurándonos de esta manera que se obtendrá una lubricación eficiente en todo momento.

Es necesario tener presentes la condición del lubricante usado debido a que puede salirse de los rangos aceptables, tales como la viscosidad, el TBN, porcentaje de agua entre otros, lo que nos puede producir un mal desempeño, produciendo una falla, lo que nos indica la necesidad de la realización de análisis de una manera continua y fidedigna, de muestras representativas, porque además son reflejo del estado de operación del equipo.

Los aceites lubricantes marinos, cuando la máquina exige un lubricante dotado de propiedades especiales, es necesario evaluar el comportamiento o los resultados obtenidos. Sin embargo las pruebas necesarias para evaluar en comportamiento de un lubricante requieren procedimientos largos y costosos, siendo pocos los usuarios que poseen los elementos indispensables para realizarlos.

El adquirir un producto de línea le permite al comprador beneficiarse con la experiencia anterior y asegurarse así del comportamiento y rendimiento del producto. Evidentemente es el método más aconsejable para la elección de un lubricante. Con la ayuda de sus propios ingenieros o con la ayuda de la empresa petrolera, el comprador determina los niveles de comportamiento deseados para su propio equipo y las condiciones operativas en que se desenvolverá, y luego exige que los proveedores satisfagan estos niveles con marcas cuya calidad, conveniencia y uniformidad estén debidamente garantizados.

GLOSARIO.

A continuación se entrega algunos términos que son usados en el ámbito de lubricación.

A.

Abrasión: Desgaste de la superficie, producido por rallado continuo, usualmente debido a la presencia de material extraño como tierra, o partículas metálicas en el lubricante. Esto puede también causar la rotura o resquebrajamiento del material (como en las superficies de los dientes de los engranes). Falta de una adecuada lubricación puede dar como resultado la abrasión.

Absorción: La asimilación de un material en otro, en refinación del petróleo, el uso de un líquido absortivo para selectivamente remover componentes en un proceso de flujo.

Aceite básico: La base fluida, usualmente un producto refinado del petróleo o material sintético, en el que los aditivos son mezclados para producir lubricantes terminados.

Aceite compuesto: Un aceite de petróleo al que se le han agregado otras sustancias químicas, especialmente aceites grasos.

Aceite mineral: Aceite derivado del petróleo o de una fuente mineral, a diferencia de algunos aceites que tienen origen en plantas y animales.

Aceite multigrado: Un aceite que cumple los requerimientos de más de un grado de la clasificación de viscosidad SAE y puede ser capaz de ser usado en un amplio rango de temperaturas que un aceite monogrado.

Acidez: En lubricantes, la acidez denota la presencia de constituyentes de tipo ácido cuya concentración es usualmente definida en términos de número ácido total. Los constituyentes varían de acuerdo a su naturaleza y pueden o no, influenciar marcadamente el desempeño del lubricante.

Ácido: En un sentido restringido, cualquier sustancia que contiene hidrógeno en combinación con un no metal o radical no metálico y capaz de producir iones de hidrógeno en solución.

Acumulador: Un contenedor en el que el fluido es almacenado bajo presión como una fuente de potencia líquida.

Adhesión: Un contenedor en el que el fluido es almacenado bajo presión como una fuente de potencia líquida.

Aditivo antidesgaste: Mejora la vida de elementos tribológicos que operan en régimen de lubricación escasa. Los compuestos antidesgaste (ZDDP y TCP), se descomponen entre los 90 y 100°C y aún a menores temperaturas si hubiera agua presente (de 25 a 50 p.p.m.).

Aditivo antiestático: Un aditivo que incrementa la conductividad de combustibles de hidrocarburos, para ayudar a la disipación de cargas electrostáticas durante el llenado a alta velocidad, reduciendo los peligros de explosión y fuego.

Aditivo de extrema presión (EP): Aditivo lubricante que previene las superficies deslizantes metálicas de desgastarse bajo condiciones de extrema presión. A las altas temperaturas locales asociadas con contactos metal-metal, un aditivo EP se combina químicamente con el metal para formar una película de superficie que previene de la soldadura de las asperosidades opuestas y del consecuente daño que destruye las superficies deslizantes bajo cargas altas. Compuestos reactivo de azufre, cloro o fósforo son utilizados para formar estos compuestos inorgánicos.

Aditivos: Un compuesto que mejora algunas de las propiedades, o imparte nuevas propiedades al aceite básico. En algunas formulaciones de aceites de motor, el volumen de los aditivos puede constituir hasta un 20% de la composición final. Los tipos de aditivos más importantes incluyen antioxidantes, antidesgaste, inhibidores de corrosión, mejoradores del índice de viscosidad y depresores de espumación.

Absorción: Adhesión de las moléculas de gases, líquidos o sustancias disueltas a una superficie sólida, resultando en una concentración relativamente alta de moléculas en la superficie de contacto. Ej. Revestimiento de un aditivo antidesgaste en las superficies metálicas.

Aireación: El estado de aire en suspensión en un líquido como un lubricante o un fluido.

Agente antiespumante: Uno o dos aditivos utilizados para reducir la espumación en productos del petróleo: aceite de silicona para romper las burbujas grandes y varias clases de polímeros para decrecer la cantidad de burbujas pequeñas en el aceite.

Alcalino: Una sustancia conteniendo propiedades básicas (opuesto a ácido). En un sentido restringido, es aplicado a los hidróxidos de amonio, litio, potasio y sodio. Los materiales

alcalinos en los lubricantes, neutralizan los ácidos para prevenir desgaste acídico y corrosivo en motores de combustión interna.

Antioxidantes: Prolongan el periodo de inducción del aceite básico en la presencia de condiciones oxidantes y metales catalizadores a elevadas temperaturas. El aditivo es consumido y los productos de degradación se incrementan no solo en condiciones de temperaturas elevadas y sostenidas, sino también con el incremento de condiciones de agitación mecánica o turbulencia y contaminación - aire, agua, partículas metálicas y polvo.

API Categorías de servicio de motor: Los niveles de calidad de los aceites de motor son establecidos en conjunto por el API, SAE y ASTM y algunas veces llamadas categorías SAE o API/SAE; anteriormente se les conocía como Clasificaciones de servicio para motor API.

ASTM "American Society for Testing Materials": Una asociación que desarrolla los estándares para materiales y métodos de prueba.

B

Barniz: Cuando se aplica ala lubricación, una película delgada, insoluble no limpiable de depósitos que ocurren en las partes interiores de una motor, como resultado de la oxidación y polimerización de combustibles y lubricantes. Puede causar el atascamiento y mal funcionamiento de algunos componentes. Similar a las lacas, pero más suaves que ellas.

Base: Un material que neutraliza los ácidos. Un aditivo del aceite que contiene carbonatos metálicos coloidalmente dispersos, utilizados para reducir el desgaste.

Bitúmen: También llamado asfalto, es el residuo negro viscoso que proviene de la destilación al vacío del petróleo. Consiste de hidrocarburos de alto peso molecular y cantidades pequeñas de compuestos de azufre y nitrógeno.

C

Cenizas: La medida de la cantidad de material inorgánico en el aceite lubricante. Determinado mediante el quemado del aceite y pesado del residuo. Los resultados se expresan en porcentaje en peso

Centipoises / Gravedad específica = Centistokes. Centiposie (cP): Unidad absoluta de viscosidad. 1 centipoise = 0.01 poise. Centistoke (cSt): Unidad de viscosidad cinemática. 1 centistoke = 0.01 Stoke.

Coeficiente de fricción: El número obtenido de la división de la fuerza de fricción resistiendo el movimiento de dos cuerpos entre la fuerza normal presionando entre los dos cuerpos.

Cohesión: La propiedad de una sustancia que causa que ésta resista su separación por medios mecánicos.

D

Desaireador: Un separador que remueve aire de un sistema fluido a través de la aplicación de la dinámica de las burbujas.

Demulsibilidad: La habilidad de un fluido que es insoluble en agua, para separarse del agua con la que ha sido mezclada en forma de emulsión.

Densidad de partículas: Un parámetro importante para establecer el potencial de partículas atrapadas que inciden en las superficies de control y causan erosión.

Densidad: La masa de una unidad de volumen de una sustancia. Es un valor numérico que varía de acuerdo con las unidades usadas.

Detergente: En lubricación, tanto un aditivo o compuesto lubricante que tiene la propiedad de mantener material insoluble en suspensión, para prevenir su depósito en lugares que podría ser peligroso. Un detergente puede también redispersar depósitos que ya se hayan formado.

Dispersante: En lubricación, un término usualmente empleado intercambiable con detergente. Un aditivo, usualmente no metálico ("sin cenizas") que mantiene las partículas finas de materiales insolubles en una solución homogénea. Por lo tanto, las partículas no pueden asentarse y acumularse.

E

Emulsión: Mezcla íntima de aceite y agua, generalmente de una apariencia lechosa o nebulosa. Las emulsiones pueden ser de dos tipos: aceite en agua (donde el agua es la fase continua) y agua en aceite (donde el agua es la fase discontinua).

F

Fluido Newtoniano: Un fluido con una viscosidad constante a una temperatura dada, independientemente de la tasa de agitación. Los aceites monogrados son Fluidos Newtonianos. Los multigrados no lo son, por que su viscosidad varían con la tasa de agitación o de corte.

Fluido No Newtoniano: Fluido, como una grasa, un aceite conteniendo un polímero, etc. en el que la tasa de agitación o de estrés, modifica su viscosidad.

Fluido: Una clasificación general incluyendo líquidos y gases.

Flujo Laminar: Una situación de flujo en que el fluido se mueve en láminas o capas paralelas.

Flujo Turbulento: Una situación de flujo en el que las partículas del fluido se mueven de forma aleatoria.

Fricción estática: La fuerza suficiente para iniciar un movimiento relativo entre dos cuerpos bajo carga. El valor de la fricción estática al instante relativo en que el movimiento inicia se le conoce como fricción de arranque.

Fricción fluida: Fricción debida a la viscosidad de los fluidos.

Fricción: La fuerza de resistencia encontrada en los límites de dos cuerpos cuando bajo la acción de una fuerza externa, un cuerpo se mueve o tiende a moverse con relación a la superficie del otro. FTIR = Espectroscopía Infrarroja por Transformadas de Fourier: Una prueba en la que la absorción de luz infrarroja es utilizada para determinar niveles de hollín, sulfatación, oxidación, nitración y contaminación por glicol, combustibles y agua.

G

Grado de viscosidad ISO: Un número indicando la viscosidad nominal de un fluido lubricante industrial a 40°C (104°F) como se define en ASTM D-2422 para el Sistema Estándar de Viscosidad para Fluidos Lubricantes Industriales. Esencialmente igual al estándar ISO 3448.

Grado de Viscosidad: Cualquier número de los sistemas, que caracterizan a los lubricantes de acuerdo a su viscosidad para una aplicación en particular, como industrial, motor, engranes, engranes automotrices y aceites de motores de aviones.

Grafito: Una forma cristalina del carbón que tiene una estructura laminar y que es utilizado como lubricante. Puede ser de origen natural o sintético.

Grasa: Un lubricante compuesto de un aceite o aceites, espesados con un jabón, jabones o otros espesantes a una consistencia sólida o semisólida.

H

Hidrocarburo sintético: Molécula de aceite con calidad superior a la oxidación diseñado principalmente de materiales parafínicos.

Hidrocarburos: Compuestos conteniendo sólo carbón e hidrógeno. El petróleo consiste principalmente de hidrocarburos.

Hidrólisis: Proceso de ruptura que ocurre en un fluido hidráulico anhidro como resultado del calor, agua y catálisis de metales (hierro, acero, cobre, etc.).

Índice de Viscosidad (VI): Una medida comúnmente utilizada para medir el cambio de la viscosidad con respecto a la temperatura. Mientras mayor sea el índice de viscosidad, menor será el cambio en la viscosidad con la temperatura.

Inhibidor de corrosión: Aditivo que protege las superficies metálicas contra el ataque químico por agua y otros contaminantes. Hay varios tipos de inhibidores de corrosión. Compuestos polares que cubren las superficies de metal preferencialmente, protegiéndolas con una película de aceite. Otros compuestos pueden absorber el agua incorporándose a ella como una emulsión del tipo agua en aceite, para que sólo el aceite toque las superficies del metal. Otros tipos de inhibidores de corrosión se combinan químicamente con el metal, para formar una superficie no reactiva.

Inhibidor de Oxidación: Sustancia adicionada en cantidades pequeñas a un producto del petróleo para incrementar su resistencia a la oxidación ya sea para prolongar su servicio o para alargar su vida en almacenamiento. También se le llama anti-oxidante. Un inhibidor de oxidación puede trabajar en una de estas maneras:

1) combinándose con y modificando peróxidos (productos iniciales de oxidación) para convertirlos en no peligrosos.
2) Descomponiendo los peróxidos.
3) Convirtiendo los catalizadores en productos inertes.

Inhibidor: Cualquier sustancia que reduce o previene las reacciones químicas de corrosión o de oxidación.

L

Laca: Depósito resultante de la oxidación y polimerización de combustibles y lubricantes cuando son expuestos a altas temperaturas. Similar, pero más duro que el barniz.

Lubricante: Cualquier sustancia que se interpone entre dos superficies en movimiento relativo con el propósito de reducir la fricción y el desgaste entre ellas.

N

Nafténico: Un tipo de fluido de petróleo derivado del petróleo nafténico, conteniendo una proporción alta de grupos metilenos de anillos cerrados.

Número ácido total (TAN): La cantidad de base, expresada en miligramos de hidróxido de potasio que se requiere para neutralizar todos los componentes ácidos presentes en un gramo de muestra. (ASTM D974).

Número básico total (TBN): La cantidad de ácido, expresada en miligramos de hidróxido de potasio que se requiere para neutralizar todos los componentes básicos presentes en un gramo de muestra. (ASTM D974).

P

Parafínico: Un tipo de fluido mineral, derivado del petróleo parafínico y que contiene una alta proporción de hidrocarburos de cadena lineal, saturados. Generalmente son susceptibles a problemas de flujo a bajas temperaturas.

Punto de Ignición: La temperatura a la que un líquido combustible debe ser calentado para que su vapor liberado se encienda continuamente cuando es encendido bajo condiciones especificadas.

Punto de Fluidez: La temperatura más baja a la que un aceite o un combustible pueden fluir, cuando son enfriados bajo condiciones establecidas por el método de prueba (ASTM D 97). El punto de fluidez es de 3°C (5°F) arriba de la temperatura a la que el aceite en un matraz de prueba no muestra movimiento cuando el contenedor es mantenido horizontalmente por 5 segundos**.**

Polimerización: Proceso mediante el cual las moléculas se unen “n” veces formando una gran molécula que se llama polímero.

Punto de inflamación: La temperatura a la que un líquido combustible debe ser calentado para emitir suficientes vapores, para formar momentariamente una mezcla inflamable con el aire cuando una pequeña flama es aplicada bajo condiciones especificadas. ASTM D92.

V

Viscosidad Absoluta: La relación de la tasa de agitación con el gradiente de velocidad de un fluido. Se expresa en Centipoises. Es un término utilizado intercambiablemente con Viscosidad para distinguirla de la viscosidad cinemática o viscosidad comercial. La viscosidad absoluta es la relación del estrés de corte con la tasa de estrés. Es la resistencia interna de un líquido a fluir. La unidad común de la viscosidad absoluta es el poise. La viscosidad absoluta dividida por la densidad del fluido es igual a la viscosidad cinemática. Ocasionalmente se le refiere como viscosidad dinámica. La viscosidad absoluta y la cinemática son expresadas en unidades fundamentales. La viscosidad comercial como la viscosidad Saybolt se expresa en unidades arbitrarias de tiempo, usualmente segundos.

Viscosidad Cinemática: La viscosidad absoluta, dividida por la densidad del fluido. Se expresa en centistokes. El tiempo requerido para que una cantidad fija de un aceite fluya a través de un tubo capilar bajo la fuerza de la gravedad. La unidad de la viscosidad cinemática es el stoke o

centistoke (1/100 de un stoke). La viscosidad Cinemática puede ser definida como el cociente de la viscosidad absoluta en centistokes, dividida por la gravedad específica de un fluido, ambos a la misma temperatura.

Viscosidad: Medida de la resistencia de un líquido a fluir. La medida común métrica de la viscosidad absoluta es el Poise, que es definido como la fuerza necesaria para mover un centímetro cuadrado de área sobre una superficie paralela a la velocidad de 1 cm por segundo, con las superficies separadas por una película lubricante de 1 cm de espesor. Además, de la viscosidad cinemática, hay otros métodos para la determinación de la viscosidad, incluyendo la viscosidad Saybolt, Saybolt Furol, Engler y Redwood. Dado que la viscosidad varía inversamente proporcional con la temperatura, su valor no tiene utilidad si no se relaciona con la temperatura a la que el resultado es reportado.

BIBLIOGRAFÍA

- Los aceites para motores y la lubricación de los motores.
  A. Schiling.
- Clasificación API de servicio en motor de combustión interna, para la guía de selección de los aceites para motor.
- Revista. Lubricación.
  Texaco, números 6, 7 y 8.
- Informe técnico.
  Shell.
- Lubricantes y lubricación.
  Apuntes. Sr. Harold Mayne-Nicholls B.
- Lubricación.
  DICSA Training S.A.
- Manual de lubricación marina.
  Maraven. Filial de petróleo Venezuela.
- FAST Oil analysis.
  FAMM (Fuel and marine marketing)
- Marine Synthetic Lubricants – Value not theory.
  Mobil.
- Manual técnico de productos.
  Mobil.
- Marine Diesel engines.
  C.C. Pounder
- Fuel and Lube Oil training Manual.
  Kittiwake Developments Ltd.
- www.bollfilter.com
- www.marinediesel.co.uk
- www.marineengineering.org.uk
- www.kittiwake.com