

PROGRAMA DE LUBRICACIÓN Y ENGRASE DE LOS EQUIPOS Y
SISTEMAS DE LAS UNIDADES DE LA ARMADA NACIONAL

WILLIAM FERNANDO ALVARADO SAAVEDRA
HELMER RIOMAÑA GONZALEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2005

PROGRAMA DE LUBRICACIÓN Y ENGRASE DE LOS EQUIPOS Y
SISTEMAS DE LAS UNIDADES DE LA ARMADA NACIONAL

WILLIAM FERNANDO ALVARADO SAAVEDRA
HELMER RIOMAÑA GONZALEZ

Monografía de Grado Presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director: JHON JAIRO SÁNCHEZ VELÁSQUEZ
Ingeniero Naval

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO - MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2005

DEDICATORIA

A Patricia, mi esposa y a Sergio mi hijo por su apoyo, dedicación y paciencia

A Ana Jeannett, mi esposa, Laura y Cristian Andrés, mis preciosos hijos por su comprensión y dedicación durante la ejecución del presente trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Los Autores expresan sus agradecimientos a:

A la Armada Nacional, como institución, por ser el pilar de nuestras metas y experiencias.

A las firmas ExxoMobil y Shell de Colombia, por su valiosa colaboración y orientación en la ejecución del presente trabajo.

A la Universidad Industrial de Santander – UIS-, por las enseñanzas impartidas y el profesionalismo de sus docentes.

Al Director del trabajo, por sus oportunas y acertadas observaciones.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	5
1.1 POBLACION OBJETO DEL PROGRAMA	5
1.2 MARCO GEOGRÁFICO	6
1.3 PROBLEMA	6
1.4 OBJETIVOS	7
1.5 PROPUESTA	8
1.6 RECURSOS Y APOYO LOGISTICO	9
1.7 CAMPO DE APLICACIÓN	10
1.8 METODOLOGIA	10
1.9 ESTRATEGIAS	10
2. SISTEMA TRIBOLOGICO	12
2.1 DEFINICION DE TRIBOLOGIA	13
2.2 TRIBOLOGIA VS PRODUCTIVIDAD Y RENTABILIDAD	14
2.3 CURVA TRIBOLOGICA	15
2.4 TRIBOLOGIA PRODUCTIVA	17

2.5	ELEMENTOS DE LA TRIBOLOGIA	18
2.5.1	Fricción.	18
2.5.2	Fuerza de fricción.	21
2.5.3	Coeficiente de fricción.	24
2.6	CAUSAS Y CONSECUENCIAS DE LA FRICCION	24
2.7	FORMAS DE REDUCIR LA FRICCION	25
2.8	DESGASTE	26
2.8.1	Tipos de desgaste.	26
2.8.2	Categorías del desgaste.	33
2.8.3	Consecuencias o problemas por el desgaste.	34
2.8.4	Formas de reducir el desgaste.	34
3.	LUBRICACION	36
3.1	FUNCIONES DE LA LUBRICACION	37
3.1.1	Función principal.	38
3.1.2	Funciones básicas	38
3.1.3	Otras funciones.	40
3.2	CONSECUENCIAS DE LA LUBRICACION	40

3.3	PRINCIPIOS BASICOS	41
3.4	COMPORTAMIENTO DE LA LUBRICACION	42
3.5	REGIMENES DE LUBRICACION	42
3.6	FACTORES QUE AFECTAN LA LUBRICACION	47
4.	CARACTERISTICAS DE LOS LUBRICANTES	51
4.1	CLASIFICACIÓN	51
4.2	PROPIEDADES	55
4.3	COMPOSICION	73
4.4.	CLASIFICACION DE LOS ADITIVOS	76
4.5	ADITIVOS PARA MOTORES DE DOS TIEMPOS	83
4.6	FACTORES QUE AFECTAN COMPOSICION DEL ACEITE	84
4.7	FACTORES QUE AFECTAN LA VIDA DE LOS ACEITES	84
4.8	SELECCION	86
4.9	LUBRICACION DE EQUIPOS O SISTEMAS ESPECIFICOS	87
5.	ANALISIS DE LOS ACEITES	94
5.1	TOMA DE MUESTRAS	95
5.2	PRUEBAS DE LABORATORIO	100

5.3	INTERPRETACION DE LOS ANALISIS DE LABORATORIO	103
5.4	BENEFICIOS DE LOS ANALISIS DE ACEITES	103
5.5	IMPLEMENTACION DE LOS ANALISIS	104
5.6	NIVEL DE ACEITE Y FRECUENCIA DE CAMBIO	105
5.7	ANALISIS DE DESGASTE	106
5.8	KIT O SET DE MUESTREO DE ACEITES	107
5.9	CICLO DEL ANALISIS DE ACEITES	107
5.10	EQUIPO O MALETIN PORTATIL DE PRUEBAS	109
6.	PROGRAMAS DE LUBRICACION Y ENGRASE	110
6.1	DESARROLLO DE PROGRAMAS	111
6.2	LUBRICACION CORRECTIVA	114
6.3	LUBRICACION PREDICTIVA	114
6.4	LUBRICACION PREVENTIVA	116
6.5	LUBRICACION PROACTIVA	117
6.6	PROGRAMA DE LUBRICACION Y ENGRASE PROPUESTO	117
7.	MEDIO AMBIENTE, SALUD Y SEGURDAD INDUSTRIAL	120
7.1	MEDIO AMBIENTE	120

7.2	SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	128
7.3	ALMACENAMIENTO, MANEJO, TRANSPORTE Y EMPLEO DE LOS ACEITES Y GRASAS	138
8.	GRASAS Y ACEITES HIDRAULICOS	142
8.1	GRASAS	142
8.2	SISTEMAS HIDRAULICOS	149
9.	CONCLUSIONES	156
	BIBLIOGRAFIA	157
	ANEXOS	159

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Comparación lubricantes acuerdo estado	54
Tabla 2. Grados de viscosidad de lubricantes industriales (ISO)	63
Tabla 3. Factores que afectan la composición del aceite	84

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Sistema Tribológico	13
Figura 2. Curva Tribológica	15
Figura 3. La fricción y sus efectos	19
Figura 4. Leyes de la fricción	23
Figura 5. Incrustación de partícula abrasiva	28
Figura 6. Desgaste abrasivo generado por aumento de carga	29
Figura 7. Fatiga superficial	32
Figura 8. Categorías del desgaste	34
Figura 9. La lubricación	37
Figura 10. Refrigeración del pistón	39
Figura 11. Efectos de la lubricación	40
Figura 12. Influencia del acabado superficial en espesor	41
Figura 13. Regímenes de lubricación	44
Figura 14. Lubricación elastohidrodinámica	46
Figura 15. Cojinete de empuje hidrostático	47

Figura 16. La viscosidad	56
Figura 17. Grados de viscosidad acuerdo temperatura	59
Figura 18. Selección de viscosidad	61
Figura 19. Grados de viscosidad para automotores y engranajes	61
Figura 20. Comparación de aceites por viscosidad	62
Figura 21. Variación de la viscosidad con la temperatura	68
Figura 22. Acción del mejorador del índice de viscosidad	77
Figura 23. Aditivos de aceites	82
Figura 24. Motor de combustión interna	88
Figura 25. Circuito de lubricación de motor diesel	89
Figura 26. Lubricación en turbocargadores	90
Figura 27. Lubricación de engranajes y transmisiones	92
Figura 28. Lubricación de cojinetes	92
Figura 29. Métodos de muestreo: drenaje muestra	97
Figura 30. Métodos de muestreo: succión de muestra	98
Figura 31. Puntos de muestreo	100
Figura 32. Kit de muestreo	107
Figura 33. Análisis de aceites	108
Figura 34. Comparación entre aceites sintéticos y minerales	124
Figura 35. Manejo correcto de los aceites	140
Figura 36. Gato hidráulico simple	149
Figura 37. Selección de viscosidad para fluidos hidráulicos	153

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Organigrama de la Armada Nacional	159
Anexo B. Unidades a flote de la Armada Nacional	160
Anexo C. Organigrama Jefatura de Material Naval	161
Anexo D. Jurisdicción de la Armada Nacional	162
Anexo E. Rangos de viscosidad (cSt)	163
Anexo F. Análisis de laboratorio	163
Anexo G. Parámetros de evaluación y variaciones	164
Anexo H. Presencia de metales en los aceites	165
Anexo I. Metales de desgaste en los aceites	166
Anexo J. Maletín de pruebas para aceites y agua	167
Anexo K. Juego de herramientas universales	168
Anexo L. Juego de herramientas de base	169
Anexo M. Motores diesel como fuente de contaminación	170
Anexo N. Toxicidad de los aceites	170
Anexo O. Clasificación ASTM y consistencia NLGI de las grasas	171
Anexo P. Características de las grasas	172

GLOSARIO

A FLOTE: sobre la superficie del agua.

ACHICAR: extraer el agua de un espacio.

ACCIDENTE DE TRABAJO: suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo y que produce una lesión o la muerte.

ADHESIVIDAD: capacidad de pegarse.

ADITIVOS: sustancia adecuada para mejorar las cualidades de un producto.

ANALISIS: estudio minucioso y detallado de un asunto.

ASPERSIÓN: sistema de riego en que el agua cae como una lluvia.

AVERIAS: desperfecto o daño.

BIODEGRADABLE: reacción irreversible de descomposición orgánica que no causa daño al medio ambiente.

COJINETE: elemento mecánico para soportar o guiar un eje de maquinaria.

CONTAMINACIÓN: alterar nocivamente una sustancia u organismo.

DESGASTAR: gastar o estropear una parte de un elemento por el uso o roce.

DERIVACION: comunicación por medio de un segundo conductor entre dos puntos de un circuito cerrado.

ENGRANAJE: transmisión de movimiento mediante piñones o ruedas dentadas.

ENGRASAR: introducir una sustancia aceitosa entre dos superficies para evitar el roce.

ESTANDARIZAR: normalizar, unificar, simplificar.

EXPOSICION: acción y efecto de exponer o someter a la acción de algo.

FACTOR DE RIESGO: factores o características que aumentan la posibilidad de que una persona sufra una enfermedad especial.

FRICCION: resistencia que ofrecen dos superficies en contacto al movimiento relativo de una de ellas con respecto a la otra.

GESTION: acción y efecto de administrar.

INHIBIDOR: sustancia de débil concentración, que bloquea o retrasa una reacción química.

INTERDICCION: acción y efecto de prohibir.

LUBRICAR: impregnar con una sustancia grasa u oleosa las superficies que frotan entre si.

MUESTRA: porción de algo que da a conocer sus cualidades.

OPERATIVIDAD: cualidad de operar o ejercer una acción.

PROGRAMA: conjunto de instrucciones, que permite ejecutar una serie de operaciones determinadas.

SENTINA: parte baja de los cuartos de un buque donde se acumulan las aguas.

TRIBOLOGIA: Técnica que estudia el rozamiento entre los cuerpos sólidos, con el fin de producir mejor deslizamiento y menor desgaste de ellos.

TRIPULANTES: miembros de una tripulación, conjunto de personas al servicio de una embarcación o nave.

VISCOSIDAD: Resistencia que ofrece un fluido al movimiento relativo de sus moléculas.

RESUMEN

PROGRAMA DE LUBRICACION Y ENGRASE DE LOS EQUIPOS Y SISTEMAS DE LAS UNIDADES A FLOTE DE LA ARMADA NACIONAL.¹

AUTORES: WILLIAN FERNANDO ALVARADO SAAVEDRA y HELMER RIOMANA GONZALEZ.²

PALABRAS CLAVES: LUBRICACION, MANTENIMIENTO, PROGRAMA, TRIBOLOGIA, TRIPULACIONES, BUQUES O UNIDADES A FLOTE.

DESCRIPCION O CONTENIDO: Una de las fases claves del mantenimiento, la constituye la lubricación y engrase de algunos componentes de los equipos, especialmente aquellos que están sometidos a movimiento. La diversidad y sofisticación de éstos, la no disponibilidad inmediata de los repuestos en el mercado y ante todo, la permanente operatividad que se debe garantizar a las Unidades a flote, hace que el mantenimiento en general sea una prioridad.

Los factores geopolíticos y la situación de orden público que vive el país, generada por los grupos narcoterroristas, obligan a la reprogramación de las diferentes rutinas de mantenimiento. Este problema se hace más crítico en las Unidades de interdicción marítima y en las fluviales, ya que operan a altas velocidades y su disponibilidad es un factor determinante. A esto se añade el que, en muchos casos, no hayan Unidades para efectuar relevos en las áreas de operación. Las tripulaciones por razones obvias, es necesario cambiarlas, lo que causa mas anomalías a las actividades programadas de mantenimiento. Se presenta además, un desconocimiento de la importancia, selección y empleo de los lubricantes y grasas; es por ello que se busca que el presente trabajo escrito se convierta en un texto de consulta permanente, por parte de las tripulaciones que operan los buques de la Institución.

El programa propuesto incluye el empleo de aceites de categoría 2 y la instalación gradual de filtros de derivación en las Unidades que carezcan de ellos; con los que se logra duplicar las horas de operación o empleo de los mismos, disminución de paradas programadas y aceites usados al haber menos cambios, incremento de la disponibilidad de las Unidades y ante todo, ahorros cercanos a los \$ 1.500'000.000.

¹ Monografía

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: John Jairo Sánchez Velásquez, Ingeniero Naval

SUMMARY

PROGRAM OF LUBRICATION AND LUBRICATES OF THE EQUIPMENT AND SYSTEMS OF THE UNITS OF THE NATIONAL NAVY.³

AUTHORS: WILLIAMFERNANDO ALVARADO SAAVEDRA and HELMER RIOMAÑA GONZALEZ.⁴

KEY WORDS: LUBRICATION, MAINTENANCE, PROGRAM, TRIBOLOGIA, CREWS, SHIPS OR UNITS AFLOAT.

DESCRIPTION OR CONTENT: One of the key phases of the maintenance, constitutes in the lubrication and lubricates of some components of the equipment, specially those that are put under movement. The diversity and sophistication of these, the immediate no availability of supposed in the market and first of all, the permanent operability that is due to guarantee afloat to the Units, cause that the maintenance in general become a priority.

The geopolitical factors and the situation of public order that lives the country, generated by the narcoterrorist groups, force the reprogramming of the different routines from maintenance. This problem becomes more critic in the Units of the marine interdictions and in the fluvial ones, already they operate at high speeds and its availability is a determining factor. To this one, is added that, in many causes, units to carry out relief in the operational areas, which are not. The crews for obvious reasons, it is necessary to change them, wich causes more anomalies to the programmed activities of maintenance. One appears in addition, an ignorance of the importance, selection and use of the lubricants and fats; it is for that reason, for the present written work, to become a text of permanent consultation, on the part of the crews who operate the ships of the Institution.

The proposed program includes the oil use of 2 categories and the gradual installation of derivation filters in the units that lack of them; with wich it is managed to duplicate the hours of operation or the use of such, diminution of programmed shutdowns and oils used to salary less changes, increasing the availability of the units and most important, saving nearly \$1.500'000.000.

³ Monograph

⁴ School Mechanical Engineering Maintenance Management Specialization.
Director: Jhon Jairo Sánchez Velázquez, Naval engineer.

INTRODUCCION

Todas las acciones o rutinas diarias como levantarnos, caminar, alzar nuestros hijos, encender el vehículo, etc, requieren de la existencia de un roce o fricción controlada y la carencia total de este factor, impediría desarrollar esa y cualquier otra actividad.

La lubricación, es el proceso para reducir la fricción existente entre dos superficies y el material empleado para lograr este objetivo, es conocido como lubricante. El lubricante provee una película para separar las superficies y facilitar el movimiento o contacto entre ellas.

Reducir la fricción y el desgaste, han sido metas definitivas del hombre para lograr el incremento de la productividad, garantizar la disponibilidad y mantenibilidad de los equipos que forman parte de ese proceso productivo, y asegurar y/o prolongar el ciclo de vida útil de éstos.

La lubricación como ciencia, está íntimamente relacionada con la tribología y las dos, juegan un papel protagónico y definitivo en el diseño y fabricación de máquinas.

El conocimiento y aplicación de estas dos ciencias, hace que los fabricantes y usuarios de equipos cubran todas sus expectativas y alcancen sus objetivos propuestos.

En la amplia y variada geografía colombiana, convergen factores geopolíticos que son agudizados por las nuevas tendencias de globalización y por el accionar delictivo transnacional de organizaciones narcoterroristas.

De aquí surgen nuevos desafíos, que deben ser enfrentados decididamente por la Armada Nacional en casi un millón de kilómetros cuadrados de espacio marítimo, fluvial y terrestre, bajo su responsabilidad.

La Institución para el cumplimiento de la misión contenida en la Constitución Política de 1991, cuenta con diferentes tipos de unidades aéreas, marítimas, fluviales y terrestres, que le permiten ejecutar variadas operaciones.

El avance tecnológico ha hecho que los equipos y sistemas estén dotados de componentes sofisticados, y en muchas ocasiones, estos componentes son delicados en su composición y operación.

El mantener la disponibilidad y operatividad de los diferentes equipos y sistemas con que están dotados las Unidades a flote, le facilitan y garantizan su inmediata y segura reacción.

Uno de los aspectos básicos para lograrlo, es mantener y cumplir un correcto programa de lubricación y engrase de la maquinaria, equipo y sistemas instalados a bordo.

Existen programas de lubricación que no garantizan extender el ciclo de vida útil establecido por los fabricantes; sin embargo, optimizando al máximo la calidad de los mantenimientos, empleando repuestos originales, capacitando al personal continuamente e implantando un estricto control de calidad a todos los procesos, se garantiza no solo este factor, si no que se garantizan además, la disponibilidad, la mantenibilidad, operatividad y reacción inmediata.

El garantizar los anteriores parámetros, hace que los tripulantes y Oficiales que le dan vida a los aceros fríos e inermes de que están hechas las

Unidades a flote, conviertan la lubricación y el engrase en un programa bandera.

En la presente monografía se propone un programa que incluye las Unidades marítimas y fluviales.

Con el diseño e implementación de este Programa de Mantenimiento de Lubricación y Engrase, se busca resolver un problema, en algunos casos crítico, que se presenta a diario en el personal que opera y mantiene los diferentes equipos de las Unidades a flote de la Armada Nacional.

Los conceptos y parámetros que encierra la lubricación como ciencia, son amplios y claros. Su conocimiento y aplicabilidad, facilitan el correcto empleo y selección de lubricantes y grasas. No siempre, en todos los modos de tiempo y lugar, están disponibles a primera mano estos parámetros y conceptos. Es por ello que se ha decidido que este texto, además de contener el programa de lubricación, incluya todos esos términos que las tripulaciones deben conocer y con los que deben estar familiarizados.

En una ocasión, la famosa escritora inglesa Virginia Wolf expresó: "Si no está escrito, no existe". Es por eso que los autores de este trabajo de grado, han querido incluir todo lo que consideraron útil y oportuno de disponer en alta mar. La experiencia a bordo de las Unidades a flote les permitió y facilitó el desarrollo de este texto, y buscan que mediante su empleo y actualización oportuna, se convierta en un manual de consulta permanente en cada una de las Unidades de la Armada Nacional.

"Lo que se guarda en la memoria es de gran utilidad hoy, pero se pierde cuando se deja de existir. Lo que se deja escrito es de gran utilidad para hoy, mañana y sobre todo, para las futuras generaciones".

Como objetivo general en el programa de lubricación y engrase propuesto, se busca garantizar la disponibilidad de las Unidades a flote y ampliar el ciclo de vida útil de los equipos y sistemas y por consiguiente, de las unidades mismas.

En los diferentes capítulos se detallan las generalidades propias de la monografía, tales como la problemática, la propuesta de solución y su aplicabilidad, las estrategias y metodología. Así mismo, se abarca la tribología y sus elementos, la lubricación y los diferentes parámetros a ella inherentes como sus funciones, principios básicos, regímenes, consecuencias, etc.

De igual forma se detallan las características y clasificaciones de los aceites, sus propiedades y composición, selección y análisis. Se definen los programas de lubricación y engrase, y se relaciona el programa propuesto.

Reviste gran importancia la incidencia de los aceites en el medio ambiente y en la salud del personal que los manipula, de ahí la necesidad de incluir un capítulo que ayude a la preservación y cuidados que deben tenerse con los mismos.

Se espera que éste sea un programa dinámico y que a medida que se actualicen, modernicen y cambien equipos, se modifiquen o refuercen planes de lubricación y engrase o se implanten nuevos y novedosos lubricantes; las tripulaciones o los encargados de los diferentes equipos y sistemas hagan las distintas correcciones o actualizaciones en el programa propuesto.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

Las estrategias convencionales de “reparar cuando se produzca la avería” ya no se emplean. Fueron funcionales en otras épocas, hoy se considera que esperar a que ocurran las averías o daños para intervenir es permitir que se incurran en costos excesivos, se presenten paradas no programadas, pérdida de disponibilidad y en algunos casos, accidentes personales y daños mayores. Son estas razones, las que han hecho que se implanten procesos de prevención de averías mediante adecuados programas de mantenimiento.

La gestión de mantenimiento se constituye en un elemento fundamental para garantizar la disponibilidad y operatividad de las Unidades de la Armada Nacional.

Dentro de las actividades de esta gestión, está la lubricación y el engrase de los componentes de algunos equipos y sistemas instalados a bordo.

1.1 POBLACION OBJETO DEL PROGRAMA

La población objeto del estudio o programa de lubricación y engrase que se propone, lo constituyen las Unidades a Flote de la Armada Nacional.

La Armada Nacional es una empresa del Estado con una estructura organizacional plana (Anexo “A”) y cuya misión está definida y contenida en la Constitución Política de 1991. Para el cumplimiento de esta misión la Institución cuenta con diferentes tipos de Unidades (Anexo “B”). Por su grado de confidencialidad solo se coloca la primera página.

Los factores geopolíticos y el accionar delictivo de organizaciones narcoterroristas, hacen necesario que se garantice la disponibilidad de las Unidades asignada a cada una de las Fuerzas Navales y Puestos Avanzados de Apoyo Fluvial.

1.2 MARCO GEOGRÁFICO

La Jefatura de Material Naval, a través de sus Direcciones, es el ente responsable del mantenimiento, reparación y adecuación de esas Unidades (Anexo “C”). De igual forma, gerencia dirige y supervisa la adquisición y construcción de nuevas unidades.

Las Unidades a flote distribuidas en la jurisdicción asignada a la Armada Nacional, están dotadas de equipos y sistemas con alta tecnología (Anexo “D”). Esto hace que la capacitación y el entrenamiento del personal de mantenimiento y operarios, sean una constante permanente.

La implantación de avances tecnológicos de última generación en los paneles de operación, monitoreo y control de los diferentes sistemas de armas, sensórica, propulsión y generación, entre otros, hacen que el mantenimiento sea una prioridad.

1.3 PROBLEMA

La diversidad y sofisticación de equipos instalados en cada una de las Unidades, la variedad de fabricantes, las múltiples recomendaciones de mantenimiento y aplicación de grasas y aceites, la no disponibilidad de proveedores para estas últimas en las áreas de operaciones y ante todo, la permanente operatividad o movilidad de las Unidades a flote ocasionada por el accionar delincuencia, hacen que las rutinas de mantenimiento y entre

ellas las actividades de lubricación y engrase, se salgan de cualquier contexto de planeación y programación, presentándose por consiguiente, la necesidad de reprogramación.

Reviste especial importancia, la problemática que se presenta en las Unidades Fluviales y en las de Interdicción Marítima, por las altas revoluciones a que operan sus sistemas de propulsión y por la permanente disponibilidad que de ellas se requieren. A ésto se suma el desconocimiento que se pueda presentar de la duración de una operación específica, es decir, de un enfrentamiento armado o de apoyo a tropas en tierra; lo que obliga a la permanencia de la o las Unidades en el área. En otros casos, no hay disponibilidad de otras unidades par efectuar relevos, bien sea por encontrarse en mantenimiento o reparaciones mayores o por estar en otras operaciones afines. Esto hace que los análisis previos de los aceites (maletines o equipos portátiles de análisis) y los mantenimientos preventivos, sean determinantes para operar con seguridad estas unidades y no exponer al personal y a los mismos equipos.

El sentido común y un criterio bien estructurado por parte de los Comandantes y responsables del mantenimiento de este tipo de unidades, son la clave para operarlas correctamente y efectuar los mantenimientos y cambios de aceites en los momentos oportunos o cuando la situación lo permita.

El control de los aceites, al igual que el control y análisis de vibraciones y temperaturas, son herramientas que facilitan la toma de una decisión acertada y oportuna en tales casos.

1.4 OBJETIVOS

Para la presente monografía se establecieron unos objetivos, general y específicos, que facilitaran la ejecución y aplicabilidad del trabajo propuesto.

1.4.1.1 Objetivo general. Como objetivo general en el programa de lubricación

y engrase presentado, se busca garantizar la disponibilidad de las Unidades a flote y ampliar el ciclo de vida útil de los equipos y por consiguiente, de las unidades mismas.

1.4.2 Objetivos específicos. Para alcanzar ese objetivo general, se establecieron

los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los diferentes tipos de Unidades a flote de acuerdo a la clasificación establecida.
- Elaborar un inventario de todos los equipos y sistemas por Departamentos o áreas específicas.
- Agrupar ciertos equipos afines, pero ubicados en áreas diferentes.
- Determinar criticidad de los equipos y sistemas, teniendo en cuenta su empleo especializado y tiempo de trabajo diario.
- Establecer las diferentes actividades y frecuencias de lubricación y engrase.
- Determinar las actividades de inspección específicas, que son necesarias coordinar con los proveedores de aceites y grasas durante los cambios especiales de éstos (engranajes reductores, acoples torsio-elásticos cigüeñales, cojinetes, conjuntos rotacionales y de direccionamiento, etc).
- Establecer un plan de capacitación y entrenamiento del personal que dirigirá y efectuará los diferentes planes de lubricación y engrase.

1.5 PROPUESTA

No es posible examinar los elementos de trabajo de una máquina o equipo complejo que se encuentra en operación, como tampoco es conveniente desmontar la máquina. Esto afecta la operatividad de cualquier Unidad a flote o el proceso productivo de una empresa, y serían sinónimos de improvisación y falta de planeación si no corresponden a paradas programadas.

El aceite que fluye a través de los circuitos de un equipo o planta, muestra las condiciones en que se encuentran los componentes interiores con los cuales tiene contacto. El análisis de aceite y alguna partícula que arrastre, permite controlar el estado del equipo.

El presente trabajo, además de contener el programa de lubricación y engrase propuesto, detalla la clasificación de la Unidades, los principales equipos y sistemas, los equipos críticos, los aceites y grasas empleadas, frecuencias de cambio y de análisis, y procedimientos y recomendaciones que se deben seguir.

De igual forma, se busca que el presente trabajo se convierta en un texto de consulta permanente, por parte de los tripulantes de cada una de las Unidades a flote de la Armada Nacional.

Con la propuesta de este programa, se facilita la solución a los diarios problemas que se presentan a bordo con el adecuado y correcto empleo de aceites y grasas.

1.6 RECURSOS Y APOYO LOGISTICO

La Jefatura de Material Naval de la Armada Nacional, a través de las Direcciones de Ingeniería Naval y de Armas Navales y Electrónica, supervisa que las diferentes actividades de mantenimiento, y entre ellas la de lubricación y engrase, se cumplan en forma correcta y estricta.

Así mismo, dá las instrucciones necesarias para que de la misma forma en que se actualizan las políticas de mantenimiento, se haga con el presente Manual y Programa una vez sea aprobado por el Alto Mando Naval.

Corresponde a los Jefes de los Departamentos N-4 y de Ingeniería de las distintas Fuerzas Navales, mantener en las bodegas de grasas y aceites de las Bases y Apostaderos Navales las cantidades necesarias para aprovisionar las Unidades a flote; para tal fin, se deben tener en cuenta los datos obtenidos mediante las respectivas estadísticas.

Los Ingenieros Jefes de las Fuerzas Navales, ejercen control y monitoreo permanente sobre las actividades establecidas para las Bases y Apostaderos Navales, Brigada Fluvial de Infantería de Marina, Departamentos Técnicos, Ingenieros Jefes y Jefes de Máquinas de los distintas Unidades.

1.7 CAMPO DE APLICACION

El campo de aplicación del presente programa, está determinado por los distintos puntos o lugares en que se encuentren las Unidades a flote. En algunos casos y teniendo en cuenta los grados de dificultad, posibles anomalías o daños u otras situaciones especiales, se debe contar con el apoyo de los Talleres de Motores de DISETI-COTECMAR, el personal de los Departamentos Técnicos, de Armas y Electrónica (DARET) o por personal

especializado de talleres particulares (Mtu-Gecolsa-Stewart & Stevenson-Ferrostaal, etc).

1.8 METODOLOGIA

La metodología aplicada es teórico-práctica y de acción participativa, lo que significa que hubo y habrá participación activa por parte de los tripulantes de las diferentes Unidades de la Armada Nacional en las actividades de lubricación y engrase contenidas en el presente trabajo.

1.9 ESTRATEGIAS

El Programa de Lubricantes y Engrase propuesto incluye el empleo de aceites de categoría 2, con lo cual se duplicarían las horas de operación. En forma gradual y acuerdo a la programación que se defina, se deben instalar filtros de derivación en los circuitos de aceite de las Unidades que no los tienen.

La capacitación y entrenamiento **personalizado** son otra estrategia a emplear, ya que de esta forma se crea conciencia de “mantener para operar con seguridad”, es decir, que efectuando todas las rutinas de mantenimiento a tiempo y correctamente, incluyendo las de lubricación y engrase, las posibilidades de falla o no respuesta oportuna de los equipos se disminuyen al mínimo, lo que representa operar con seguridad. Esto es básico en caso de encontrarse las unidades en situación de combate u hostigamiento, y apoyo a poblaciones u otras unidades marítimas o fluviales.

La disponibilidad permanente de este trabajo, como texto de consulta en cada una de las 460 unidades de la Armada Nacional, brinda seguridad y capacitación, además de facilitar las labores de selección de los aceites y

grasas que se deben emplear en cada uno de los equipos y sistemas de a bordo.

Al emplearse una metodología teórico – práctica de **acción participativa**, se acrecienta el sentido de pertenencia en cada una de las personas que tripulan, operan y mantienen las Unidades a flote de la Institución.

Al efectuar lo anteriormente referido, se espera obtener las siguientes ventajas:

- Duplicación de las horas de operación o empleo del aceite y de los filtros del motor.
- Ahorros cercanos a los \$ 1.500'000.000 millones de pesos anuales.
- Se reduce la cantidad de aceites usados y que por su lenta biodegradabilidad, afectan el medio ambiente.
- Se reducen los contactos del personal con estos elementos al presentarse menos cambios, ésto hace que se minimicen los riesgos ocupacionales.
- Se disminuyen las paradas programadas y por consiguiente, se aumentan la operatividad y disponibilidad de las unidades.

2. SISTEMA TRIBOLOGICO

Toda acción de los seres vivos o de la naturaleza, puede considerarse como un sistema tribológico. Este sistema puede ser positivo o negativo, según que evite o reduzca la fricción.

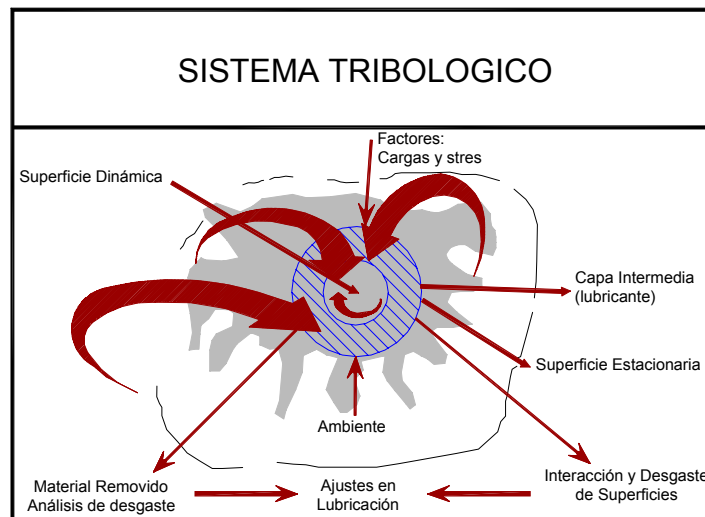
La fricción se minimiza pero no desaparece, ya que su ausencia impediría la ejecución de las diferentes actividades que a diario se presentan.

El desarrollo tecnológico ha buscado reducir al máximo la fricción, con el fin de garantizar el ciclo de vida útil de los componentes en movimiento y por qué no, extender el calculado ciclo de vida útil de los equipos, sistemas y componentes.

Dentro de un sistema tribológico positivo, juegan un papel protagónico el fabricante del equipo o sistema y el usuario del mismo. El primero, porque debe construirlo de acuerdo a un óptimo diseño y con materiales que respalden y garanticen el ciclo de vida esperado y el usuario, porque debe implantar esquemas o programas de operación y mantenimiento correctos a los equipos y sistemas, para obtener la máxima productividad de los mismos. Los dos protagonistas, fabricante y usuario, deben enmarcar sus diferentes actividades dentro de estrictos sistemas de control de calidad y mejoramiento continuo.

La Tribología ha logrado un gran despliegue y desarrollo en la industria y comercio, hoy globalizados, porque ha incidido en forma positiva en los parámetros tecno-económicos, que más relación guardan con la vida útil de los mecanismos o componentes.

Figura 1. Sistema Tribológico



Fuente: ChevronTexaco

Un sistema tribológico, se define como un sistema natural o artificial de no menos de dos elementos materiales, en donde se puede presentar la fricción y en el peor de los casos, el desgaste como consecuencia de su movilidad u operación.

2.1 DEFINICION DE LA TRIBOLOGIA

Al comienzo del siglo XX, fué difícil para los investigadores analizar y tratar el fenómeno de la fricción en forma independiente de otros parámetros que guardan relación con ella, como la lubricación y el desgaste.

De las raíces griegas TRIBOS = fricción y LOGOS = tratado, formó el hombre la palabra TRIBOLOGIA que significa estudio o tratado de la fricción. A pesar de su significado, la tribología ha extendido su campo de análisis y acción a todas los factores que inciden de manera alguna, en el ciclo de vida útil de los mecanismos.

Las pérdidas por efecto de la fricción, el desgaste y la inadecuada o incorrecta lubricación, crean la necesidad de utilizar la Tribología como recurso para evitarlas y para incrementar la productividad de los procesos y la vida útil de los equipos.

2.2 TRIBOLOGIA VS PRODUCTIVIDAD Y RENTABILIDAD DE LOS EQUIPOS

La necesidad cada vez mayor del hombre por ser más productivo y competitivo, hace que la Tribología adquiera más trascendencia, ya que de no aplicarse en los diferentes procesos, el hombre no sobreviviría.

La rentabilidad de un equipo es la relación entre la eficiencia (rendimiento) del mismo en un determinado período de tiempo y la suma de los gastos en su explotación durante ese mismo período.

La tribología permite que la rentabilidad del equipo aumente, ya que los gastos disminuyen como consecuencia del menor consumo de energía, mano de obra, mantenimiento, operación y repuestos.

Con procesos tribológicos eficientes, se puede lograr que el tiempo posible de funcionamiento (longevidad) sin fallas durante ese período de servicio, sea igual a la duración total del equipo (vida a la fatiga). Esto se define como coeficiente de utilización y debe tender o aproximarse a la unidad.

La vida de las máquinas (vida a la fatiga), es el número de horas que pueden alcanzar los diferentes mecanismos, garantizando una operación y producción continua con bajos consumos de energía y bajos costos por mantenimiento. Este ciclo de vida o número de horas, lo calcula el fabricante

y se hace con base en los parámetros que se tuvieron en cuenta durante el diseño: calidad materiales, cargas, velocidades, temperatura, medio ambiente, entorno de operación, procesos de lubricación, etc.

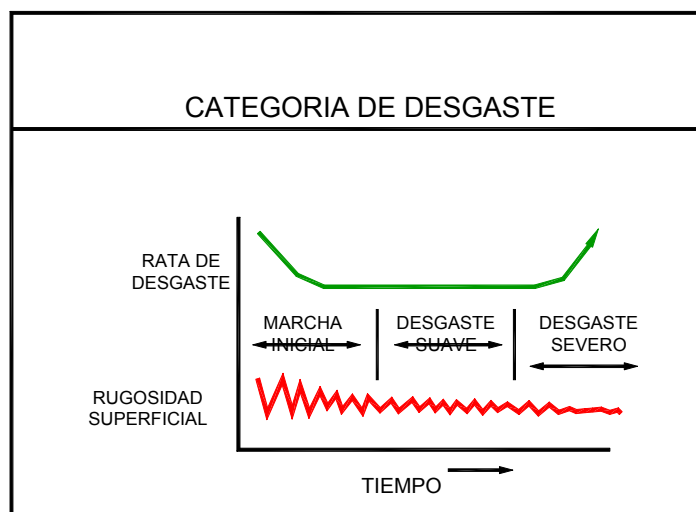
2.3 CURVA TRIBOLOGICA

La Curva Tribológica de los componentes de un equipo, es similar a la curva de la bañera de Davis, la cual se aplica a las etapas en que pueden fallar dichos componentes.

La curva tribológica, también es conocida como la curva de desgaste normal de los componentes a través del tiempo. Cada metal, tiene un curva característica y se especifica en partes por millón (ppm) presentes en el aceite empleado y que está a punto de cambio o reemplazo. En citada curva, se presentan tres etapas:

- Improductiva o asentamiento del componente.
- Productiva o vida a la fatiga.
- Vida final o remanente (envejecimiento moral).

Figura 2. Curva tribológica



Fuente: ChevronTexaco

- Etapa improductiva o asentamiento del componente. El asentamiento o despegue de dos superficies que operarán moviéndose una con respecto a la otra en un componente de un equipo, es la etapa más importante y de ella depende que se logre alcanzar la vida a la fatiga o que se reduzca considerablemente (mortalidad infantil). Esta etapa corresponde a las primeras horas de operación y en ella, se van reduciendo las rugosidades o crestas que quedan después del mecanizado de las superficies. En la curva tribológica se registra un considerable desgaste, que se toma como normal, e irá disminuyendo a medida que dichas rugosidades se vayan puliendo.
- Etapa productiva o vida a la fatiga. Esta etapa tiene presente un desgaste erosivo constante durante la operación de los mecanismos. Este desgaste determina la frecuencia de cambio de aceite y está definido por el tipo de aceite empleado, el índice de viscosidad y la calidad del sistema de filtrado.
- Etapa final o remanente. Una vez se cumple la vida a la fatiga del mecanismo, la curva del desgaste se vuelve ascendente y exponencial, lo que refleja que debe pararse la máquina o equipo para cambiar el componente y evitar así, paradas forzadas, altos costos por reparaciones o graves consecuencias sobre el proceso productivo o sobre el equipo y sistemas conexos.

La curva tribológica puede ser positiva o negativa. Es positiva cuando la tendencia al desgaste es menor que el desgaste especificado por el fabricante. Se da cuando se emplean aceites sintéticos o de mejor categoría que el recomendado por el fabricante; en esto influye el código ISO de limpieza. Esta curva es de alta productividad y aumenta la confiabilidad del equipo.

La curva tribológica es negativa cuando la tendencia al desgaste es mayor que el desgaste especificado por el fabricante y se presenta por altas vibraciones, mala lubricación, operación incorrecta, desbalanceo, o mal asentamiento de rugosidades.

Al detectarse una tendencia de desgasta anormal, es necesario tomar de inmediato acciones correctivas tales como, análisis de aceites en laboratorios especializados del fabricante, cambio a un aceite de mejor calidad o sintético con más altos o mejores índices de viscosidad, implantación de programas preventivos y mejor sistema de filtrado de aceite, entre otros.

2.4 TRIBOLOGIA PRODUCTIVA

La Tribología facilita que los equipos y sistemas alcancen la vida a la fatiga y, en algunos casos, se pueda superar. Sin embargo, se deben tener en cuenta tres aspectos que actúan indirectamente sobre la operación de los equipos y que constituyen la tribología productiva.

Estos aspectos interactúan por sí solos, cuando se les incluye en los procesos productivos y en las actividades que soportan ese normal proceso. Estos tres factores son:

- Conservación del Medio Ambiente y preservación de los recursos no renovables.
- Control de la fricción y reducción del desgaste.
- Ahorro en el consumo de energía.

2.4.1 Conservación del Medio Ambiente y preservación de los recursos renovables. En las diferentes actividades del hombre se debe tener en

cuenta como política permanente y de estricto cumplimiento, la conservación del Medio Ambiente y preservación de los recursos no renovables.

A pesar de que los aceites sintéticos son derivados del petróleo, se deben tener como una opción, ya que sus contenidos o composición los hacen extendibles en el tiempo o frecuencia de cambio; lográndose con ello, una reducción del volumen de aceite que se descarta por cambio o contaminación y que, al no tratarse en la forma debida, incrementan la contaminación del Medio Ambiente.

2.4.2 Control de la fricción y reducción del desgaste. Con la aplicación de la tribología, se minimiza la presencia de los diferentes tipos de fricción y desde luego, se reduce el desgaste que pueda afectar los diferentes mecanismos. Al controlar la fricción y el desgaste, se garantiza el ciclo de vida útil de las máquinas.

2.4.3 Ahorro en el consumo de energía. El empleo de lubricantes con coeficientes de fricción bajos, hace que se minimice la fricción y por consiguiente, la resistencia que se genera al tener mecanismos en contacto y en movimiento; ésto nos lleva a reducir los consumos de energía.

Un factor determinante para lograr este ahorro de energía. es saber seleccionar los lubricantes de acuerdo a los coeficientes de fricción requeridos (fluida, sólida o elastohidrodinámica).

2.5 ELEMENTOS DE LA TRIBOLOGIA

Tres elementos básicos constituyen la Tribología:

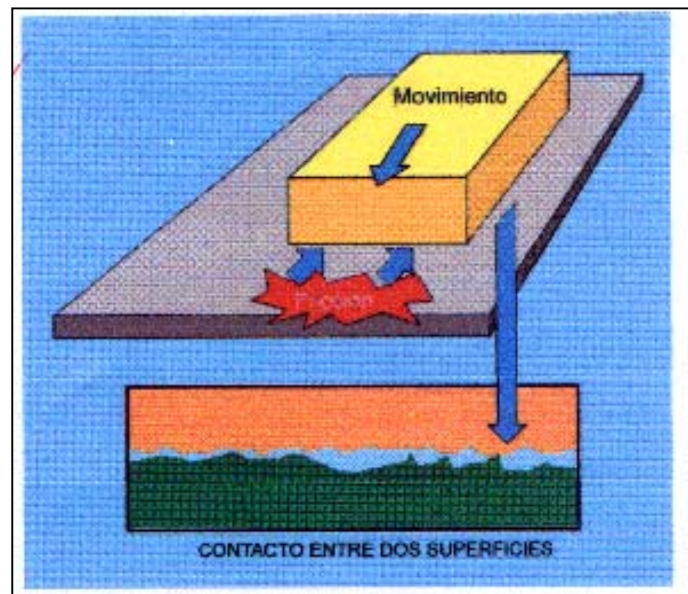
- Fricción.
- Fuerza de fricción.
- Coeficiente de fricción.

2.5.1 Fricción. Se define como la resistencia que presenta la superficie rugosa de un cuerpo sólido, al moverse con relación a otro cuerpo que puede ser sólido, líquido o gaseoso. Se manifiesta como una pérdida de energía mecánica, durante el inicio y desarrollo del movimiento relativo entre dos superficies. Esta pérdida de energía se transforma en calor, el cual afecta el normal desempeño de los mecanismos, incrementa la temperatura del lubricante afectándole la viscosidad; así mismo, incrementa la temperatura del entorno o medio ambiente en que trabaja el equipo o máquina.

En el movimiento que presentan dos superficies, una con respecto a la otra, se generan diferentes tipos de fricción.

- Fricción pura. Se presenta cuando las rugosidades de las superficies interactúan sin la presencia de un tercer elemento. Sólo se puede obtener en laboratorio, ya que allí se puede garantizar la no presencia de películas contaminantes. El coeficiente de fricción varía entre 0.80 y más de 10.

Figura 3. La fricción y sus efectos



- Fricción metal–metal. Ocurre cuando las rugosidades de dos superficies metálicas, interactúan sin la presencia de un tercer elemento que las separe. También se presenta cuando hay rompimiento de la película límite del lubricante o cuando se pierde la propiedad antidesgaste del mismo.

Este tipo de fricción no siempre debe evitarse, pues hay ocasiones en que es necesario que ocurra sin la presencia de cualquier tipo de película lubricante; como por ejemplo, en los rieles y ruedas de un tren. La ausencia de esta película le permite rodar y frenar cuando lo requiera.

- Fricción sólida. El sistema tribológico está compuesto por tres elementos con características de cuerpos sólidos.

Al presentarse la fricción, uno de los elementos está presente en forma de capas de un compuesto que puede ser aditivo antidesgaste, vapor, humedad, óxidos, etc, y que están adheridos al metal base con la película de lubricante. Este tipo de fricción se presenta en el momento de arranque y parada de los mecanismos. El coeficiente de fricción varía entre 0,20 y 0,80.

- Fricción fluída. Se presenta entre las capas de lubricante líquido que separa dos superficies en movimiento. La energía necesaria para romper esas capas se transforma en calor.
- Fricción hidrodinámica. Se presenta cuando varían las condiciones de velocidad y carga. Aquí juega un papel importante la viscosidad del

lubricante que se debe emplear. El coeficiente de fricción varía entre 0,001 y 0,002.

- Fricción hidrostática. Se presenta en los mecanismos o componentes que soportan altas cargas y que giran a bajas velocidades. Para formar la película hidrodinámica, es necesario aplicar aceite a presión antes y durante los movimientos de los mecanismos.
- Fricción mixta. Este tipo de fricción está integrado por dos estados de fricción en forma simultánea, la líquida y la sólida. Se presenta en los mecanismos que operan a altas cargas y bajas velocidades, en las cuales las rugosidades de las superficies sometidas a fricción interactúan constantemente, ya que no alcanzan a separarse. El coeficiente de fricción varía entre 0,05 y 0,20.
- Fricción gaseosa. Se presenta cuando el elemento que separa dos superficies en movimiento relativo es un gas. Este es el caso de mecanismos lubricados con aire o el de los sellos de turbomáquinas, a las cuales se les aplica nitrógeno para formar una película hidrodinámica que separa la cara fija de la que gira.

2.5.2 Fuerza de fricción. Cuando un cuerpo se desliza sobre otro, se presenta una fuerza o resistencia que es paralela y contraria a la dirección del movimiento. Esta fuerza se denomina fuerza de fricción o rozamiento y puede ser estática o cinética. Se define y calcula como:

$$F = f N$$

F = Fuerza necesaria para iniciar y mantener un movimiento (kgf ó lbf).

f = Coeficiente de fricción (metal-metal, sólida o fluída).

N = Fuerza normal que mantiene juntas las dos superficies (kgf ó lbf).

Cuando sobre un bloque estacionario se aplica una fuerza F , que no es suficiente para moverlo, se presenta una fuerza de oposición llamada fuerza estática de rozamiento, F_e .

Si se sigue aumentando la fuerza F , llegará un momento en que ésta alcance un valor límite y el movimiento se hace inminente. Si esta fuerza sobrepasa el valor de la fuerza estática de rozamiento o F_e , el cuerpo deja de estar en reposo e inicia el movimiento. A esta nueva fuerza se le denomina fuerza cinética de rozamiento, F_c .

El valor de la fuerza real de rozamiento oscila entre cero (0) y un valor máximo, y es proporcional al peso.

Se presentarán dos fuerzas de fricción, la estática y la cinética, y esto nos llevará a que el cuerpo estará en una de las tres siguientes situaciones:

- $F_c < F_e$ No hay movimiento.
- $F_c = F_e$ El movimiento es inminente o está próximo.
- $F_c > F_e$ El cuerpo se mueve.

Existen unos factores que condicionan la fuerza de fricción y éstos son:

- Carga. No se puede controlar ya que hace parte de todo componente o mecanismo. Está constituida por su propio peso y por la fuerza que éste le transmite.
- Naturaleza de los materiales. Dos cuerpos presentan mayor o menor fricción dependiendo de la estructura molecular de cada uno.

- Acabado superficial. La fricción variará de acuerdo al acabado de la superficie de los cuerpos, es decir, entre más áspera sea, mayor será la fricción y disminuirá con el grado de pulimento que se logre o se presente en las superficies.

En las superficies de los cuerpos, se presentan dos tipos de rugosidades o asperezas, las agudas y las dentadas. Las agudas son causadas por la inexactitud de la herramienta o máquina, o por la falta de rigidez entre esta última y la pieza o elemento que se mecaniza. Las asperezas dentadas son causadas por fallas en la herramienta de corte y por la naturaleza del metal que se mecaniza.

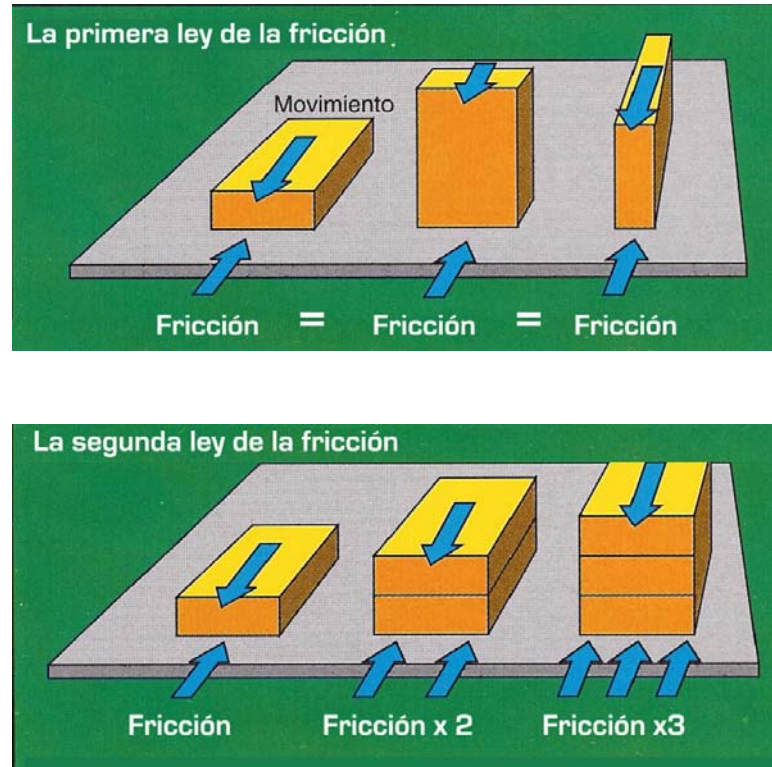
Otros factores que condicionan la fuerza de fricción son: la geometría de los cuerpos, tolerancia entre los cuerpos, temperatura de operación, adhesión, cizallamiento y lubricación.

En la Física Clásica, existen dos leyes que describen la fricción entre dos superficies y se conocen como **leyes de la fuerza de fricción**.

La primera ley de la fricción, establece que la fricción entre dos sólidos es independiente del área de contacto.

Cuando un cuerpo es movido a lo largo de una lámina de metal, la fuerza opuesta a su movimiento será la misma si desplazamos el cuerpo sobre su parte inferior o sobre una de las caras laterales.

Figura 4. Leyes de la fricción



La fricción, depende del área conformada por la suma de las áreas de las crestas o rugosidades más sobresalientes de las dos superficies en movimiento y sometidos a fricción (área real), y no del área geométrica de dichas superficies (área aparente).

La segunda ley de la fricción, establece que la fricción es proporcional a la carga ejercida por una superficie sobre la otra. Esto significa que si se coloca un segundo cuerpo encima del cuerpo del ejemplo anterior, la fricción será duplicada. Tres objetos triplicarán la fricción y así sucesivamente.

De acuerdo a las leyes de la fricción, el coeficiente de fricción de dos cuerpos debe ser una constante. En la realidad, éste varía ligeramente con cambios en la carga y en la velocidad de deslizamiento.

2.5.3 Coeficiente de fricción. Como la fuerza friccional entre dos superficies es proporcional a la carga, es posible definir un parámetro conocido como **coeficiente de fricción**, el cual es igual a la fricción dividida por la carga.

Es la variable para el cálculo de la fuerza de fricción y su valor depende, no solamente del material de las superficies, sino también de lo que suceda en la interfase de éstos, cuando se encuentran en movimiento relativo una con respecto a la otra; es decir, la temperatura, la humedad, velocidad de deslizamiento, presión de contacto, acabado superficial, forma del área de contacto, tipo de película de lubricante, etc.

La relación entre el peso de su cuerpo y la fuerza necesaria para mantenerlo en movimiento, se conoce como **coeficiente cinético de fricción**.

Estos dos coeficientes pueden ser debidos a fricción sólida o fricción fluida.

El coeficiente de fricción depende de la naturaleza de las dos superficies en contacto; por ejemplo, para sólidos ordinarios oscila en el rango de 0.3 a 3. Cuando una película de lubricante está presente entre las dos superficies, el coeficiente de fricción y por consiguiente, la fuerza necesaria para producir el movimiento relativo, se reducen.

2.6 CAUSAS Y CONSECUENCIAS DE LA FRICCION

La fricción es el resultado del contacto de las **rugosidades** de las superficies en movimiento.

Las superficies aparentemente lisas, muestran bajo un microscopio electrónico demasiadas rugosidades o asperezas. Dos superficies que están en contacto total aparente, realmente solo se están tocando una con otra en los picos de sus rugosidades.

La carga es soportada solamente por unos pocos puntos y la presión sobre éstos, es grande. Cuando las superficies se mueven, las rugosidades pueden troncarse unas con otras, e incluso se pueden soldar.

Entre más se presione una superficie con otra, mayor será la fricción. En la mayoría de las máquinas y mecanismos, es necesario minimizar la fricción entre las partes móviles.

Cuando la fricción se incrementa, es necesario efectuar un trabajo adicional para continuar el movimiento. Este trabajo genera **calor** y aumenta el gasto o consumo de **energía**. La fricción también aumenta el desgaste y por lo tanto, reduce la vida útil de los mecanismos y máquinas.

2.7 FORMAS DE REDUCIR LA FRICCION

Entre las formas para reducir la fricción, se tienen:

- Puliendo o mejorando el acabado superficial.
- Cambiando el deslizamiento por rodamiento.
- Interponiendo un lubricante.

La aplicación de la Tribología debe llevar a reducir al máximo la fricción sólida, fluida y elastohidrodinámica y a evitar que se presente la fricción metal-metal.

2.8 DESGASTE

El desgaste es el fenómeno que más afecta la capacidad productiva de los equipos, ya que obliga a su parada, intempestiva o programada, por presentarse fallas o roturas en sus componentes.

En los mecanismos de las máquinas se presentan desgastes abrasivos y erosivos, que ocultamente van desgastando las superficies de fricción. En la mayoría de los casos, los operarios no detectan a tiempo anómalas condiciones de operación, conllevando ésto a pérdida de medidas de tolerancia y deterioro de componentes o equipos. De aquí la importancia del control y análisis de los aceites, sobre todo en el control de las máximas cantidades permisibles de sólidos y partículas. Otro aspecto importante es el filtrado del aceite.

El desgaste se define como la pérdida de material entre dos superficies en movimiento relativo y es consecuencia directa del rozamiento o fricción metal-metal entre éstas. También se define como el deterioro sufrido por las superficies, por causa de la intensidad de la interacción de sus rugosidades superficiales.

La función principal o básica de toda sustancia empleada para lubricación o como lubricante, es la de reducir la fricción sólida y consecuentemente, reducir el desgaste a valores bajos. El desgaste es sinónimo de improductividad.

2.8.1 Tipos de desgaste: Una superficie se puede desgastar por diferentes factores, entre ellos están el tipo de lubricante empleado, tipo de servicio o por contaminación con un agente externo.

Una superficie lubricada adecuada y correctamente, puede presentar un desgaste leve y moderado, y generará partículas con medidas entre 1 y 2 μm .

Los tipos de desgaste más importantes son:

- Desgaste adhesivo o por contacto metal-metal: Se presenta en los mecanismos lubricados o lubricados y cuando las superficies no están separadas completamente por una película de aceite (lubricación límite).

Sucede cuando un equipo o máquina arranca o para y hay una mínima o escasa película límite de lubricante. Puede ser ocasionado por el empleo de un aceite inadecuado, por sobrepasar las horas de operación del mismo o por pérdida de los aditivos o propiedades antidesgaste. Cuando esto se presenta, las irregularidades o rugosidades de las superficies están casi en contacto directo, lo que genera formación y transferencia de partículas o fragmentos metálicos de desgaste.

También cuando se presentan valores altos y bajos en la viscosidad, en la presión y en el nivel del lubricante.

En altos valores, se presenta incremento de fricción fluida, lo que genera aumento de la temperatura de operación. Este aumento de temperatura disminuye la viscosidad, rompiendo la película límite y haciendo que las superficies metálicas se dilaten y rocen entre sí.

Entre las causas, además de las ya relacionadas, están las bajas velocidades, dilución del aceite, viscosidad inadecuada, desalineamiento y bajo nivel de aceite, entre otras.

Este tipo de desgaste no se puede eliminar, pero sí se puede minimizar empleando lubricantes con mejores propiedades de película límite, aditivos antidesgaste, aditivos de extrema presión o aditivos EP, grafito, etc.

- **Desgaste abrasivo:** Es ocasionado por la presencia, entre las superficies en movimiento relativo, de partículas extrañas de igual o mayor dureza a la del material de dichas superficies. Estas se incrustan en una de las superficies y actúan como elementos de corte, removiendo el material de la otra superficie.

Estas partículas pueden ser generadas por el medio ambiente o entorno donde opera la máquina o por el medio ambiente interior de la misma, producto de un desgaste adhesivo o por corrosión. Este tipo de desgaste es posible controlarlo, si se remueven las partículas abrasivas con tamaño dentro del rango dinámico. El juego dinámico equivale al espesor mínimo de la película de lubricante. Cuando el tamaño de las partículas es igual o mayor que el juego dinámico, entonces el desgaste abrasivo es mayor.

Este desgaste también se presenta con partículas menores que el juego dinámico, pero con incrementos de carga sobre los mecanismos o por disminución o pérdida de la viscosidad del aceite. Lo anterior hace que el juego dinámico disminuya, obteniendo un valor igual o menor que el tamaño de la partícula.

Figura 5. Incrustación de partícula abrasiva de tamaño superior al juego dinámico.

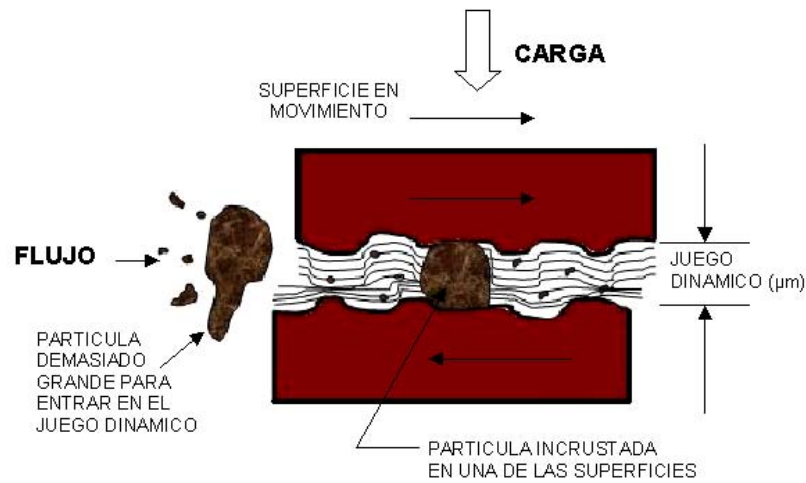
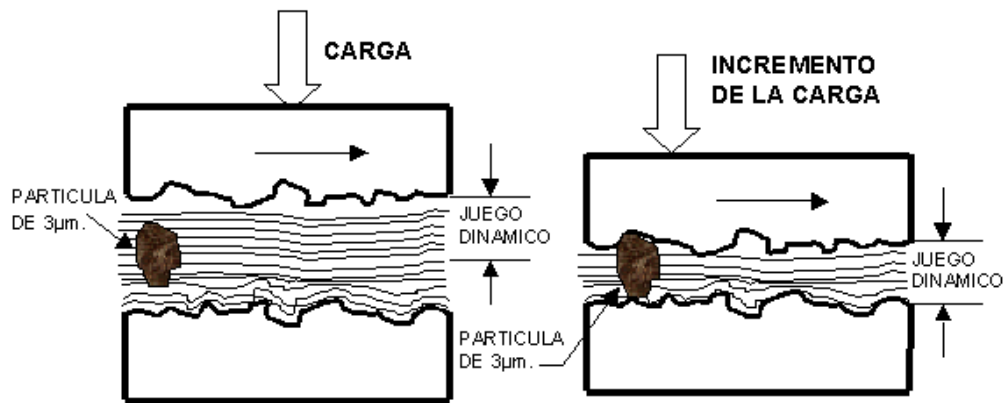


Figura 6.
Desgaste abrasivo generado por incremento de carga.



El juego dinámico disminuyó como consecuencia del incremento de la carga. La partícula abrasiva tenía el mismo tamaño, es decir, $3\ \mu m$.

Cuando se detecta este tipo de desgaste en sistemas con lubricación por salpique, se recomienda incrementar la frecuencia de cambio del aceite y por consiguiente, el análisis de las muestras.

En los sistemas de lubricación por circulación, se recomienda mejorar o modificar los sistemas de filtrado (micronaje o altas relaciones de filtración).

- Desgaste corrosivo: Se presenta cuando se usan aceites oxidados o por la contaminación de éstos con agua o ácidos provenientes del proceso o del medio ambiente.

La herrumbre en materiales ferrosos, y la corrosión ácida en materiales blandos como el babbitt, constituyen problemas graves en motores de combustión interna o en máquinas expuestas a la humedad. La herrumbre es ocasionada por el agua y los ácidos provenientes de la cámara de combustión.

Se puede presentar por pérdida de la reserva alcalina del aceite, es decir, por no hacer los cambios en las frecuencias establecidas por los fabricantes (horas de operación o kilometraje). Esto se refleja en el análisis del TBN (Número Básico Total).

La combustión de compuestos de azufre en los motores diesel, produce ácido sulfúrico que ataca los anillos y paredes de los cilindros o camisas.

En los motores de gasolina, se debe a los ácidos orgánicos, clorhídrico y bromhídrico, empleados en el compuesto antidetonante, con el fin de eliminar los residuos de plomo dejados por la quema del combustible.

Los fabricantes de aceites, han controlado el desgaste corrosivo mediante nuevas especificaciones API SG para motores a gasolina, y CF para motores diesel.

Los ácidos débiles se forman por la degradación del aceite y los fuertes, por descomposición del mismo a altas temperaturas.

- **Desgaste erosivo:** Es causado por un fluido de alta presión y con partículas sólidas en suspensión, las cuales al impactar las superficies, arrancan material de las mismas por efectos del momento de las partículas. La pérdida de material puede ser crítica, llegando a provocar rotura por fatiga. Este desgaste erosivo, también puede ser ocasionado por el empleo de lubricantes con viscosidad mayor a la requerida. Este exceso de viscosidad en el lubricante, hace que éste trate de pulir o emparejar las rugosidades más sobresalientes.

Este es el tipo de “desgaste normal” que se presenta en el arranque o despegue inicial de un equipo nuevo, especialmente motores de combustión interna, y durante el cual, se emplean aceites o lubricantes con viscosidad mayor a la del recomendado por el fabricante para operación normal del equipo.

- **Desgaste por fatiga superficial:** Se presenta como consecuencia de los esfuerzos cíclicos de tensión, compresión y esfuerzo cortante sobre una superficie; las cuales causan grietas profundas, que posteriormente generan la aparición de picaduras y escamas.

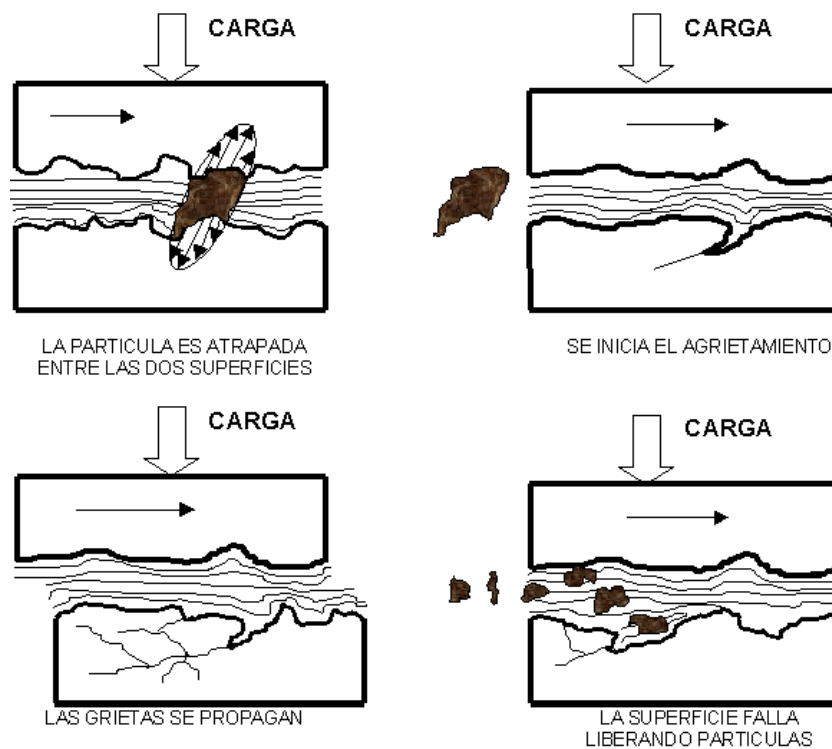
Principalmente se presenta en mecanismos con movimiento de rodadura, como en las pistas de rodamientos, dientes de engranajes y levas. Su aparición se hace con el transcurrir del tiempo.

Este tipo de desgaste se acelera cuando en el lubricante hay, en suspensión, partículas sólidas de igual o mayor tamaño que el juego dinámico y que no se adhieren a las superficies en movimiento. La

partícula es atrapada instantáneamente entre las superficies, ocasionando hendiduras por la deflexión de los mismos, causada por la carga que soportan. Posteriormente se inicia el agrietamiento.

La partícula es liberada por el movimiento de las superficies y después de varios ciclos, las grietas se distribuyen por las superficies produciendo el descascarillado.

Figura 7. Fatiga superficial



Entre sus causas están la sobrecarga, desalineamiento y contaminación del medio ambiente.

- **Desgaste por cavitación:** Se presenta cuando el lubricante fluye en una región en donde la presión es menor que la de su presión de vapor. Esto hace que el aceite hierva y forme burbujas. Estas burbujas son transportadas hacia áreas o regiones en donde la presión es mayor, el

vapor regresa al estado líquido y las burbujas se aplastan. En este instante, se presentan presiones localizadas altas sobre las superficies cercanas, ocasionándose picaduras y desprendimiento de metal, como consecuencia del impacto generado por la implosión de las burbujas.

La cavitación se presenta con ruidos y vibraciones. Otras causas de la cavitación son la alta viscosidad del aceite, bajo nivel del mismo, por restricciones en la admisión, por entradas de aire o por mala selección del lubricante.

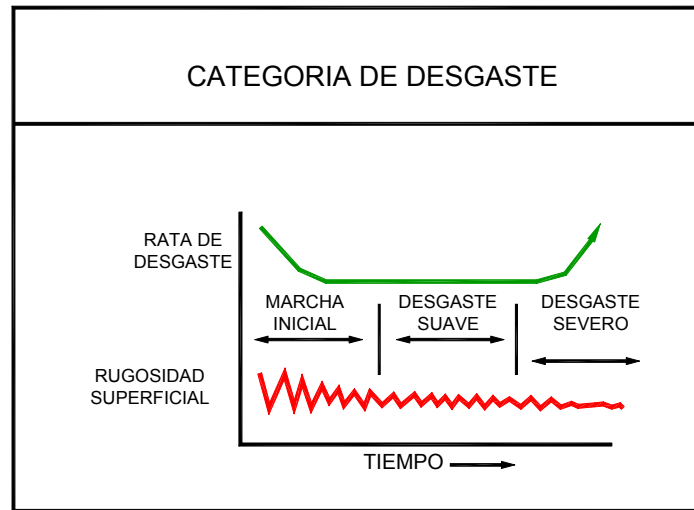
La cavitación se puede evitar, incrementando la presión en el sistema o empleando lubricantes con presión de vapor baja a altas temperaturas.

- **Desgaste por corrientes eléctricas:** Se presenta como consecuencia del paso de corriente eléctrica a través de los mecanismos o componentes de un equipo o sistema. Tal es el caso de los rodamientos de un motor eléctrico, tomas o conexiones a tierra defectuosas, por corrientes parásitas en equipo rotatorios como ejes de propulsión, turbinas y compresores centrífugos.
- **Desgaste por corrosión “Fretting”:** Es la remoción de metal causada por el deslizamiento de piezas metálicas una sobre otra. Este deslizamiento es, generalmente, el resultado de altas vibraciones y oscilaciones de baja amplitud. Se puede causar daño a una o a ambas piezas. También se ocasiona por almacenamiento y transporte inadecuado.

2.8.2 Categorías del desgaste. El desgaste se definió como la pérdida progresiva de material, como resultado de la interacción entre dos superficies.

En la siguiente gráfica, se puede observar el comportamiento del desgaste sobre una superficie a través del tiempo.

Figura 8. Categorías del desgaste



Fuente: ChevronTexaco

2.8.3 Consecuencias o problemas por el desgaste: El no controlar la fricción y no reducir el desgaste, puede generar graves consecuencias y entre las cuales se encuentran:

- Mayor consumo de repuestos por aumento de reparaciones y de los mantenimientos.
- Reducción de la producción por paradas no programadas de la maquinaria.
- Disminución del ciclo de vida útil de los equipos, máquinas y mecanismos.
- Pérdida de potencia e incremento del consumo de combustible en los motores de combustión interna.
- Posibilidad de ocurrencia de accidentes, por rotura de componentes al sobrepasar límites permisibles de diseño.
- Contaminación medio ambiente.
- Incremento de la temperatura de operación o funcionamiento.

- Sobre costos por consumo de energía adicional.

2.8.4 Formas de reducir el desgaste. Entre las distintas formas de reducir el desgaste, se tienen:

- Controlar la fricción.
- Emplear adecuados lubricantes para las diferentes condiciones de operación.
- Controlar el medio ambiente o entorno en que operan máquinas, equipos y mecanismos.
- Establecer frecuencias correctas de lubricación y controlar cambios de lubricantes y grasas.
- Implantar programas de mantenimiento preventivo.
- Controlar limpiezas y cambio oportuno de filtros de aire y lubricante.
- Emplear combustibles con bajo contenido de azufre.
- Tomar pruebas de aceite y efectuar pruebas respectivas con equipo portátil, acuerdo recomendaciones del fabricante.
- Chequear sistemas de filtrado.
- Tomar pruebas de aceite y enviar a laboratorio especializado para análisis.
- No someter los mecanismos, equipos y máquinas a condiciones diferentes de diseño.
- Controlar el alineamiento y balanceo de los equipos.

3. LUBRICACION

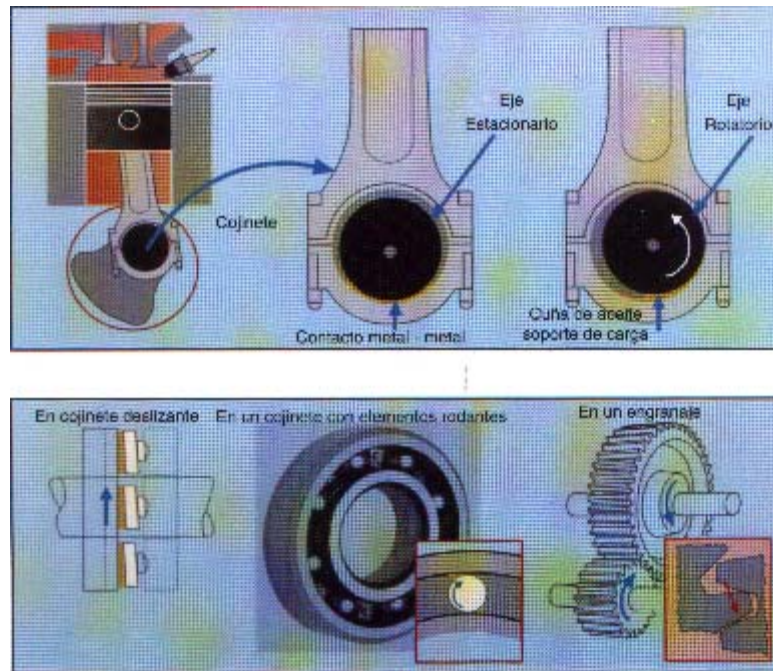
En todo proceso productivo, se busca incrementar el ciclo de vida útil de los equipos y con ello se garantiza la productividad con calidad y cumplimiento.

Para alcanzar estos objetivos, son determinantes los correctos diseños, fabricación, montaje, operación y mantenimiento de los equipos y mecanismos. De otra forma, no se podría calcular y garantizar el respectivo ciclo de vida útil o a la fatiga por parte de los fabricantes y no habría, por consiguiente, seguridad en el usuario para adquirir y explotar citados equipos en determinado proceso. No habría certeza en determinantes básicos como la mantenibilidad, disponibilidad y operatividad de los mismos.

El mantener y garantizar, con seguridad y eficiencia, la disponibilidad y operatividad de los diferentes equipos y sistemas con que están dotadas las diferentes Unidades de la Armada Nacional, se convierten en retos de las tripulaciones que las mantienen y operan. Sólo así, se facilitaría y garantizaría la reacción inmediata de cualquiera de ellas, no importando los modos de tiempo y lugar. Este factor determinante lo constituye la lubricación.

Cualquier procedimiento que se emplee para controlar la fricción y reducir el desgaste entre dos superficies móviles, es denominado **lubricación**. A cualquier sustancia o material que se coloque entre estas superficies para lograr citados objetivos, se le llama **lubricante**.

Figura 9. La lubricación.



Sin el empleo de esa sustancia o material lubricante entre dos superficies que se desplazan en movimiento relativo, sería imposible mantener en operación un equipo o máquina; ya que en un momento determinado y por efectos de la elevada temperatura, fricción, desgaste y presencia de residuos metálicos, entre otros, sus componentes y mecanismos se fundirían generándose pérdidas y paradas de los procesos productivos de los cuales forman parte. Es claro, que todo proceso al final entrega un producto o un servicio. La Armada Nacional entrega a los colombianos deferentes servicios, entre ellos sobresalen la seguridad y la soberanía.

3.1 FUNCIONES DE LA LUBRICACION

Los lubricantes no solamente deben lubricar, también cumplen otras funciones que no son menos importantes que la de reducir la fricción. El conocimiento de las propiedades físico-químicas y una correcta selección, hacen definitiva la operación y mantenibilidad de los mecanismos y equipo. De ahí la importancia que tiene la capacitación y actualización permanente del personal que conforma las tripulaciones de las diferentes Unidades a flote de la Armada Nacional.

3.1.1 Función principal: La principal función de un lubricante es mantener separadas dos superficies en movimiento, evitando la fricción o contacto entre ellas. Sólo debe estar presente el rozamiento entre las diferentes capas que forman la película de lubricante, en donde las capas externas, superior e inferior, se adhieren firmemente a las dos superficies.

A medida que una de las dos superficies se mueve con respecto a la otra, las capas externas de lubricante permanecen adheridas, mientras que las capas internas son forzadas a deslizarse unas sobre otras. Esto se conoce como **fricción fluída**.

La resistencia al movimiento, no está gobernada por la fuerza necesaria para separar las rugosidades de las superficies opuestas y permitir el movimiento de una sobre otra, sino por la fuerza requerida para deslizar las capas de lubricante unas sobre otras. Esta última fuerza es normalmente mucho menor que la requerida para superar la fricción entre dos superficies sin lubricar.

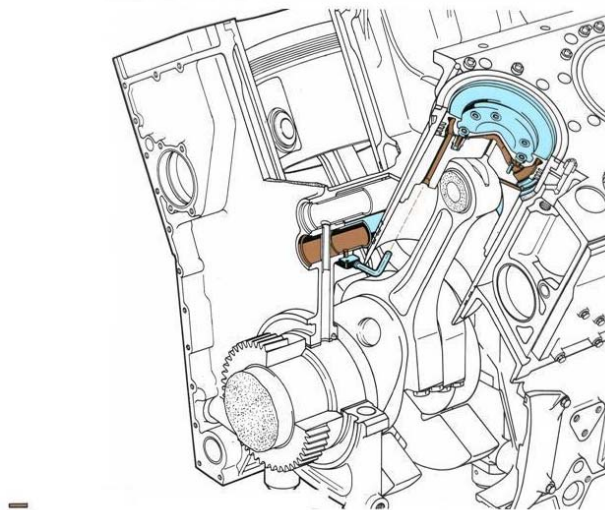
3.1.2 Funciones básica: Otras funciones que cumplen los lubricantes son:

- Refrigeración: Cualquier sustancia que reduzca la fricción actuará también como refrigerante, ya que reduce la cantidad de calor

generada cuando dos superficies rozan una contra otra. Un eficiente flujo o circulación de lubricantes, ayuda a controlar la temperatura. A veces son empleados para prevenir el sobrecalentamiento, transfiriendo calor de las áreas más calientes a otras con menor temperatura.

La refrigeración de la parte interior de los pistones de un motor diesel, es un claro ejemplo de esta función.

Figura 10. Refrigeración del pistón.



Fuente: MTU de Colombia.

- **Protección contra la corrosión:** La lubricación efectiva minimiza el desgaste mecánico, reduciendo la fricción o contacto entre las superficies móviles. Sin embargo, el desgaste químico o corrosión se puede presentar. Desde luego que un lubricante no debe causar corrosión, debe proteger activamente las superficies que lubrica, inhibiendo cualquier daño que pueda ser causado por el agua, ácidos u otros agentes contaminantes. Los lubricantes deben proteger contra la

corrosión en dos formas diferentes: cubrir las superficies y suministrar una barrera física contra cualquier ataque.

- Mantenimiento de la limpieza: La eficiencia con que funciona un mecanismo o equipo, se puede reducir si éstos se contaminan con impurezas de tipo orgánico o metálico; por ejemplo, polvo, arena, productos de desgaste, corrosión , etc.

Estas partículas contaminantes pueden incrementar el desgaste, promover más corrosión y bloquear filtros y tuberías de circulación. Los lubricantes ayudan a mantener limpias y operando correctamente las máquinas y mecanismos, mediante el lavado que hacen en su constante circulación.

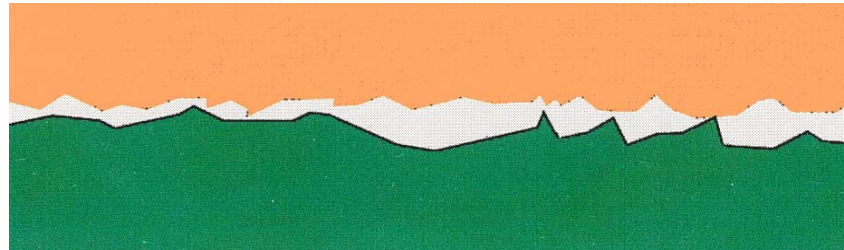
3.1.3 Otras funciones: Los lubricantes empleados para aplicaciones particulares, como las anteriormente relacionadas, pueden requerir otras funciones, como:

- Sellamiento: El aceite empleado en motores de combustión interna, debe proveer un sellado efectivo entre los anillos del pistón y las paredes de los cilindros o camisas. El sellado es también importante en la lubricación de bombas y compresores.
- Transmisión de potencia: Los aceites hidráulicos son empleados para transmisión y control de potencia; así mismo, lubrican las superficies de trabajo de los sistemas hidráulicos.
- Aislamiento: Los aceites de aislamiento son empleados en los transformadores eléctricos e interruptores de potencia.

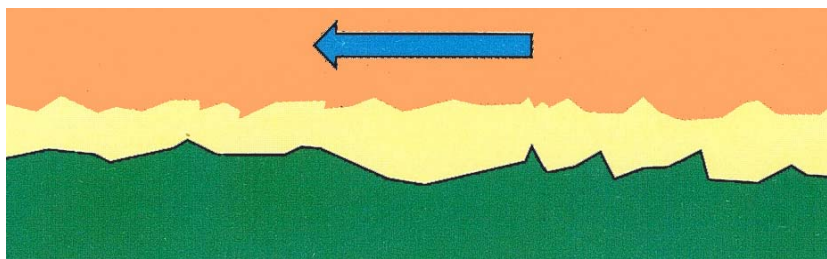
3.2 CONSECUENCIAS DE LA LUBRICACION

Al minimizar la fricción, la lubricación reduce el desgaste y los consumos de energía. Sin embargo, aunque se empleen los mejores lubricantes o aceites sintéticos, nunca se podrá eliminar totalmente la fricción.

Figura 11. Efectos de la lubricación



Contacto entre dos superficies



El efecto de un lubricante

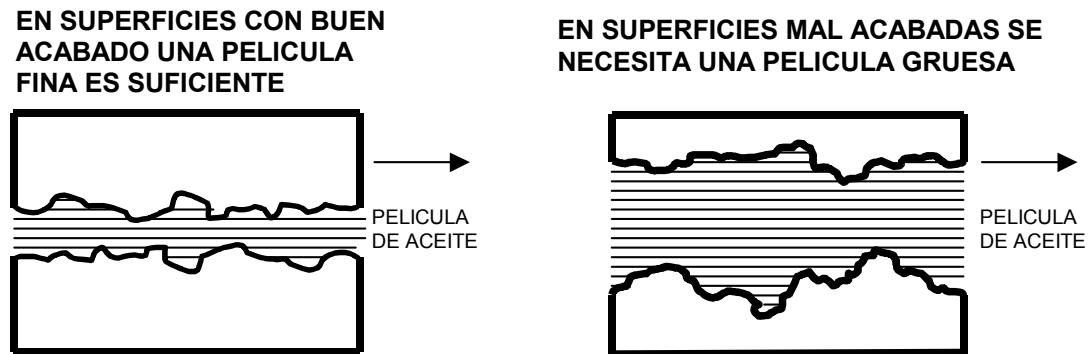
3.3 PRINCIPIOS BASICOS

La película de lubricante debe cumplir determinadas características o propiedades, las cuales hacen que cumplan el objetivo propuesto. Entre estas propiedades están: la viscosidad, espesor, adhesividad y contenido de aditivos.

Una película demasiado gruesa es tan perjudicial como una delgada, ya que esta última puede dar paso a un contacto metal-metal en las superficies (desgaste adhesivo) si llegase a romper la película límite. Si es demasiado gruesa se presenta fricción fluída, lo que genera calor y puede ocasionar desgaste adhesivo.

El espesor de la película depende del acabado superficial, es decir, entre mejor sea el acabado sólo se requiere película delgada, pero si tiene mal acabado, entonces se requeriría película gruesa.

Figura 12. Influencia del acabado superficial en espesor de película aceite.



Entre los principios básicos de lubricación están:

- Cada mecanismo o máquina requiere de una lubricación específica, de acuerdo con las condiciones de funcionamiento.
- Los lubricantes seleccionados, deben cumplir con las propiedades físico-químicas referidas por los fabricantes de los equipos o sistemas, para operarlas correctamente.
- Lubricantes de propiedades parecidas, diferentes y de distintos fabricantes no deben mezclarse, ya que los aditivos empleados son diferentes y pueden afectar los mecanismos y demás partes internas de las máquinas o equipos.

3.4 COMPORTAMIENTO DE LA LUBRICACION

Al emplear un equipo, máquina o sistema, se presentan dos situaciones bien definidas con respecto al movimiento, una al iniciarse (arranque) y la otra cuando se mueve con velocidad uniforme.

3.4.1 Movimiento inicial: Una superficie inicia su movimiento sobre otra y el poco lubricante existente empieza a deformarse en pequeñas laminillas, unas sobre otras al inicio. Estas laminillas son paralelas y se presenta contacto metal-metal, al no existir una adecuada separación entre las superficies.

3.4.2 Movimiento uniforme: A medida que la superficie móvil va alcanzando su velocidad de operación, se incrementa la presión de aceite hasta alcanzar un flujo adecuado, que permite la separación completa de las superficies.

3.5 REGIMENES DE LUBRICACION

La lubricación siempre mejora y facilita la suavidad del movimiento de una superficie con respecto a otra. Esto puede lograrse de diferentes formas. Los variados tipos de lubricación normalmente son denominados **regímenes de lubricación**. Durante el ciclo operacional de las máquinas, se presentan transiciones entre los diferentes regímenes.

3.5.1 **Lubricación hidrodinámica:** Las mejores condiciones de lubricación existen cuando las dos superficies móviles están completamente separadas por una película de aceite de suficientes capas o láminas.

Esta forma de lubricación es conocida como **hidrodinámica** o **lubricación de película gruesa**. El espesor mínimo de la película de lubricante es superior a la suma promedio de las irregularidades que presentan las dos superficies, y la resistencia al movimiento está reflejada por la fricción que presentan las capas de lubricante.

En este caso, las condiciones de lubricación son ideales y los equipos funcionarán sin ningún contratiempo. Este tipo de lubricación requiere de un adecuado flujo de lubricante, para mantener separadas las superficies. Ver Figura 13(a).

Existen factores que afectan la película fluida o hidrodinámica del lubricante. Entre éstos están:

- Viscosidad.
- Velocidad.
- Carga.
- Acabado superficial.
- Diámetro ,longitud y tolerancias.
- Suministro o flujo de lubricante.

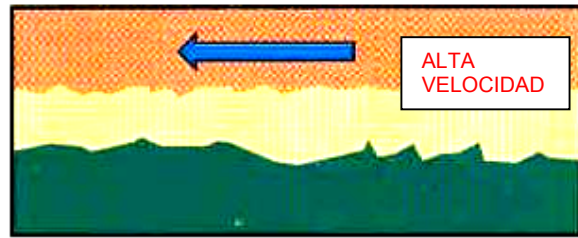
El espesor de la película de aceite depende principalmente de la viscosidad que éste tenga. Este parámetro, es la medida del espesor o de la resistencia a fluir.

3.5.2 Lubricación límite: La lubricación es menos eficiente y más insegura, cuando la película es tan delgada entre las dos superficies que al contacto entre éstas, es equivalente o casi igual a la condición en que no existiera lubricante. Estas condiciones definen la **lubricación límite**. Ver Figura 13(c).

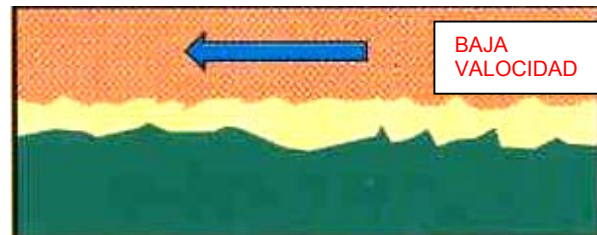
La carga es soportada por pequeñas láminas o capas de lubricante adyacentes o adheridas a las superficies de los dos cuerpos. La fricción, en este caso, es menor que en superficies completamente sin lubricar y está determinada por la naturaleza química del lubricante.

Figura 13. Regímenes de lubricación

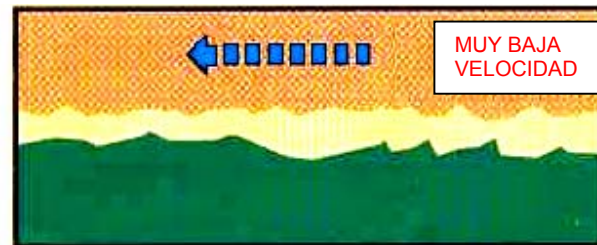
(a) LUBRICACIÒN HIDRODINÀMICA



(b) LUBRICACIÒN MIXTA



(c) LUBRICACIÒN LÌMITE



Bajo condiciones normales de operación, el régimen de lubricación límite no debe existir; de lo contrario, hubo una mala selección del lubricante, se presentó una contaminación que afectó su viscosidad o se variaron las condiciones de operación de la máquina y sus mecanismos se someten a presiones o cargas mayores.

Entre los extremos de las lubricaciones límite e hidrodinámica, se presentan dos regímenes; uno es la lubricación mixta o de película delgada y el otro es la lubricación elastohidrodinámica (EHL ó EHD).

3.5.3 Lubricación mixta o de película delgada: Se presenta cuando las superficies móviles están separadas por una película de lubricante continua,

con un espesor comparable a la rugosidad de las superficies. Ver Figura 13(b).

Este tipo de lubricación representa una condición intermedia entre la lubricaciones límite e hidrodinámica, y todo mecanismo pasa por ella antes de alcanzar la condición última, es decir, la hidrodinámica.

La carga es soportada por una mezcla de presión de lubricante y los contactos de las rugosidades o asperezas entre las superficies, es decir, una parte de la carga es soportada por las acciones hidrodinámicas y la otra, por la película límite que recubre las irregularidades existentes entre las superficies.

Una selección incorrecta del aceite o una disminución de la viscosidad, pueden ocasionar que un mecanismo o equipo quede operando en esta condición, y el espesor de la película de lubricante sería igual al promedio de las rugosidades o esfuerzos de las dos superficies y no se logra un flujo laminar.

3.5.4 Lubricación elastohidrodinámica (EHL ó EHD): Es un tipo especial de lubricación hidrodinámica, la cual se puede desarrollar en ciertos contactos con altas cargas, como cojinetes y algunos tipos de engranajes. En estos mecanismos, el lubricante es arrastrado hacia el área de contacto y luego, sometido a altas presiones a medida que es comprimido bajo carga pesada.

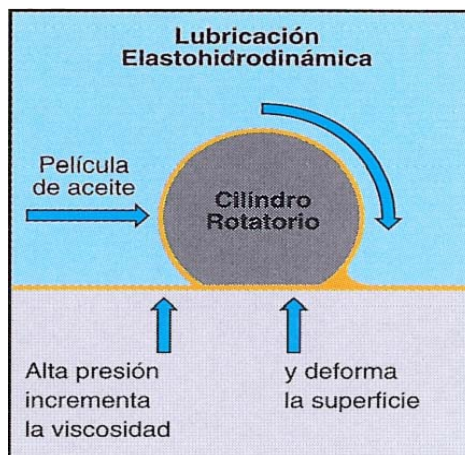
El incremento de la presión tiene dos efectos:

- Genera aumento de la viscosidad del lubricante y por consiguiente, aumento en su capacidad de soportar cargas.

- La presión deforma las irregularidades de las superficies sometidas a carga y distribuye la carga sobre un área mayor.

El aumento de la viscosidad del aceite, debido a la presión, y el aplastamiento de la superficie, se combinan para “atrapar o retener” el lubricante en el momento en que éste penetra en la zona de contacto.

Figura 14. Lubricación elastohidrodinámica



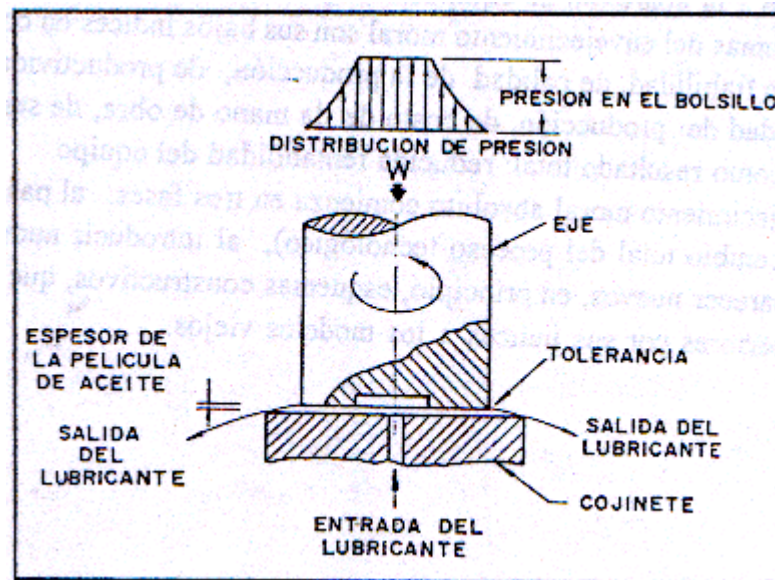
El espesor de la película lubricante, es función de tres parámetros: carga, velocidad y coeficiente de piezo-viscosidad. Es o debe ser limitado, ya que si es muy grande, incrementa la fricción entre las capas de lubricante, generándose aumento de la temperatura y por consiguiente, una disminución de la viscosidad del aceite. Finalmente, el espesor de la película lubricante entre las dos superficies también disminuye.

3.5.5 Lubricación hidrostática: Este tipo de lubricación consiste en bombear lubricante a presión entre dos superficies, con el fin de separarlos

de tal forma, que no se requiera del movimiento relativo entre ellas para mantener la película de lubricante.

Se emplea en cojinetes de empuje que soportan ejes verticales y reciben el nombre de cojinetes hidrostáticos. El aceite se suministra a presión en un resalto o bolsillo ubicado en la cara inferior del eje. Si la presión aplicada es suficiente, el eje se levanta y flota sobre la película del lubricante.

Figura 15. Cojinete de empuje hidrostático



Casi siempre, la lubricación hidrostática genera coeficientes de fricción fluída muy bajos, con valores entre 0.00046 y 0.00000075. Estos valores se deben a la baja velocidad, ya que la fuerza de rozamiento a estas velocidades es muy pequeña.

3.6 FACTORES QUE AFECTAN LA LUBRICACION

Existen diferentes factores que afectan la acción de los lubricantes. Estos se clasifican en dos grupos.

3.6.1 Factores de diseño: Estos factores deben tenerse en cuenta antes de fabricar el mecanismo, máquina o equipo, y son:

- Proyecto, cálculo y fabricación.
- Materiales empleados en la fabricación.
- Acabado superficial.
- Diseño del sistema de lubricación.

3.6.2 Factores de operación: Durante el diseño, estos factores se tuvieron en cuenta para poder determinar los límites máximos de los mecanismos o máquinas:

- Velocidad.
- Carga.
- Temperatura.
- Sistemas de aplicación.
- Contaminación.

Si la **velocidad** es alta se deben emplear aceites de baja viscosidad, para que permita la acción de bombeo y la formación de la cuña de aceite. Cuando es baja, se debe compensar la deficiencia en la formación de la cuña de aceite con un lubricante de alta viscosidad.

Un aceite soportará mejor las **cargas** altas si es más viscoso, ya que evitará el contacto metálico entre las superficies y cuando es baja, un aceite delgado

será suficiente para separarlas completamente y reducir al mínimo, las pérdidas de potencia por fricción fluida.

La **temperatura** afecta en forma inversamente proporcional a la viscosidad; así, cuando un aceite se calienta, su viscosidad disminuye y por el contrario, cuando se enfría, el aceite se espesa hasta un punto tal que puede dejar de fluir.

La **contaminación** y los **sistemas de aplicación** de los lubricantes, son dos factores que afectan la acción de los aceites y que por consiguiente, pueden afectar o averiar los mecanismos o máquinas.

La contaminación se puede presentar en diferentes formas, y entre ellas están:

- Por agua.

Es perjudicial para los lubricantes y para las superficies metálicas. Todo lubricante debe tener excelentes propiedades antiemulsionantes; ésto hará que el agua se separe rápidamente y que se forme una película protectora entre las superficies y el medio circundante, con lo cual se previene la corrosión y la herrumbre.

El agua se puede presentar cuando las máquinas o mecanismos dejan de operar y se enfrían, y se debe a la condensación de los vapores de agua presentes en la atmósfera. También puede presentarse por:

- Ruptura del enfriador.
- Subproductos de la combustión.
- Empaquetaduras en mal estado o mal instaladas.
- Agua del proceso (enfriamiento).
- Contaminación con refrigerantes.

- Tambores de aceite mal almacenados.
- Tambores almacenados a la intemperie. Aquí, los procesos de expansión y contracción de la caneca o tambor metálico permiten la entrada del agua a través del tapón y de la tapa.
- Con sílice. Se puede ocasionar por:
 - Ambiente muy contaminado.
 - Filtración defectuosa.
 - Filtros inadecuados o de mala calidad.
 - Limpieza inadecuada de los filtros de aire.
 - Manejo deficiente del lubricante en los rellenos o cambios.
 - Contaminación durante los mantenimientos y/o reparaciones.
- Con sólidos provenientes de:
 - Material del proceso (vidrio, plástico, harina, azúcar, asbesto, bagazo, etc.).
 - Carbón y/o hollín.
 - Residuos de retenedores y empaquetaduras.
 - Partículas metálicas del desgaste.
 - Aditivos sólidos externos.
 - Polvo o material particulado.
- Combustibles y disolventes. La contaminación con combustibles se puede presentar por defectos o ruptura de las bombas de inyección, mala inyección de combustible y defectos en los sellos o anillos de los pistones, etc.

De igual forma, se puede presentar contaminación con combustibles y disolventes empleados en los procesos de limpieza y desengrase de mecanismos y accesorios.

- Con lubricantes. Cuando se emplean lubricantes de diferentes marcas, viscosidades, empleo o destinación, entre otras.

Así mismo, se puede causar contaminación si la **aplicación** de éste no se hace correctamente, en la cantidad requerida, en el sitio adecuado y con los procedimientos y herramientas o accesorios establecidos.

4. CARACTERISTICAS DE LOS LUBRICANTES

Los lubricantes deben lubricar, refrigerar, sellar, proteger, transmitir potencia y otras funciones.

La lubricación hidrodinámica es la lubricación más eficiente, y se obtiene cuando la película de aceite que se genera es mayor que las rugosidades de las superficies. Si la película de aceite es demasiado delgada, las superficies entran en contacto, la fricción aumenta, se genera calor y se presenta el desgaste. Hay varios factores que influyen en la formación de la película de aceite y por consiguiente, en la eficiencia de la lubricación. Estos factores son:

- Viscosidad.
- Adhesividad.
- La carga.
- Diseño del mecanismo.
- Movimiento relativo entre las superficies.
- Velocidad de operación.
- Acabado superficial.
- Temperatura de operación y del medio ambiente.
- Suministro o flujo de lubricante.

4.1 CLASIFICACION DE LOS LUBRICANTES

De acuerdo a la función que deben cumplir los lubricantes y a los factores que influyen en la eficiencia que se requiera, éstos se clasifican en cuatro grupos o tipos por estado físico, a saber:

4.1.1 Lubricantes líquidos: Diferentes líquidos pueden ser empleados como lubricantes, tales como el agua, los aceites vegetal, animal y mineral; pero los más utilizados son los basados en **aceites minerales derivados del petróleo crudo**. Estos están constituidos por una base lubricante y un conjunto de aditivos. Esta composición se detallará más adelante.

Los aceites minerales son ampliamente usados por sus propiedades diversas:

- Adecuadas características de viscosidad.
- Refrigerantes efectivos por su alto calor específico y alta conductividad térmica.
- Protección contra la corrosión.
- Estables al calor y a la descomposición térmica.
- Pueden mezclarse con otros aceites y aditivos para modificar sus propiedades o mejorarlas.
- Compatibles con la mayoría de los componentes empleados en los sistemas y dispositivos de lubricación.
- Poco peligrosas y nocivos.
- Costo bajo.

Otros aceites empleados como lubricantes incluyen los **aceites naturales** (aceites animales o vegetales) y los **aceites sintéticos**.

Los naturales son excelentes lubricantes, pero se degradan más rápidamente que los minerales.

Se ha generado un creciente interés sobre posibles aplicaciones de los aceites vegetales como lubricantes. Son biodegradables, no tóxicos y menos nocivos o contaminantes del medio ambiente.

Los aceites sintéticos son fabricados a través de procesos químicos costosos. Se usan cuando se requiere una propiedad específica, tal como la

resistencia a altas temperaturas, más horas de operación para disminuir paradas en los equipos por cambios de esto. Un ejemplo claro de esto, son los requerimientos de la aviación.

A temperaturas normales de funcionamiento, los aceites en forma o estado líquido fluyen libremente suministrando una lubricación efectiva a las partes móviles o mecanismos de las máquinas y extrayendo el calor y las partículas producto del desgaste. Así mismo, desalojan los espacios lubricados impidiendo el sellado contra la humedad y las suciedades.

4.1.2 Lubricantes sólidos: Dan origen a películas lubricantes que se adhieren fuerte y firmemente a las superficies metálicas. Los materiales empleados como lubricantes sólidos son el grafito, silicona, bisulfuro de molibdeno, de fluor, boro, el politetrafluoroetileno (PTFE ó Teflón), etc.

Estos compuestos dan lugar a coeficientes de fricción muy bajos y se emplean en menor escala que los líquidos y las grasas. Son invaluable para aplicaciones especiales y en condiciones en donde los líquidos y grasas no pueden ser tolerados. Se usan en condiciones extremas de temperatura y en ambientes de reactivos químicos.

4.1.3 Lubricantes semisólidos o grasas: Son lubricantes semifluidos, elaborados generalmente con aceites minerales y agentes espesantes (jabón o arcilla), que permiten retener el lubricante por más tiempo en las superficies lubricadas.

Protegen a las superficies de la contaminación externa, sin embargo y debido a que no fluyen libremente como los aceites, son menos refrigerantes que éstos y más difíciles de aplicar cuando los equipos están en operación.

4.1.4 Lubricantes gaseosos: El aire y otros gases pueden ser empleados como lubricantes, pero son usados para propósitos especiales. El aire se emplea a presión y forma un colchón entre los elementos en movimiento. Su principal aplicación es en pequeños cojinetes lisos que giran a altas velocidades (± 100.000 rpm) en donde un lubricante convencional no serviría. Su capacidad de soporte de carga es muy baja, aproximadamente 10 psi ó 0.70 Kg/cm².

Las pérdidas por rozamiento de los gases, son solo una fracción de los valores correspondiente a los lubricantes líquidos. Se emplean especialmente en las fresas de los consultorios odontológicos. En la siguiente tabla, se comparan algunas propiedades de los cuatro tipos de lubricantes anteriormente referidos:

Tabla 1. Comparación tipos de lubricantes acuerdo estado.

PROPIEDAD O CARACTERISTICA	ESTADO LUBRICANTES			
	LIQUIDO	SEMISOLIDO	SOLIDO	GASEOSO
1. Refrigeración.	Excelente	Regular	No aplicable	Bueno
2. Facilidad en suministro o aplicación.	Muy bueno	Regular	No aplicable	Muy bueno
3. Protección contra la corrosión.	Muy bueno	Bueno	Bueno	No aplicable
4. Protección contra la contaminación.	Regular	Muy bueno	Bueno	Regular
5. Permanencia o adherencia.	Regular	Muy bueno	Sobresaliente	Regular
6. Rango de	Bueno	Bueno	Excelente	Muy bueno

temperatura de operación.				
7. Desempeño con lubricación límite.	Bueno	Bueno	Muy bueno	No aplicable
8. Desempeño con lubricación hidrodinámica.	Excelente	Regular	No aplicable	Muy bueno

Fuente: Shell de Colombia

4.2 PROPIEDAD DE LOS LUBRICANTES

Durante la selección de un lubricante y para asegurar que éste continuará cumpliendo sus funciones durante un largo periodo de tiempo, se deben tener en cuenta distintos factores y características.

Un lubricante no debe seleccionarse por marcas ni nombres, sino por sus propiedades físico-químicas. Son éstas las que garantizan un desempeño o trabajo eficiente, continuo y constante. Diversas clases de lubricantes con nombres iguales o similares, pueden tener diferentes empleos.

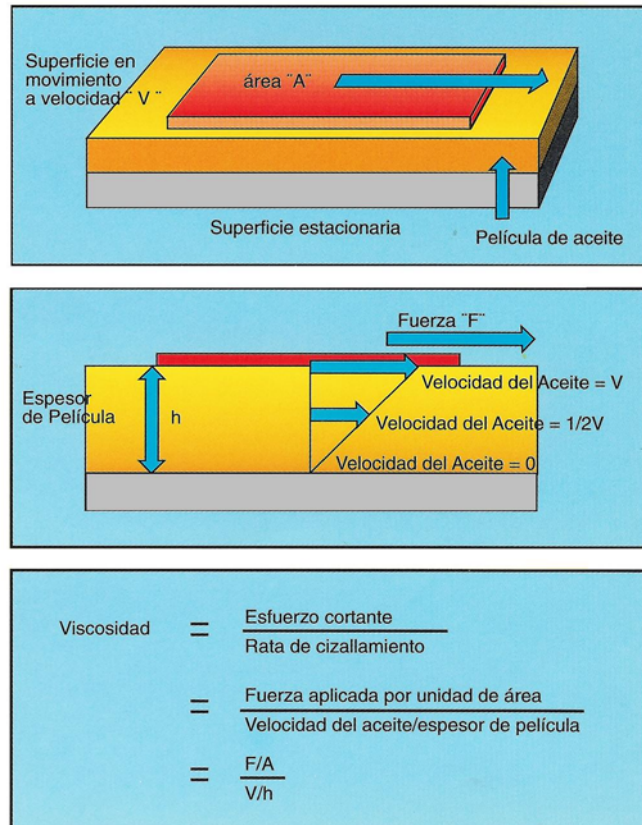
4.2.1 Viscosidad. Es la resistencia de un líquido a fluir, como consecuencia de la fricción interna de sus moléculas (cohesión).

Bajo las mismas condiciones de presión y temperatura, un líquido con una baja viscosidad como el agua o un aceite hidráulico, fluirá más rápido que un líquido con alto valor de viscosidad. Esta tiene ingerencia o influencia en:

- Formación de la película lubricante.
- Generación de calor.
- Propiedades de sellado.
- Facilidad de arranque con bajas temperatura.
- Adherencia y permanencia de la película en el tiempo.

- Rata de consumo de lubricante.
- Otros.

Figura 16. La viscosidad



Fuente: Shell de Colombia

Una mala selección o empleo incorrecto de la viscosidad afecta:

- Alta viscosidad
 - Incremento de la temperatura.
 - Aumento de la resistencia a fluir.
 - Incremento del consumo de potencia.
- Baja Viscosidad.
 - Pérdida o disminución de presión.
 - Aumento de la fricción y desgaste.

- Aparición o incremento de fugas.
- Pérdida de precisión.

La viscosidad dinámica es una función de la fricción interna del fluido. Los ingenieros la emplean en cálculos de diseño de cojinetes. Se expresa en **poise** en honor al físico francés Poiseuille. Se emplea con más frecuencia el **Centipoise** (cps)

$$1 \text{ Poise} = 1 \frac{\text{dina.s}}{\text{cm}^2}$$

$$1 \text{ Centipoise} = 1,019 \times 10^{-8} \text{ kgf.s/cm}^2.$$

La viscosidad cinemática es frecuentemente mas utilizada por los usuarios y fabricantes de lubricantes, la cual es una función de resistencia por la fricción interna y por la densidad del fluido.

Es la viscosidad dinámica o absoluta dividida por la densidad del fluido. Se expresa en **centistokes (cst)**.

El agua a temperatura ambiente tiene una viscosidad aproximada a 1 cst y la de la mayoría de las lubricantes a temperatura de operación oscila en el rango de 10 a 100 cst.

$$1 \text{ centistoke} = 1 \frac{(\text{centipoise})}{\rho(\text{gr/cm}^3)} \quad \rho = \text{densidad}$$

Los lubricantes y grasas también se clasifican por su viscosidad de acuerdo al tipo de servicio que desempeñarán. Estos lubricantes y grasas se dividen en industriales y automotores.

Se presentan para tal fin dos normas:

- **SAE**
 - Aceite para engranaje.
 - Aceite para motores
- **ISO**
 - Aceite industriales.

Sistema o Norma SAE. En la clasificación de los lubricantes para motores y engranajes, intervienen tres organismos con funciones específicas:

- SAE. (Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices), definiendo la necesidad.
- API. (Instituto Americano del Petróleo), desarrollando el lenguaje al consumidor.
- ASTM. (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales), definiendo los métodos de evaluación y los objetivos de la calidad.

Se han asignado o especificado doce grados, correspondiendo cada uno a un rango de viscosidades.

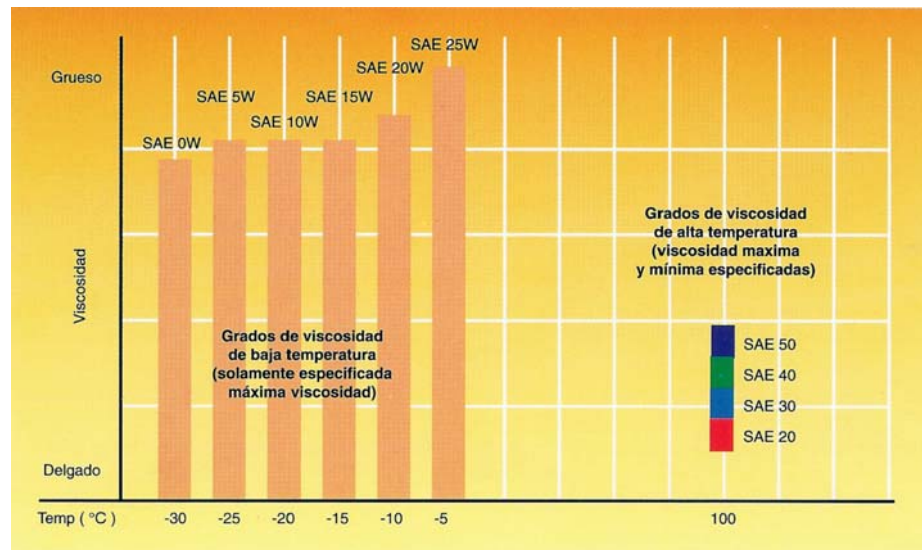
Seis (06) de ellos están referidos a la medida de la máxima viscosidad a bajas temperaturas. Estos grados son:

- SAE OW medida a - 35°C
- SAE 5W medida a - 30°C
- SAE 10W medida a - 25°C
- SAE 15W medida a - 20°C
- SAE 20W medida a - 15°C
- SAE 25W medida a - 10°C

El sufijo “W” (winter) expresa que es un aceite adecuado para usar en invierno, lo que indica que cuando está sometido a bajas temperaturas, no

incrementan su viscosidad, sino que permanece delgado, garantizando la correcta lubricación.

Figura 17. Grados de viscosidad a altas y bajas temperaturas.



Fuente: Shell de Colombia

Los otros seis grados están basados en las medidas de viscosidad a 100°C.

En orden de incremento de viscosidad son:

- SAE 10
- SAE 20
- SAE 30
- SAE 40
- SAE 50
- SAE 60

Los aceites lubricantes para motores y engranajes, que sólo pueden ser clasificados en uno de los dos grados o grupos anteriormente relacionados, se conocen como **aceites monógrados**, es decir, sólo tienen un grado de viscosidad.

Por el contrario, los aceites que tienen un alto índice de viscosidad y que cumplen los requerimientos de los dos grados o grupos simultáneamente, se denominan **aceites multigrados**.

Los grados SAE además de definir los grados de viscosidad, también definen la temperatura límite de bombeabilidad (BPT) para los grados “W” del lubricante.

La temperatura límite de bombeabilidad, está definida como la temperatura más baja a la cual un aceite de motor puede ser continua y adecuadamente suministrado a la bomba de aceite del motor o del equipo.

Las ventajas de emplear aceites monógrados o multigrados, han generado discrepancias entre los distintos fabricantes de motores diesel; sin embargo, se ha demostrado, en la mayoría de los casos y ensayos, que los aceites multigrados tienen más ventajas que los monógrados.

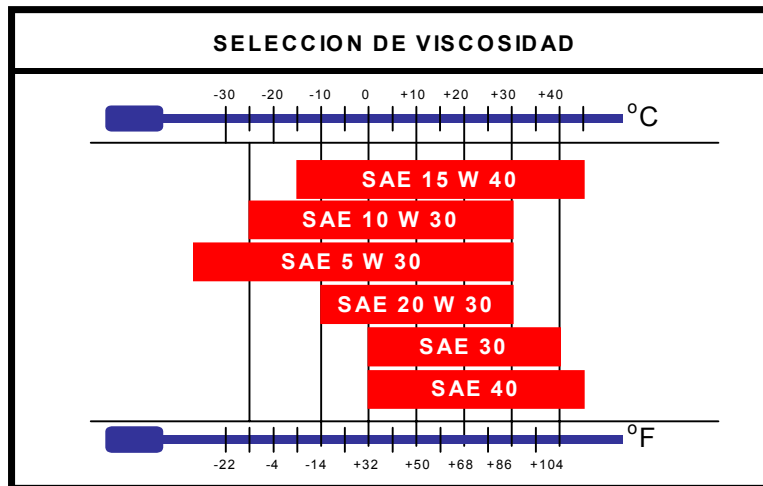
Entre estas ventajas están:

- Mejores características de flujo.
- Arranque en frío más fácil.
- Menor desgaste en los mecanismos.
- Menor consumo de combustible.
- Se reduce el tiempo en llegar a las partes críticas de los motores.
- Menores costos de inventario y de mantenimiento.

A bajas temperaturas, el aceite monógado tiene mayor viscosidad que el multigrado, ésto genera que en el momento del arranque, (lubricación inicial del motor), el lubricante demore más tiempo en llegar a los puntos críticos. Por el contrario, el aceite multigrado por tener menor viscosidad, fluye más rápido hacia esas partes.

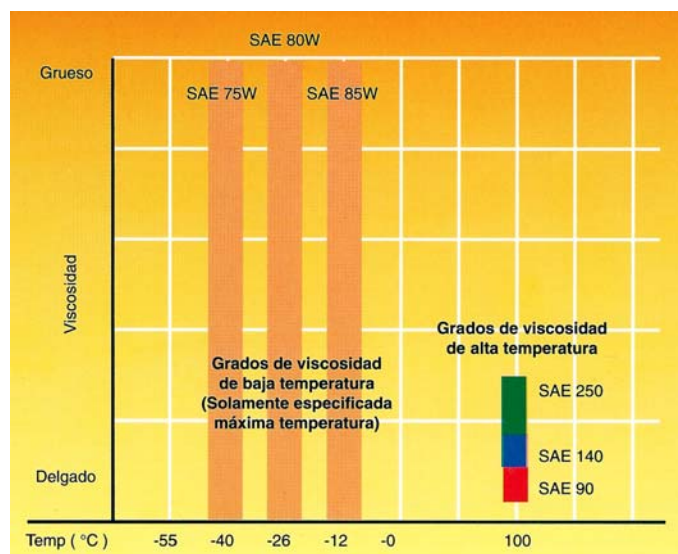
Para un determinado rango de temperatura, la película de lubricante multigrado es más estable.

Figura 18. Selección de viscosidad



La selección adecuada de la viscosidad del aceite, puede asegurar un flujo inmediato del lubricante al arrancar el motor. En la Figura 9 se presenta una guía para seleccionar en forma aproximada, el grado SAE para una aplicación en particular de un aceite de acuerdo a la temperatura del medio ambiente.

Figura 19. Grados de viscosidad para automotores y engranajes reductores.

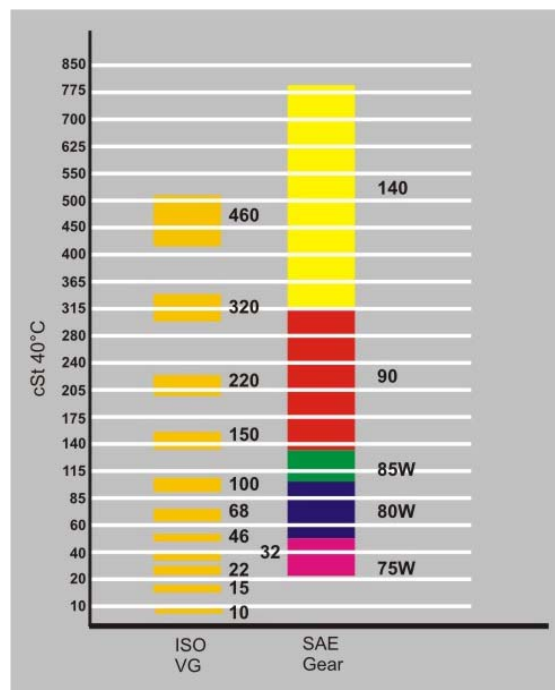


Fuente: Shell de Colombia.

Un sistema similar al empleado para los aceites de motores, es utilizado para clasificar los lubricantes de los engranajes. En esta clasificación, los grados SAE 90, SAE 140 y SAE 250 están basados en las medidas de viscosidad a 100°C y los grados SAE 75W, SAE 80W y SAE 85W son medidos a -40°C, -26°C y -12°C respectivamente.

Sistema o Norma ISO. Los aceites industriales se clasifican según las Normas Internacionales de Estandarización (ISO), vigentes desde 1975, pero que sólo se empezaron a emplear en 1979. El sistema ISO clasifica los aceites industriales en centistokes a 40°C y permite mayor facilidad en el manejo de los aceites, pues evita una mala utilización por parte del usuario. Así mismo, facilita hallar el equivalente, ya que el nombre del aceite viene acompañado de un número que indica la viscosidad en el sistema ISO. Por ejemplo, en el aceite Shell Tellus 68 se sabe que su viscosidad es de 68 cst a 40°C.

Figura 20. Comparación de clasificación de aceites por viscosidad.



Fuente: Shell de Colombia

En el sistema ISO se definen 18 grados, cada uno cubre un pequeño rango de viscosidad y está especificado por el término ISO VG seguido por un número, el cual es una medida de viscosidad a 40°C. Esta a cualquier grado es mayor que su grado inmediatamente anterior (Ver tabla 2).

A excepción de la firma Mobil, todas las compañías fabricantes de lubricantes han adoptado la norma ISO junto al nombre de sus aceites.

Por ejemplo, en el Mobilgear 632 de la Mobil, el 632 no es un grado ISO y su viscosidad equivale a la de un grado 320.

Cabe anotar que cualquiera que sea el sistema de grados empleados, SAE ó ISO, el número se relaciona con la viscosidad del aceite y no con su calidad, propiedades o desempeño.

Tabla No. 2. Grados de viscosidad de lubricantes industriales (ISO)

	2
	3
DELGADO	5
	7
	10
V I S C O S I D A D	15
	22
	32
	46
	68
	100
	150
	220
	320
	460
GRUESO	680
	1000
	1500

Fuente: Shell de Colombia

El Instituto Americano de Petróleo (API), tiene estandarizados niveles de calidad de los aceites para lubricar motores de combustión interna. Estas especificaciones de calidad, son el complemento indispensable que debe acompañar a la viscosidad en el sistema SAE. Un lubricante no quedará correctamente seleccionado, sino se tienen en cuenta estas dos clasificaciones.

En los Estados Unidos, a pesar de que la mayoría de los fabricantes de vehículos usan la clasificación API, existen unos que tienen sus propias especificaciones en forma adicional y, en muchos casos, son más exigentes que las del Instituto Americano del Petróleo. Tal es el caso de la Ford, la Cummins, Caterpillar y las Fuerzas Armadas, entre otros.

Las Fuerzas Armadas las especifican con las letras MIL-L y un número que hace referencia al método empleado. Existe una correlación entre éstos y la API.

Desde 1960, la API identificaba los aceites para motores a gasolina usando la letra S seguida de una segunda que iba desde la A hasta la G, siendo la SG la más reciente y específica los aceites de alta calidad. En la actualidad, ya se fabrican aceites de especificaciones SA y SB.

Para los motores diesel, la API emplea dos letras: la C que indica el tipo de motor (Diesel) seguida de otra que representa las condiciones de carga. Esta clasificación comprende:

- CA Motores diesel a trabajo liviano.
- CB Motores diesel a trabajo moderado.
- CC Motores diesel no turbosobrealimentados y que trabajan en condiciones severas.

- CD,CE Motores diesel turbosobrealimentados o no y que trabajan en condiciones críticas (maquinaria pesada).

La especificación CE reemplazó a la CD, ya que se detectaron problemas relacionados con desgaste, depósitos en los pistones, consumo, etc.

Desde 1992, la API aprobó la formulación y comercialización de los aceites CF 2 y CF 4 para motores diesel turbosobrealimentados de 2 y 4 tiempos. Estas especificaciones cubren a los inicialmente relacionados, disminuyendo la formación de depósitos y reduciendo el consumo de aceite. Actualmente, la API desarrolla las categorías CF, CF-II y CG-4.

La **Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes (AGMA)** clasifica la viscosidad de los aceites industriales, de acuerdo con una codificación que va del número 1 al 13 y corresponde a un valor de viscosidad en SSU a 100°F o en cSt a 37.8°C.

El número que acompaña al grado AGMA no indica valor de viscosidad, sino que a mayor número la viscosidad del aceite es mayor. Este sistema solo se utiliza para relacionar aceites para reductores de velocidad y engranajes abiertos. Los grados AGMA sin sufijo poseen aditivos inhibidores de la herrumbre y la oxidación.

La **Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM)**, especificaba la viscosidad de los aceites industriales mediante un número estándar que indicaba la viscosidad del aceite en SSU a 100°F. Este sistema está en desuso, ya que fue reemplazado por el sistema ISO; sin embargo, aún se encuentra en catálogos de algunas máquinas construidas en épocas anteriores y que se encuentran operativas.

Muchos fabricantes de motores especifican las recomendaciones de los aceites a utilizar, de acuerdo a **especificaciones militares de las Fuerzas Armadas Norteamericanas**. La ASTM efectúa los respectivos ensayos para determinar la especificación militar. Estas especificaciones son cada vez más exigentes. Algunas especificaciones ya no aplican por no cumplir con los requerimientos de lubricación en motores modernos; otros han sido reemplazados por otros.

Los aceites para motores de dos tiempos están clasificados por la SAE, pero es más común especificarlos de acuerdo a la relación gasolina / aceite. Estas proporciones son independientes de la viscosidad del aceite base. La más común es 50:1, lo que equivale a 50 partes de gasolina por una parte de aceite.

La tendencia hoy es a emplear mezclas más ricas en aceite como 30:1, 25:1 y 20:1, para compensar la pérdida de viscosidad. Otros fabricantes proyectan emplear relación de 100:1 para minimizar las suciedades que se presentan en las bujías.

La mezcla gasolina-aceite debe permanecer homogénea, es decir, no separarse con el fin de evitar los arranques difíciles, inundaciones en el carburador y en las bujías, etc.

Los métodos más conocidos para efectuar la mezcla gasolina-aceite, son:

- Agitación. El depósito se agita después de tener los dos componentes.
- Premezclado. Se mezclan por medio de un distribuidor-mezclador en el momento de llenar el depósito.
- Mezcla preparada con anterioridad. Es presentada al usuario en bidones precintados de dos litros.

- Mezcla prediluída. El aceite entra entre 15 y 20% de un diluyente menos volátil que la gasolina, que facilita la mezcla.

4.2.2 Índice de viscosidad. Después de la viscosidad, el índice de viscosidad es la característica más importante que debe tenerse en cuenta y se define, como la mayor o menor estabilidad de la viscosidad de un lubricante frente a los cambios de temperatura.

La viscosidad de cualquier líquido disminuye a medida que aumenta la temperatura, por lo tanto, un aceite con una viscosidad apropiada a temperatura ambiente, puede ser muy delgado a temperatura de operación. De igual forma, un aceite con viscosidad adecuada a temperatura de operación puede llegar a ser demasiado viscoso a bajas temperaturas, lo que impediría el arranque en frío del mecanismo y la circulación normal.

El índice de viscosidad describe el efecto de la temperatura sobre la viscosidad de un lubricante. Un bajo índice de viscosidad, corresponde a un lubricante con viscosidad sensible a los cambios de temperatura. Los aceites con alto índice de viscosidad son menos afectados por los cambios de temperatura. El índice de viscosidad es un indicativo de calidad en un lubricante.

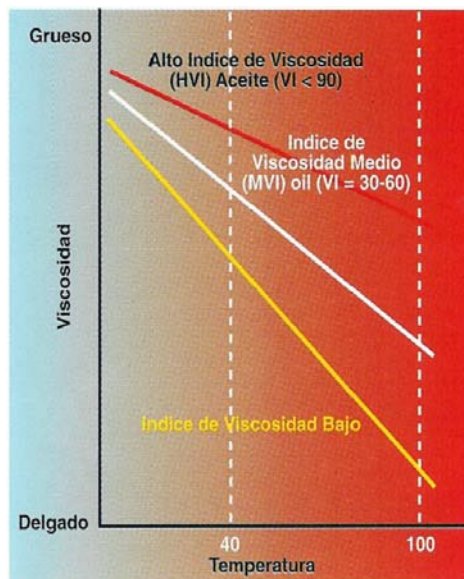
Este índice está determinado por su viscosidad a 40 y 100°C y el rango normal para aceites minerales es de 0 a 100.

Los aceites con índice de viscosidad mayor a 85, son llamados aceites de alto índice de viscosidad (**HVI**). Los que tienen valores menores a 30 son conocidos como aceites de bajo índice de viscosidad (**LVI**) y los situados en el valor intermedio, es decir, entre 85 y 30, se denominan aceites de mediano índice de viscosidad (**MVI**). Ver figura 21.

El índice de viscosidad de los aceites minerales, se puede incrementar mediante la adición de un **mejorador del índice de viscosidad**. Esto, unido a las nuevas técnicas de refinación, permite la obtención de aceites multigrados con índices de viscosidad de 130 ó más.

Esto se amplía en la sección de los aditivos que mejoran el desempeño de los lubricantes, es decir, en la sección 4.4.1.

Figura 21. Variación de la viscosidad con la temperatura.



Fuente: Shell de Colombia

Beneficios de índices de viscosidad con valores altos:

- Menor viscosidad a baja temperatura.
 - Mejor arranque en frío.
 - Mejor bombeabilidad del aceite.
 - Menor consumo de combustible.
 - Mejor fluidez del aceite.

- Menor desgaste.
- Mayor viscosidad a alta temperatura.
 - Disminuye consumo de aceite.
 - Menor desgaste de los mecanismos.

4.2.3 Punto de inflamación o chispa. Es la temperatura más baja a la cual los vapores o gases formados, se inflaman o incendian por un instante por la presencia próxima de una chispa o una llama abierta. El riesgo de fuego en este punto es muy pequeño.

Los aceites minerales livianos tienen puntos de chispa por encima de 120°C. En lubricación, no deben emplearse aceites con punto de inflamación por debajo de 150°C.

4.2.4 Punto de combustión. Es la temperatura a la cual se forman suficientes gases o vapores, para mantener una llama durante mínimo cinco (5) segundos. Esta temperatura suele ser superior en 30 ó 60°C al valor del punto de inflamación o chispa.

Los puntos de inflamación y combustión no deben confundirse con el de auto-inflamación o autoignición, que es la temperatura a la cual los vapores o gases se inflaman y queman, sin necesidad de aplicar una llama o chispa.

4.2.5 Punto de fluidez o flujo a baja temperatura. Es la temperatura más baja a la cual el aceite fluye. En la práctica, los lubricantes deben tener un punto de fluidez de por lo menos 10°C por debajo de la temperatura a la cual operarán las máquinas.

4.2.6 Estabilidad térmica. Es la propiedad que deben tener los lubricantes, de no descomponerse cuando durante el uso se calientan, perdiendo sus

características de lubricar correctamente o que se liberen productos inflamables o peligrosos.

4.2.7 Estabilidad química y oxidación. Los lubricantes al poder entrar en contacto directo con sustancias, deben ser capaces de soportar el ataque químico de éstas.

La oxidación, por reacción con el oxígeno del aire, es la causa más común en el deterioro de los aceites minerales. Se pueden generar puntos de corrosión, depósitos de gomas en las partes que operan a altas temperaturas, y lodos que alteran el flujo del lubricante.

4.2.8 Transferencia de calor. La habilidad de un material para conducir calor, es su conductividad térmica. Los aceites con baja viscosidad, son mejores conductores de calor que los de mayor viscosidad. Los lubricantes que son buenos conductores de calor, deben ser empleados donde es necesario extraer calor de un cojinete.

4.2.9 Corrosividad. Un lubricante no debe corroer las superficies metálicas con que entra en contacto. Muchos aceites minerales tienen pequeñas cantidades de ácidos débiles, que no son nocivos. Como ya se refirió, los lubricantes que están en contacto con el aire a altas temperaturas se oxidan, produciendo compuestos ácidos, que hacen que se corroan las superficies.

4.2.10 Corrosión al cobre y herrumbre. La gran mayoría de los lubricantes no afectan los mecanismos a lubricar, sin embargo, es necesario determinar la tendencia que presenta un aceite para provocar corrosión en metales blandos como el cobre, bronce, babbitt, etc.

La corrosividad del aceite aumenta si hay presencia de agua, ya que ésta puede lavar los aditivos antidesgaste.

La herrumbre se debe a una reacción química que ocurre entre un material ferroso, como el acero o el hierro, y el oxígeno en presencia de agua.

4.2.11 Demulsibilidad. Es la resistencia que presenta un aceite a emulsificarse cuando entra en contacto con el agua.

4.2.12 Emulsibilidad. Aunque la emulsificación es indeseable, algunos lubricantes son formulados como emulsiones. Tal es el caso de las emulsiones de aceite en agua empleados en corte de metales, ya que éstas proveen enfriamiento y lubricación a la herramienta de corte.

4.2.13 Compatibilidad. Los lubricantes no deben tener ningún efecto indeseable sobre los componentes del sistema, mecanismo o equipo. Por ejemplo, deben ser compatibles con los sellos, empaquetaduras, mangueras, pinturas, plásticos o adhesivos; con los que puedan entrar en contacto.

4.2.14 Toxicidad. Los lubricantes no deben causar daño alguno a la salud. Normalmente están basados en aceites minerales altamente refinados, que los hacen poco nocivos si entran en contacto por poco tiempo.

Algunos aditivos empleados, pueden presentar algún peligro específico para la salud o la seguridad. En tal caso, los fabricantes suministran información clara sobre los riesgos y especifican las precauciones de seguridad. Estas informaciones deben ser conocidas por los usuarios u operarios y se deben fijar mediante avisos en las carteleras.

4.2.15 Rigidez o resistencia dieléctrica. Es la capacidad de aislamiento eléctrico de los aceites.

4.2.16 Contenido de cenizas sulfatadas. Está relacionado con la cantidad de materiales no combustibles, que pueden estar presentes en los aceites, tales como polvo, aditivos y partículas metálicas de desgaste.

En los aceites nuevos indica el contenido de aditivos órgano-metálicos, y en los usados indica el deterioro de los aditivos o la contaminación del aceite con partículas no combustibles.

4.2.17 Formación de espumas superficiales. Un aceite produce espuma superficial por agitación con el aire u otro gas y está constituida por el agrupamiento de un elevado número de burbujas de diferentes tamaños.

Excesiva cantidad de espuma en el aceite puede causar desgaste de las superficies lubricadas, debido a la poca homogeneidad de la película de aceite.

4.2.18 Atrapamiento de aire o aeroemulsión. Consiste en una emulsión aire-aceite formada por burbujas diminutas de aire. Su tamaño es inferior al de la espuma superficial.

4.2.19 Punto de anilina. Indica el contenido de hidrocarburos saturados (no reactivos en el lubricante). Permite determinar la composición de la base (parafínica, nafténica o aromática) y su tendencia a deformar los sellos de caucho.

4.2.20 Gravedad específica. Es la relación entre el peso de un volumen dado de aceite y el peso de un volumen igual de agua a la misma

temperatura (15,6°C ó 60°F). La gravedad específica de los aceites derivados del petróleo, se considera comprendida entre 0.89 y 0.93: Normalmente se toma 0.91.

4.2.21 Número básico total (TBN). Es definido como el número de miligramos de KOH necesarios para neutralizar un gramo de una muestra de aceite ácido. Es una medida de la alcalinidad o de la habilidad del aceite de neutralizar gases ácidos, formados durante la combustión. Proviene de la mezcla balanceada de los dispersantes y los detergentes metálicos contenidos en el aceite.

Un valor bajo de TBN en el aceite pasado es causado por:

- Períodos de cambio de aceite demasiado prolongados.
- Calidad inapropiada del aceite.

4.2.22 Número de neutralización (TAN). Constituye una medida de la acidez total del aceite usado y su valor debe compararse con respecto al aceite original o nuevo.

Un alto valor del TAN puede ser ocasionado por:

- Periodos muy extensos de cambio del aceite.
- Operación del mecanismo o equipo a altas temperaturas.
- Presencia de catalizadores que aceleran el proceso de oxidación del aceite.

4.3 COMPOSICION DE LOS LUBRICANTES

La gran mayoría de los lubricantes son elaborados con aceites minerales, los cuales son obtenidos del petróleo crudo.

Normalmente un lubricante tiene la siguiente composición:

B A S E	+	A D I T I V O S
(85 a 90%)		(15 a 10%)

4.3.1 Base lubricante: Las bases lubricantes determinan la mayoría de las propiedades del aceite, tales como la viscosidad, índice de viscosidad, resistencia a la oxidación, punto de inflamación y de fluidez, entre otros.

Todos los aceites minerales están conformados principalmente por hidrocarburos, compuestos éstos formados por carbono e hidrógeno.

De acuerdo con el tipo de crudo empleado, las bases lubricantes pueden ser parafínicas o alcanas, nafténicas o cicloalcanos y aromáticas.

Las bases parafínicas o alcanas contienen porcentajes de hidrocarburos parafínicos del 75% ó más. Están conformados por cadenas rectas o ramificadas de átomos de carbono. Se caracterizan por la cadena $C_n H_{2n+2}$. Son muy estables al calor y a la oxidación. Tienen alto índice de viscosidad, pero mala fluidez a bajas temperaturas.

Sus principales características son:

- Alto índice de viscosidad. Varía poco su viscosidad con los cambios de temperatura.
- Baja rata de oxidación.
- Baja volatilidad.
- Bajo poder disolvente.
- Alto punto de congelación.
- Punto de inflamación alto.
- Punto de fluidez alto a altas temperaturas.

- Formación de carbonos duros.

Las bases nafténicas o cicloalcanos contienen porcentajes de hidrocarburos nafténicos del 70% o más. Son los más encontrados en los aceites lubricantes. Son menos estables que los parafínicos y sus viscosidades son más sensibles a los cambios de temperatura.

Sus principales características son:

- Bajo índice de viscosidad.
- Alto poder disolvente natural.
- Reducida tendencia a formar carbón.
- Bajo punto de fluidez, lo que los hace indicados para condiciones de bajas temperaturas.
- Alta volatilidad.
- Mediana resistencia a la oxidación.
- Punto de inflamación bajo.

Las bases aromáticas no se emplean en la fabricación de lubricantes. Son buenos solventes y lubricantes de capa límite, pero tienen pocas características de viscosidad.

Sus principales características son:

- Índice de viscosidad muy bajo.
- Alta volatilidad.
- Oxidación fácil.
- Tendencia a formar gomas y resinas.
- Se emulsionan fácilmente con el agua.
- Inestables al calor.
- Punto de fluidez bajo.

- Alto poder disolvente.

Otro tipo de bases son las sintéticas.

4.3.2 Aditivos: Los aditivos son sustancias químicas que se adicionan a las bases lubricantes para dar o mejorarle determinadas prioridades.

La calidad de un lubricante depende no solo del tipo de base lubricante y de los procesos de refinación, sino también de la calidad y tipo de aditivos empleados. La combinación de aditivos, depende de la aplicación o uso que se vaya a dar al lubricante.

Los aditivos aportan unas características muy importantes como:

- Mejorar las propiedades físico-químicas del lubricante o proporcionarle otras.
- Desminuir la velocidad con que ocurren las reacciones (oxidación, etc).
- Proteger las superficies lubricadas de los contaminantes.

Las propiedades de los aditivos se pueden expresar como las siguientes:

- Calor: No es determinante, ni importante.
- Olor. Son inoloros.
- Compatibilidad. Debe perdurar hasta el cumplimiento del ciclo de vida útil del lubricante.
- Solubilidad. Debe ser soluble con la base lubricante a cualquier rango de temperatura.
- Insolubilidad con el agua, para que no sean “lavados” en presencia de ésta.
- Volatilidad. Debe ser baja a elevadas temperaturas.
- Estabilidad durante la mezcla, almacenamiento y empleo.

- Flexibilidad en la ampliación del tiempo de operación y aplicaciones sin variar sus propiedades físico-químicas.

4.4 CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS

Las maquinarias y mecanismos tienen alta demanda de lubricantes. Con el fin de cumplir éstas, la mayoría de los lubricantes contienen aditivos que mejoran las propiedades de los aceites bases o le confieren propiedades adicionales.

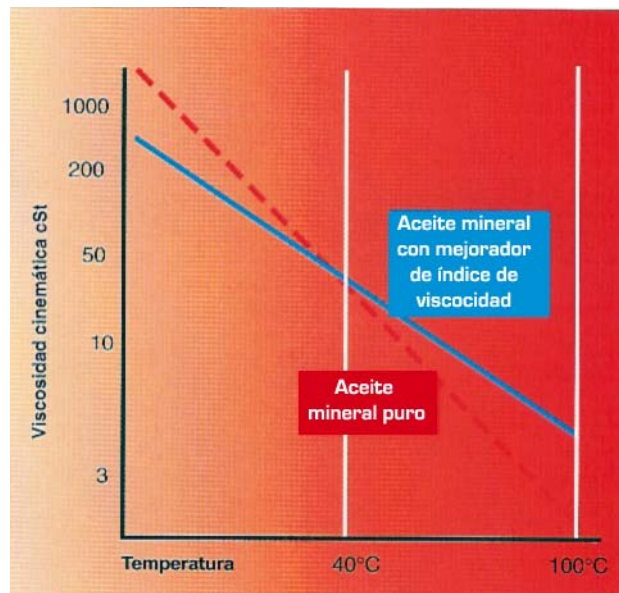
Hay muchos tipos de aditivos, algunos de los cuales pueden cumplir varias funciones. La combinación de aditivos empleados, depende del uso específico que se le vaya a dar al lubricante. Normalmente, los aditivos se clasifican en tres categorías:

- Los que modifican el desempeño del lubricante.
- Los que protegen el lubricante.
- Los que protegen la superficie lubricada.

4.4.1 Aditivos que modifican el desempeño o propiedades físicas del lubricante:

- Mejoradores del índice de viscosidad (IV). Una función básica de estos aditivos es mejorar la relación viscosidad-temperatura del aceite. Estos aditivos, son agregados a los aceites bases para reducir los cambios de viscosidad con la temperatura.

Figura 22. Acción del mejorador de índice de viscosidad.



Fuente: Shell de Colombia

Son claves donde un lubricante debe desempeñarse satisfactoriamente sobre un amplio rango de temperaturas. Por ejemplo, los aceites de motor empleados en clima frío, deben ser lo suficientemente “delgados” para permitir y facilitar el arranque del equipo, y lo suficientemente “gruesos” para lubricar eficientemente en las altas temperaturas generadas durante la operación del equipo.

La mayoría de los aceites multigrados, son tratados con estos mejoradores de IV y pueden desempeñarse mejor en un gran rango de temperaturas, que las que no tienen estos aditivos.

- Depresores del punto de fluidez: Son empleados para minimizar la tendencia del aceite mineral a congelarse y solidificarse cuando se enfría. Son aditivos necesarios para la mayoría de los aceites que operan a bajas temperaturas.

4.4.2 Aditivos que protegen los lubricantes:

- Antioxidantes. La oxidación es una reacción química que ocurre en el aceite y que puede ser más o menos severa, dependiendo de factores como el oxígeno del aire, temperaturas de operación, humedad y catalizadores, como el cobre. Estos aditivos mejoran la estabilidad a la oxidación del lubricante y son esenciales en aceites que se calientan durante su operación.

Cuando un aceite mineral es expuesto al oxígeno del aire, éste reacciona formando ácidos orgánicos, lacas adhesivas y lodos. Los ácidos pueden causar corrosión, las lacas pueden hacer que las partes móviles se adhieran unas contra otras, y los lodos espesan el aceite y pueden taponar los orificios de lubricación, tuberías, filtros y otros componentes del sistema de lubricación.

Antiespumantes. Cuando un aceite es agitado, el aire puede incorporarse en él y formar burbujas de diferentes tamaños, que tienden a subir a la superficie, formando una espuma más o menos persistente.

La tendencia a la formación de espuma se incrementa con las temperaturas bajas, viscosidad alta, presencia del agua, velocidades de agitación elevadas y tensiones superficiales altas.

La presencia de espuma en los sistemas de lubricación, puede generar graves problemas, ya que lo que el sistema proporcionaría al mecanismo o máquina sería una mezcla de aceite y aire, produciéndose una lubricación diferente y posibles daños.

La espuma incrementa la exposición de un aceite al aire y promueve la oxidación. También, puede causar la pérdida de aceite a través de los venteos.

La espuma en fluidos hidráulicos incrementa la compresibilidad, reduciendo así su capacidad para transmitir potencia.

- Antiemulsionante. Se emplea para separar el agua del aceite, cuando este contaminante está presente.

La presencia del agua puede ser consecuencia de la condensación, rotura del enfriador, daño de empaquetaduras ó sellos, rotura de tuberías o filtros, entre otros.

El agua mezclada con el aceite forma emulsiones que retienen las suciedades, dando lugar a la corrosión química, disminución de la capacidad del lubricante y producción de sedimentos solubles e insolubles.

Las solubles permanecen disueltos en el aceite hasta que encuentren bajas temperaturas, como en los enfriadores de aceite, y se precipitan como lodos formando películas aislantes que evitan que el aceite se enfríe, dando lugar a la oxidación prematura del mismo.

Los insolubles se depositan en todo el sistema, obstruyendo parcial o totalmente las tuberías de circulación de aceite.

Para evitar lo anterior, es necesario que los aceites tengan una buena demulsibilidad para que separe rápidamente el agua.

- Mejoradores del poder detergente. Son aplicados a los aceites de motor para:
 - Reducir la formación de depósitos de carbón y lacas de altas temperaturas.
 - Evitar el pegamiento o engarrotamiento de los anillos del pistón.

- Proveer una reserva de basicidad para neutralizar los ácidos formados durante la combustión.

La detergencia de un aceite actúa cuando las temperaturas de operación del motor son normales.

- Mejoradores del poder dispersante. La dispersancia es la capacidad del aceite de dispersar los lodos húmedos, originados por el funcionamiento frío del motor a bajas temperaturas.

Los dispersantes son agregados a los aceites para mantener en suspensión cualquier contaminante, tales como hollín y otros productos de degradación. Inhiben la formación de conglomerados de partículas que puedan bloquear los conductos o filtros. Además, evitan que sean depositados sobre las superficies afectando la lubricación y la transferencia de calor. La dispersancia de un aceite actúa cuando las temperaturas son bajas.

4.4.3 Aditivos que protegen las superficies:

- Los aditivos inhibidores de corrosión, son productos que protegen los metales no ferrosos, susceptibles a la corrosión, por los contaminantes ácidos presentes en los lubricantes.

Estos aditivos protegen las superficies del ataque químico ejercido por los ácidos (corrosión), que se encuentran como contaminantes en los lubricantes y provienen, principalmente, de la oxidación del aceite y de los combustibles quemados en los motores de combustión interna. Los inhibidores de corrosión son componentes básicos solubles en el aceite, los cuales con la reacción se neutralizan y forman una película protectora.

Los inhibidores de herrumbre, son inhibidores de corrosión diseñados para inhibir la acción del agua en metales ferrosos. Son necesarios en aceites de turbinas y aceites hidráulicos, ya que estos tipos de aceites se contaminan inevitablemente con el agua.

- Agentes antidesgaste. Son necesarios cuando la lubricación hidrodinámica no puede ser mantenida y se presenta contacto metal-metal entre la superficies. Se clasifican en dos grupos:
 - Aditivos antiabrasivos o de absorción física o química sobre la superficie. Son compuestos absorbidos por las superficies metálicas, para formar una película protectora que previene el contacto metal-metal y reduce la fricción y el desgaste. No proporcionan elevada capacidad de soportar cargas pesadas, sin que ocurra la ruptura de la película lubricante.
 - Aditivos de extrema presión (EP) o por reacción química sobre la superficie. Los aditivos de extrema presión o EP se emplean en condiciones de carga severa, cuando los aditivos antiabrasivos no son efectivos. Estos aditivos se absorben sobre la superficie metálica, formando una película sólida que impide el contacto metal-metal, cuando la presión que actúa sobre ellas sea muy elevada y origine altas temperaturas, que hacen que desaparezca la lubricación hidrodinámica y se presenten condiciones de lubricación límite o EHL.

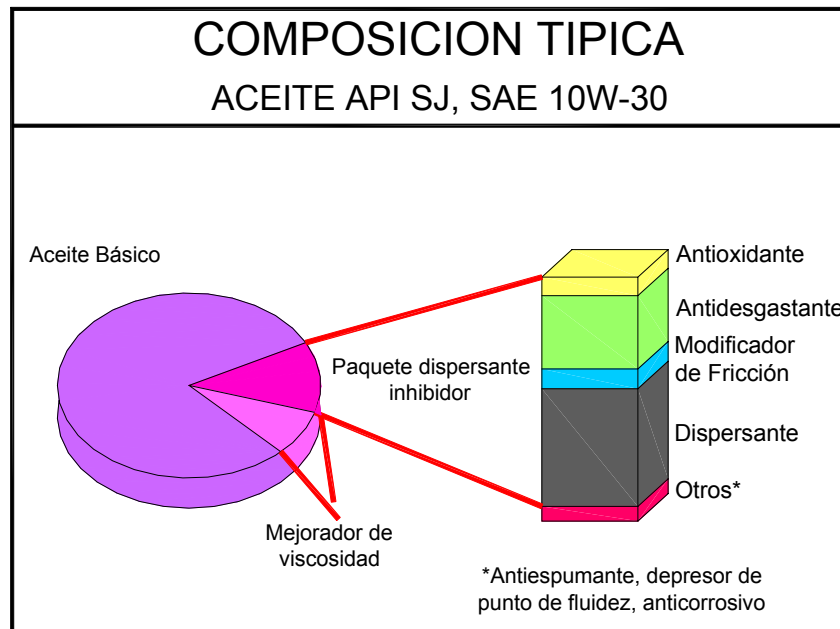
La película protectora que se forma es efectiva mientras se conserve sólida. Estas condiciones son encontradas en los dientes de engranajes de acero sobre acero altamente cargados.

Los aditivos EP son estables a temperaturas normales, pero a las altas temperaturas que se generan, por ejemplo, cuando dos dientes se

deslizan uno sobre otro, se descomponen formando productos que reaccionan con el metal creando una película protectora de aceite.

Estos aditivos son efectivos a partir de 50°C. Se debe tener en cuenta que los aditivos antidesgaste no actúan como aditivos EP y fallan, causando desgaste adhesivo en las piezas o mecanismos lubricados.

Figura 23. Aditivos de aceites.



Fuente: ChevronTexaco

Otros aditivos son:

- Desactivador metálico: Forma una película inactiva protectora sobre las superficies metálicas, formando complejos catalíticamente inactivos con iones de metal, haciéndolas pasivas para inhibir la oxidación.
- Bactericida: Impide el crecimiento de bacterias y hongos, controlando el olor, la descomposición de la emulsión y las manchas del metal.

- Adhesivo: Aumenta la viscosidad del lubricante e imparte características adhesivas al lubricante sobre las superficies metálicas.
- Obturador: Reacciona químicamente con el elastómero para causar un ligero aumento en su tamaño, cuando la aplicación lo requiere.
- Sólido: Forma una película sólida sobre las partes metálicas en movimiento, evitando el desgaste.
- Colorante: Son materiales altamente colorantes que proporcionan diferencias o atractivo, mediante el color.
- Odorante: Sustancias altamente fragantes que imparten olor a los lubricantes, disimulando olores desagradables.

4.5 ADITIVOS PARA MOTORES DE DOS TIEMPOS (2T)

Si los aditivos empleados en los aceites de cuatro tiempos se emplearan en los motores de dos tiempos, se formarían sales organometálicas con tendencia a la producción de cenizas al quemarse el aceite y la gasolina en la cámara de combustión. Existen aditivos especiales sin generación de cenizas. Estos son:

- Dispersantes sin cenizas. Protegen contra los depósitos a altas y bajas temperaturas.
- Detergentes metálicos. Protegen contra los depósitos a altas temperaturas, oxidación del aceite y desgaste por corrosión.
- Inhibidores de corrosión. Protegen contra la herrumbre, oxidación del aceite y corrosión de los cojinetes.

Los tiempos de servicios de los aceites para motores de dos tiempos, los clasifica la Norma ASTM, en cuatro grupos:

- TCS-1. Prueba poco severa, evalúa rayaduras y emplea aditivos con bajo contenido de cenizas. Se emplea en podadoras y generadores pequeños. Mezcla 20:1.

- TCS-2. Evalúa rayaduras, depósitos y preignición. Se emplean aditivos con cenizas. Se emplea en motocicletas y aserradoras. Mezcla 30:1.
- TCS-3. Evalúa limpieza, pegado de anillos, rayaduras y depósitos. Se emplea en bicicletas a motor, motocicletas, cortadoras de pasto, motosierras y vehículos para nieve. Pueden ser con o sin cenizas. Se usan en motores hasta de 75 CV y para mezclas iguales o menores a 30:1.
- TCS-4. Es la actual clasificación BIA TC-W. Los lubricantes BIA son exclusivamente sin cenizas. Se evalúa la herrumbre, miscilidad, rayado en el pistón y preignición. Se emplea para motores por encima de 75 CV y para mezclas 50:1.

4.6 FACTORES QUE AFECTAN LA COMPOSICIÓN DEL ACEITE

En la siguiente tabla, se relacionan algunos factores que afectan la composición de los aceites y su impacto sobre los mismos.

Tabla 3. Factores que la afectan la composición del aceite.

FACTOR	IMPACTO SOBRE EL ACEITE
✓ Desgaste del motor.	• Acumulación de metales de desgaste. • Disminución de agentes antidesgaste. • Cataliza la oxidación del aceite.
✓ Producción de ácidos (subproductos de la combustión).	• Reducción del TBN. • Aumento del TAN.
✓ Producción de hollín.	• Acumulación de hollín. • Aumento de la viscosidad.
✓ Contaminante presente en aire (polvo, partículas abrasivas, etc).	• Acumulación de contaminantes en el aceite.
✓ Dilución por combustible	• Reducción de la viscosidad.
✓ Oxidación del aceite.	• Acumulación de insolubles.

	• Aumento de la viscosidad.
✓ Fuga de refrigerante.	• Agua. • Aditivo refrigerante en el aceite.
✓ Cizallamiento permanente del modificador de viscosidad (multígrados).	• Disminución de viscosidad.

Fuente: Shell de Colombia, Exxon Mobil, ChevronTexaco

4.7 FACTORES QUE AFECTAN LA VIDA DE LOS LUBRICANTES

Se deben tener en cuenta los factores que afectan y disminuyen la vida útil de los aceites. Estos son entre otros:

- **Altas temperaturas:** Los aceites derivados del petróleo por encima de 50°C duplican su rata de oxidación y por consiguiente, disminuyen a la mitad su ciclo de vida. Además de esta rápida oxidación (incremento acelerado del TAN), se forman lodos y gomas.

Incrementos en las temperaturas de operación deben ser tenidos en cuenta, ya que ésto llevaría a un cambio de grado del aceite. Si se emplea un aceite de grado ISO 68 en un reductor que opera a 38 ó 40°C, deberá pasarse a un nuevo aceite con grado superior si su temperatura de operación pasa a 46° ó 48°C, es decir, debe emplearse un aceite ISO 100. Normalmente, por cada 8°C de incremento de la temperatura de operación, se debe aumentar en un grado ISO la viscosidad del aceite.

- **Agua:** El agua en un aceite puede estar libre (emulsionada o en gotas) o disuelta (por debajo del punto de saturación).

En un porcentaje por encima del valor máximo permisible, afecta las propiedades físico-químicas del aceite, dando lugar a la formación de

herrumbre, corrosión y a la interrupción de la película lubricante, precipitación de aditivos y oxidación. Las propiedades antiemulsionantes de los lubricantes, permiten la separación del agua; la cual se puede drenar o retirar.

- **Partículas sólidas:** Las partículas metálicas como el hierro y el cobre, son consecuencia del desgaste adhesivo por rotura de la película lubricante cuando se presenta contaminación con agua. Estas partículas actúan como catalizadores del proceso de oxidación del aceite, acelerándolo. Si los equipos o mecanismos trabajan en medios o ambientes contaminados, puede presentarse contaminación con polvo de sílice y si no se cuenta con un correcto sistema de filtrado, éste puede llegar a las partes internas y causar desgaste abrasivo. Esto haría que los intervalos de cambio se redujeran.

4.8 SELECCION DE LOS LUBRICANTES

Varios factores deben ser tenidos en cuenta cuando se escoge un lubricante. Los más importantes son:

- Aplicación específica.
- Condiciones de operación. Para lo cual se deben tener en cuenta la velocidad, carga y temperatura.
- Costos.

Algunos fabricantes de equipos, especifican los nombres de los aceites a emplear y ésto facilita su adquisición. Si no se especifican o relacionan nombres, es necesario seleccionarlo de acuerdo a las características dadas; o si el lubricante especificado por el fabricante no se encuentra disponible, se hace necesario buscar el ó los equivalentes.

La selección de la viscosidad está basada en las condiciones de operación, es decir, en la carga, velocidad y temperatura de operación. Estos tres factores no se pueden considerar en forma aislada, ya que están relacionados entre sí.

Resueltos y analizados estos tres factores, se pasa a resolver los siguientes interrogantes:

- Viscosidad más adecuada a la temperatura de operación?
- Índice de viscosidad necesario?
- Grado SAE o ISO de viscosidad del aceite requerido?
- Aditivos necesarios?
- Factores de costos a tener en cuenta?

La propiedad más importante de los lubricantes es la viscosidad. El objetivo final es seleccionar un lubricante con la mínima viscosidad, capaz de soportar la carga aplicada, minimizando el consumo de energía.

Decididos los valores de viscosidad e índice en viscosidad, se determina el grado de viscosidad del lubricante. Esto implica llevar a una temperatura estándar de referencia la viscosidad que se tiene a la temperatura de operación y ésto se hace empleando los gráficos o tablas disponibles, en donde se selecciona el grado SAE o ISO.

En el Anexo “E”, se muestran los rangos de viscosidad (cSt) a la temperatura de operación para algunos equipos y sistemas típicos.

4.9 LUBRICACION DE EQUIPOS O SISTEMAS ESPECIFICOS

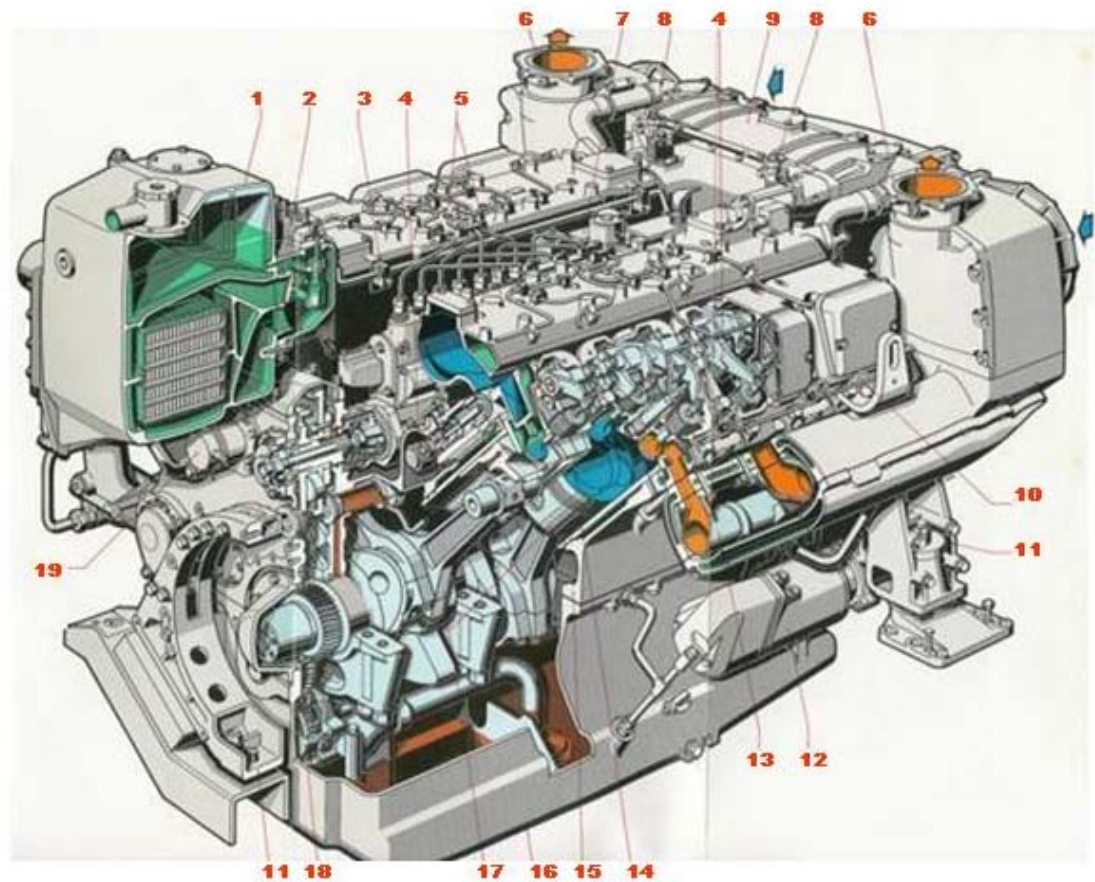
En este ítem, se relacionan algunas propiedades y funciones que deben cumplir los aceites para propósitos específicos determinantes.

4.9.1 Aceites para motores de combustión interna. Estos aceites son fabricados para que efectúen funciones de lubricación, refrigeración, protección contra la corrosión, sellado y limpieza.

Se les incluyen aditivos con el fin de mejorar su desempeño y proteger el lubricante y las superficies lubricadas:

- Mejoradores de índice de viscosidad: para reducir el adelgazamiento presentado durante operación a altas temperaturas.
- Depresores del punto de fluidez: para facilitar el arranque en ambientes o medios fríos.
- Aditivos antidesgaste: para mejorar condiciones en lubricación límite.
- Detergentes y dispersantes, para controlar y prevenir la formación de depósitos, suspender contaminantes de la combustión, evitar el taponamiento de filtros y tuberías de circulación.
- Inhibidores de corrosión: para neutralizar los ácidos formados durante la combustión.
- Inhibidores de herrumbre: para proteger las superficies lubricadas.
- Agentes antiespuma: previniendo la formación de espuma.
- Agentes antioxidantes: para prevenir la oxidación y formación de lodos.

Figura 24. Motor de combustión interna.



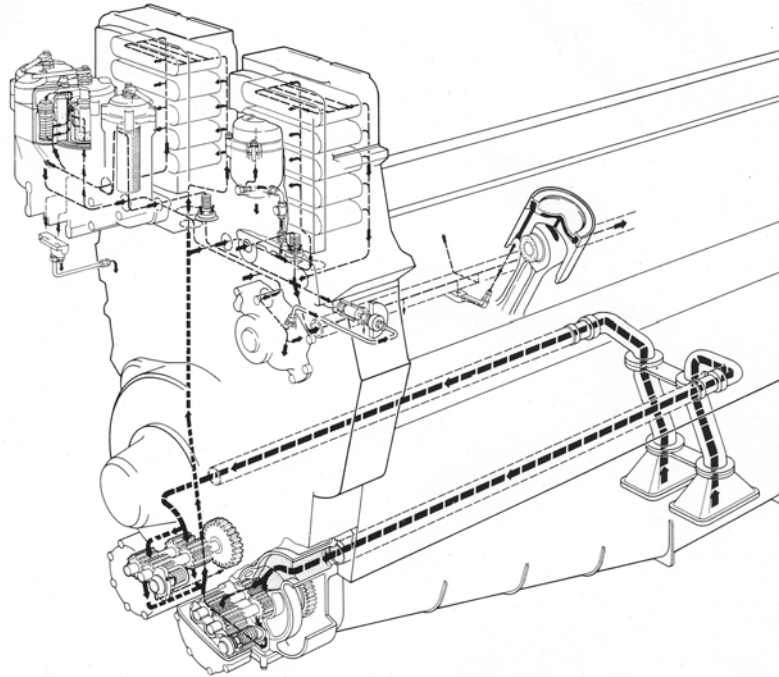
Fuente: Mtu de Colombia.

Funciones de los lubricantes para motores diesel.

Un lubricante para motores diesel está diseñado para prolongarle la vida y reducir los costos de operación. Este lubricante cumple unas funciones básicas:

- Lubricación. Los motores, a pesar de estar bien lubricados, gastan el 20% de su potencia de salida en vencer la fricción, siendo ésta la función más importante del lubricante.

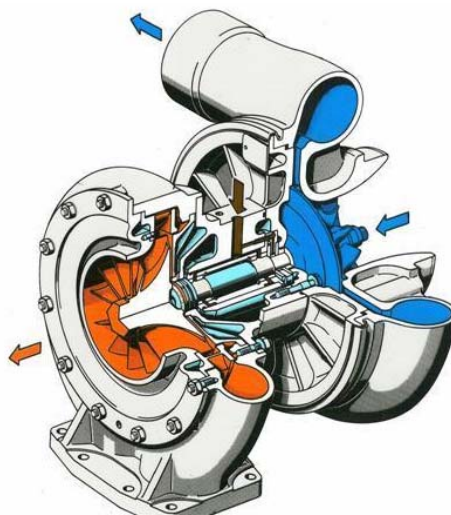
Figura 25. Circuito de lubricación de motor diesel.



Fuente: Mtu de Colombia.

El aceite lubricante debe suministrar una película efectiva entre las camisas del cilindro y anillos del pistón, superficies móviles del tren de válvulas, tren de engranajes, conexiones de bielas y cojinetes del cigüeñal, gobernador, turbo-cargador, etc.

Figura 26. Lubricación en turbo-cargadores.



Fuente: Mtu de Colombia

- Refrigeración. Un gran porcentaje del calor generado por los motores diesel se escapa o pierde en los gases de exhosto y otros se transfiere al sistema de refrigeración. Un porcentaje entre el 5 y 10% de la energía generada por la combustión del combustible se transfiere al lubricante del motor, por lo que éste debe cumplir funciones de refrigerante.
- Sellado. Durante el tiempo de compresión se generan presiones de hasta 50 bares en los cilindros de algunos motores diesel. Para mantener esa potencia, el aceite lubricante debe sellar el espacio entre los pistones y las camisas, evitando la fuga de gases.
- Limpieza. Cuando se efectúa una combustión incompleta se presenta el hollín y otros residuos insolubles, de igual forma, se pueden presentar contaminantes sólidos como consecuencia de la corrosión y el desgaste. Lo anterior puede bloquear los filtros y conductos de lubricación, causar desgaste e impedir el movimiento libre de los componentes móviles. Para evitar esto, los aceites empleados deben mantener en suspensión éstos contaminantes.

El contenido de aditivos en los lubricantes, entre 16 y 18%, ayudan a solucionar estos problemas

- Protección contra la corrosión. Una función del lubricante es prevenir la corrosión de los componentes internos del motor. Las altas temperaturas ayudan a acelerar este proceso.

4.9.2 Aceite para engranajes reductores.

- Aceites viscosos en engranajes abiertos, para que en altas velocidades no se salgan o salgan despedidos. Normalmente contienen aditivos antiadherentes.
- En engranajes cerrados que operan a altas velocidades, se emplean aceites con bajas viscosidades con contenido adicional de agentes antiespuma y antioxidantes.

- En engranajes que operan a altas cargas, se emplean aceites con aditivos de extrema presión (EP).

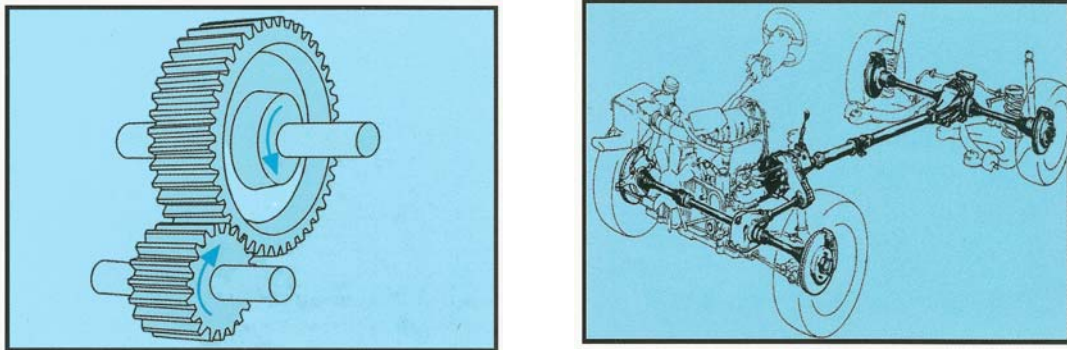
Funciones de los lubricantes para engranajes reductores.

La eficiencia con la cual opera un engranaje reductor, depende no sólo de la forma como se les emplee, sino también del aceite lubricante y grasa que le sea aplicado.

Al igual que para los motores diesel, los lubricantes también cumplen funciones específicas en los engranajes reductores. Dentro de estas funciones están:

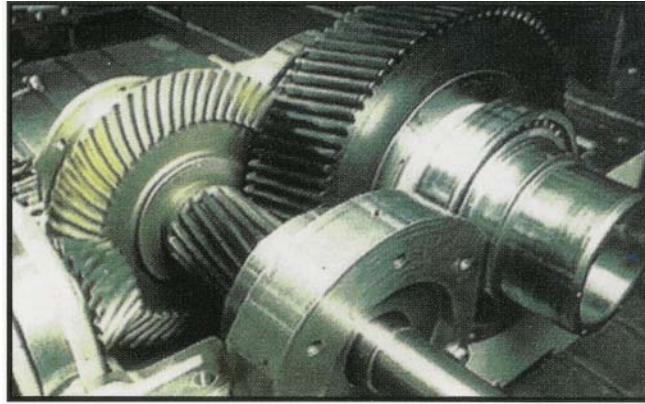
- Prolongar la vida de sus componentes y del engranaje en sí.
- Reducir costos de operación.
- Lubricación.
- Protección contra corrosión y herrumbre.
- Limpieza.

Figura 27. Lubricación de engranajes y transmisiones.



4.9.3 Lubricación para cojinetes. En los cojinetes, la función del lubricante es reducir la fricción y refrigerar. Normalmente se les adicionan agentes antioxidantes e inhibidores de corrosión.

Figura 28. Lubricación de cojinetes.



4.9.4 Aceites hidráulicos. El aceite en sistemas hidráulicos es empleado para lubricación y transmisión de potencia; por lo tanto, debe ser lo suficientemente viscoso para lubricar las partes móviles y lo suficientemente delgado para actuar como refrigerante.

Deben tener excelentes propiedades de liberación de aire, resistencia a la espuma, demulsibilidad o separación de agua y antidesgaste. De igual forma, y con el fin de prevenir la corrosión interna, se deben emplear agentes o aditivos antioxidantes e inhibidores de corrosión.

En el capítulo 8 se amplía la información sobre los aceites y sistemas hidráulicos.

5. ANALISIS DE LOS ACEITES

Una de las herramientas más valiosas e importantes con que se cuenta para determinar el estado de los mecanismos y partes internas de una máquina o sistema, son los análisis periódicos.

Estos análisis se pueden hacer en forma simple, es decir, a los parámetros determinantes, con los maletines o kit de pruebas portátiles o en forma más completa y compleja, con los análisis de laboratorio especializados de los fabricantes de aceites o en laboratorios particulares e independientes.

Los análisis permiten corroborar la calidad del aceite entregado como nuevo, si las propiedades corresponden a las recomendadas por el fabricante del mecanismo o equipo, determinar la protección que éste le hace a las diferentes partes; al igual que confirmar la frecuencia de cambio o si es necesario, modificarla.

Los aceites no empleados a pérdida, sino en sistemas cerrados o de circulación, se oxidan ó se contaminan durante la operación; y los aditivos que éstos poseen, se pueden agotar o perder sus propiedades o características. Sólo los análisis de laboratorio, permiten determinar si los aceites pueden o no continuar en servicio.

De esta manera, se evalúan los tipos de contaminantes presentes en la muestra del aceite usado, como polvo, partículas abrasivas (sílice), partículas metálicas provenientes del desgaste de diferentes mecanismos lubricados (hierro, zinc, plomo, cobre, plata, etc), productos de oxidación y las características físico-químicas más importantes del aceite, como la viscosidad, gravedad específica, el número de neutralización, el TBN, porcentaje de agua, etc.

Un análisis de laboratorio bien elaborado, es muy valioso dentro de un programa de mantenimiento preventivo, porque permite:

- Asegurarse que el aceite empleado es el recomendado por el fabricante.
- Determinar si el aceite posee aún las características esenciales, después de determinado tiempo de empleo o de servicio.
- Tomar acciones o decisiones a tiempo.
- Detectar anomalías en el diseño de algunas partes o componentes.
- Establecer las causas del deterioro o alteración del aceite.
- Evaluar la calidad de los repuestos.
- Reducir los costos por consumo de lubricantes.

Un aceite se vuelve inapropiado por dos razones:

- Cambio químico en su composición como resultado de la oxidación.
- Contenido alto de contaminantes.

A medida que el aceite fluye en cumplimiento de su función específica, bien sea lubricando, refrigerando, protegiendo o accionando un mecanismo entre otros, recoge información valiosa que luego deposita en el cárter o sumidero. Si se analiza una muestra de dicho aceite, se obtendrá un diagnóstico completo del estado de los mecanismos e interior de la máquina, equipo o sistema.

5.1 TOMA DE MUESTRAS

Las muestras de aceite para ser analizadas en el laboratorio especializado o portátil, deben ser tomadas una vez se ha detenido o parado la máquina, con el fin de que todas las impurezas (solubles e insolubles) se encuentren en suspensión en el aceite y que los resultados obtenidos sean representativos.

No se deben tomar muestras de los filtros, ni del fondo del depósito o cárter, ya que en estas partes se encuentra la mayor concentración de impurezas y que no tienen circulación constante.

El envase empleado para guardar la muestra de aceite, debe estar completamente limpio y con tapa hermética. De igual forma, se deben llenar los datos pedidos por los fabricantes en los formatos por ellos suministrados para tal fin. Entre ellos están:

Nombre de la Unidad o dependencia.

Nombre y marca del aceite.

Fecha del último cambio.

Fecha actual de la muestra.

Temperatura operación.

Equipo en que se emplea.

Volúmen en galones o litros que emplea el equipo.

Indicar cualquier mantenimiento importante efectuado al equipo desde el último intervalo de muestreo (partes nuevas).

En casos de empleo del aceite en condiciones críticas, se deben relacionar datos adicionales, como la presencia de olores anormales, espuma, variación del color, emulsionamiento, etc.

Con la anterior información, se puede determinar con más precisión el comportamiento del aceite y permite sacar conclusiones y recomendar correctivos del caso.

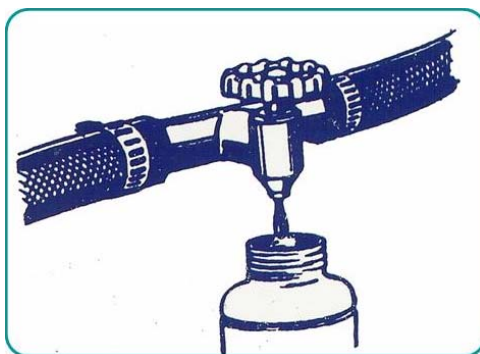
5.1.1 Métodos de muestreo. Existen dos métodos para obtener muestras de aceite:

Drenar la muestra. Es la forma más sencilla, limpia y rápida para tomar una muestra.

- Drenaje mediante unión o punto de derivación. Ver Figura 29(a).
 - Abrir la válvula y drenar una pequeña cantidad de aceite.
 - Ubicar el recipiente de toma de muestra en el flujo de aceite.
 - Una vez lleno el depósito, se debe cerrar bien para evitar derrames o contaminación.
 - Identificar la muestra.

Figura 29. Método de muestreo: drenaje de muestra.

(a)



(b)



Fuente: Shell de Colombia.

- Drenaje por tapón de drenaje. Ver Figura 29(b).

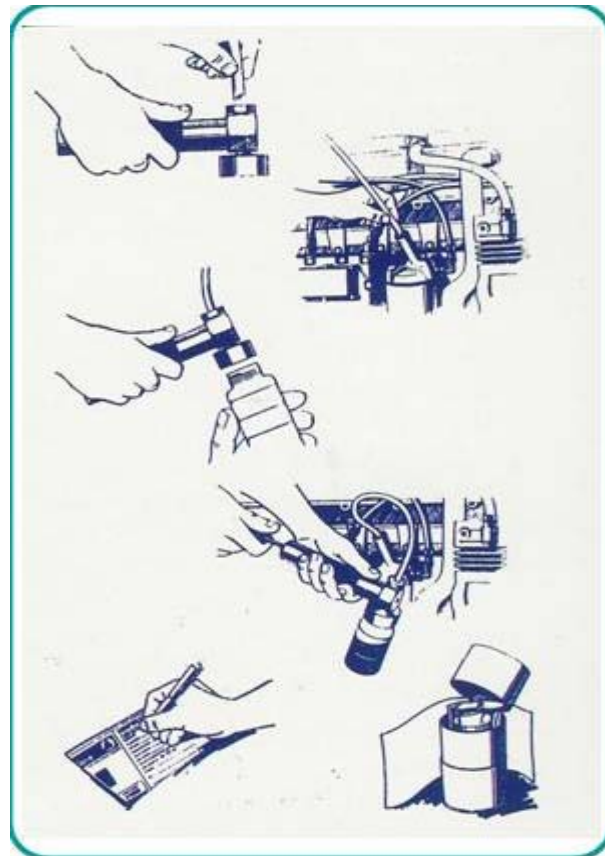
Los tapones de drenaje del cárter o sumidero se emplean si no hay otra alternativa. Teniendo en cuenta que todos los residuos y contaminantes se

van al fondo, la muestra de aceite puede dar lecturas de contaminantes.

- Limpiar el área alrededor del tapón.
- Retirar el tapón y drenar una pequeña cantidad de aceite.
- Colocar el frasco recolector en el flujo de aceite.
- Tapar bien el frasco e identificar la muestra.

Succión de la muestra. Se emplea este método sino existe punto de derivación o conexión para el drenaje de las muestras. Para tal fin, se emplea una bomba de vacío con su respectiva manguera o tubo.

Figura 30. Método de muestreo: succión de muestra.



Fuente: Shell de Colombia.

Se deben seguir los siguientes pasos:

- Introducir 5 cms de manguera dentro de la bomba de vacío.
- Presionar el pistón o émbolo de la bomba hacia delante introducir la manguera dentro del equipo.
- Halar el pistón hacia atrás en forma suave y continua.
- Retire suficiente aceite para llenar el frasco.
- Mantener el conjunto frasco – bomba en posición vertical, para que la bomba no se contamine con aceite.
- Retirar y desechar la manguera.
- Tapar el frasco e identificar la muestra.

Las muestras de aceite se toman cuando el equipo ha alcanzado la temperatura de operación o cuando el equipo se haya apagado recientemente. Sólo se debe emplear uno de los métodos ya referidos.

5.1.2 Puntos de muestreo. Es básico escoger un punto de extracción de la muestra que facilite la obtención de muestras. A continuación se ilustra, como guía, puntos de extracción para diferentes equipos o sistemas:

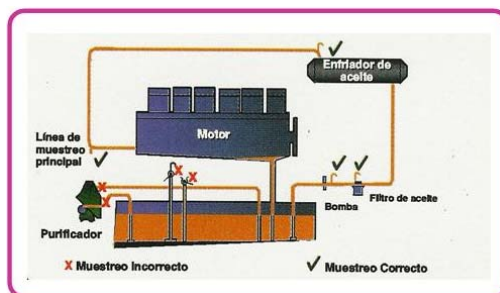
- Motores. Ver Figura 31 (a).
 - Tomar las muestras de un punto antes del filtro de aceite o de afuera de la línea principal de suministro de aceite al motor.
 - Tomar la muestra siempre en el mismo punto.
 - Tomar la muestra cuando el aceite ha alcanzado la temperatura de operación.
 - Emplear recipientes limpios para la toma de la muestra.

Se debe evitar la toma de muestras en puntos con poco flujo de aceite o baja presión en el sistema, tales como: cárter, líneas auxiliares, líneas de succión o descarga del purificador, etc. Tampoco se deben tomar muestras con el motor frío y apagado.

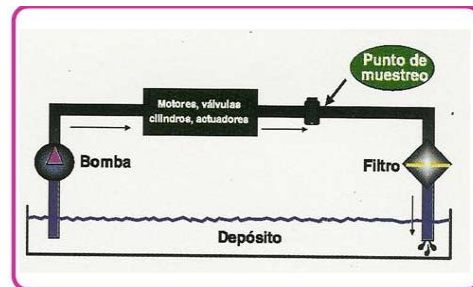
- Compresores de aire. Ver Figura 31 (b).
 - Tomar la muestra en la línea antes del filtro.
 - Estos equipos requieren muestreo con mayor frecuencia.
 - Los compresores húmedos (tipo tornillo) requieren muestreo de aceite con más frecuencia que los reciprocantes o centrífugos.
- Engranajes reductores. Ver Figura 33 (c).
 - Tomar la muestra de aceite en un punto antes que ingrese a la caja de engranajes.
 - En sistemas de circulación, entre el enfriador de aceite y la caja reductora.
 - En sistemas lubricados por salpique, en un punto medio del depósito de aceite.

Figura 31. Puntos de muestreo.

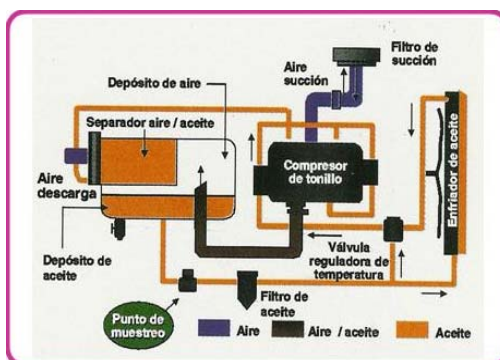
(a)



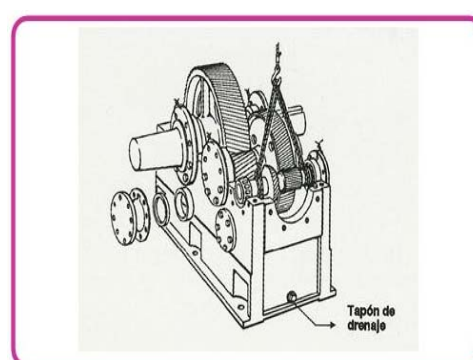
(b)



(c)



(d)



Fuente: Shell de Colombia.

- Sistemas hidráulicos. Ver Figura 31 (d).
 - Tomar la muestra en la línea de retorno antes del filtro.
 - El punto de muestreo debe estar ubicado después que el aceite haya pasado el último elemento de trabajo: motor, válvula, actuador, etc.

5.2 PRUEBAS DE LABORATORIO

Además de saber realizar las pruebas e interpretar los resultados obtenidos, se debe saber exactamente cuáles son las pruebas que se deben efectuar y a qué equipo. Algunas de las pruebas más comunes que se efectúan a los diferentes aceites y la información que se puede obtener, a continuación se detallan.

5.2.1 Apariencia. Este factor puede aportar información sobre la condición del aceite. El oscurecimiento, espesamiento y la presencia de hollín y lodo, implican oxidación y recalentamiento. El agua también puede afectar la apariencia. Residuos o presencia de partículas metálicas o material blando, son síntomas de desgaste.

5.2.2 Viscosidad. El aumento de viscosidad o espesamiento puede ser causado por oxidación, contaminación sólida u otros factores. Por el contrario, la pérdida de viscosidad o adelgazamiento puede significar presencia o dilución de combustible.

5.2.3 Punto de chispa o de inflamación. La presencia de combustible en el aceite, producirá una disminución del punto de inflamación o de chispa. Lo

mismo sucederá si se contamina con otro aceite de menor viscosidad o se ha “craqueado” a altas temperaturas.

Si el punto de inflamación aumenta, es porque se ha contaminado o mezclado con un aceite de mayor viscosidad.

5.2.4 Prueba de contaminación por agua. La prueba para agua incluye el calentamiento por encima de 100°C. Si hay agua presente, hierve y causa que el agua crepite o salpique.

5.2.5 Prueba de mancha de aceite o de la gota. Una gota de aceite es colocada sobre una hoja de papel especial y se deja que se disperse. Un aceite nuevo da una mancha transparente, uniforme y de color amarillo pálido. Un aceite contaminado presentará una mancha con gránulos, puntos negros o café, o anillos.

5.2.6 Acidez y basicidad. La acidez de un lubricante puede ser expresada en términos de su número ácido, es decir, la cantidad de álcali necesario para neutralizarlo. La basicidad puede ser expresada en términos de su número base, o sea, la cantidad de ácido necesaria para neutralizarlo.

La oxidación de un aceite genera productos ácidos y la evaluación del número total ácido (TAN) da por lo tanto, una indicación de deterioro del aceite en servicio.

En el Anexo “F”, se muestran los principales parámetros que se tienen en cuenta en el análisis de laboratorio.

En motores diesel, la combustión del combustible libera componentes ácidos de azufre, los cuales pueden causar corrosión y oxidación del aceite. Los

aditivos detergentes suministran una reserva alcalina para neutralizar tales ácidos, y la evaluación del número base total (TBN) da una importante información del grado de agotamiento de tales aditivos.

En el Anexo "G", se muestran las principales variaciones y las causas que se pueden detectar en los parámetros de evaluación de los aceites.

5.2.7 Análisis espectrográfico. El análisis espectrográfico del aceite (SOA), es una técnica compleja que permite que los elementos presentes en las muestras del aceite sean identificadas y determinadas las respectivas concentraciones.

Se emplea para indicar las causas de la contaminación y el desgaste. Por ejemplo, residuos de plomo, estaño o cobre, son síntomas de desgaste en cojinetes, y presencia de silicio es reflejo de que polvo y lodo están contaminando el aceite.

El principio del análisis espectrográfico está basado en que cuando un compuesto químico se calienta a una temperatura alta, emite una luz. Las ondas de esta luz dependen de la naturaleza de los átomos en el compuesto químico. Cada elemento emite un espectro característico con una determinada longitud de onda y la intensidad de la emisión es proporcional a la cantidad del elemento presente.

5.2.8 Análisis infrarrojo o espectroscopio infrarrojo. Muchos productos de la oxidación contienen un grupo químico llamado carbonil, el cual absorbe la luz infrarroja de una longitud de onda característica. Esta propiedad se usa para revisar la oxidación.

5.3 INTERPRETACION DE LOS ANALISIS DE LABORATORIO

Los análisis de laboratorio son una importante herramienta dentro de las actividades del mantenimiento, si se sabe interpretar, analizar y obtener la información necesaria para saber si el aceite se puede o no seguir empleando, o tener claro qué está pasando al interior de la máquina.

Los servicios de análisis de aceites comprenden la ejecución de pruebas de laboratorio, el almacenamiento, procesamiento y análisis de resultados de las pruebas.

Estos elementos se combinan para suministrar a los usuarios una información precisa y oportuna, que le sirva de soporte a las programas de mantenimiento preventivo y predictivo de los equipos de los distintos departamentos, teniendo como base el análisis periódico y progresivo de los aceites que se están empleando y que corresponden a equipos críticos u operacionales.

5.4 BENEFICIOS DE LOS ANALISIS DE ACEITES

Entre los distintos beneficios o bondades de los análisis se tiene:

- Determina el estado del aceite.
- Diagnostica el estado del mecanismo o máquina.
- Bases para programas de mantenimiento.
- Soporte para reclamos por garantía.
- Reducción de costos de mantenimiento.
- Incremento en productividad o disponibilidad de equipos.
- Monitoria la eficiencia operativa.
- Fuente de información permanente y detallada.
- Reducción del número de paradas no programadas.
- Incremento de la vida útil del equipo.

- Reducción de costos por inventario de repuestos.

5.5 IMPLEMENTACION DE LOS ANALISIS

El análisis de aceites es efectivo como mecanismo de diagnóstico, cuando las muestras de aceites se extraen y analizan a intervalos programados.

El análisis de tendencia que se hace para cada equipo o máquina, con base en los resultados históricos de las pruebas de laboratorio, permite la detección a tiempo de fallas incipientes o desempeños anormales antes que se conviertan en daños o averías costosas e irreparables.

Los Jefes de Departamentos y los representantes de las firmas proveedoras de los aceites y grasas, deben seleccionar los equipos críticos u operacionales que deben estar incluidos en el programa de análisis periódico programado de muestreo o seguimiento de aceite.

Algunas de las condiciones críticas que se detectan en los análisis de laboratorio incluyen:

- Contaminación del aceite con combustible, agua, otros aceites, etc.
- Desgaste en mecanismos o partes de motores, engranajes, compresores, sistemas hidráulicos, bombas, etc.
- Tipo o grado incorrecto del aceite empleado.
- Fallas en los sistemas de filtrado, generando contaminación con polvo u otros contaminantes del medio ambiente o entorno.
- Periodos de cambio demasiado prologados, cortos o fuera de frecuencia establecida.

5.6 NIVEL DE ACEITE Y FRECUENCIA DE CAMBIO

Entre los aspectos que más influyen en la vida útil de los mecanismos, es decir, reduciéndola o acortándola drásticamente, están el nivel de aceite y la frecuencia de cambio.

En muchas ocasiones los operarios, o responsables en los turnos de guardia, descuidan la verificación de los niveles de aceite de los equipos en operación, presentándose daños o averías grandes.

Lo mismo sucede con las frecuencias de cambio de los aceites, en algunos casos se amplía deliberadamente por descuido u olvido, para reducir costos por consumo, para estandarizar la frecuencia de cambio de varios equipos o por descuido en el pedido oportuno de los aceites para cambio.

5.6.1 Nivel de Aceite. En la mayoría de los equipos, la cantidad necesaria de aceite para trabajar un equipo o sistema está regulada o mostrada por un dispositivo circular en vidrio, por un tubo vertical de vidrio o acrílico protegido por una malla metálica, o por una sonda con varilla verificadora. En el caso de medidores verticales, éstos se deben verificar constantemente, es decir, que estén libres de cualquier obstáculo, ya que en muchas ocasiones pueden generar niveles errados como consecuencia de un taponamiento.

Si el nivel de aceite está por encima de lo normal, producirá fricción fluida con incremento de temperatura de operación, oxidación del aceite y mayor consumo de energía o potencia. Si está por debajo del nivel normal, se presentará contacto metal- metal entre las superficies y por consiguiente, desgaste adhesivo.

5.6.2 Frecuencias de cambio. Las frecuencias de cambio del aceite, en la mayoría de los casos, las especifican los fabricantes de los equipos; sin embargo, éstas se deben modificar o cambiar, ya que las condiciones de

operación, calidad y clase de aceite empleado, son diferentes a los tenidos en cuenta por los fabricantes durante su determinación. Los parámetros que más llevan a cambiar los periodos o frecuencias de cambio, son la temperatura de operación y los sistemas de cambio o aplicación de los aceites.

La temperatura de operación es el factor más significativo en el cambio de la frecuencia, ya que es el que más acelera el proceso de oxidación del aceite. Se debe tener en cuenta por parte de todos los operarios, que por cada 10°C de incremento en la temperatura de operación del aceite por encima de 50°C, la rata de oxidación se duplica y la frecuencia de cambio del aceite se reduce a la mitad.

El seguimiento de los valores de temperatura y los incrementos durante la operación, deben ser constantemente verificados por los operarios y el Oficial de guardia en los respectivos formatos o registro de operación.

5.7 ANALISIS DE DESGASTE

El desgaste es multifacético y se considera como la pérdida de material que sufre un elemento, haciendo variar su forma geométrica y ocasionando errática y antifuncional su funcionamiento.

Existen varios motivos para que se presente desgaste y son consecuencia del acercamiento entre las superficies que se mueven una con respecto a la otra y que trabajan bajo condiciones de película fluida, o por la presencia de partículas sólidas en concentración por encima de la máxima permisible.

Entre los métodos más empleados por los laboratorios especializados para determinar y evaluar el desgaste, están:

- Espectrofotometría de emisión atómica.

- Conteo de partículas.
- Ferrografía.

Sólo se detallan y no se entra a su análisis, ya que no es objeto del presente trabajo. En los Anexos “H” e “I”, se relacionan los metales que pueden estar presentes y causar desgaste en los aceites.

5.8 KIT O SET DE MUESTREO DE ACEITES

La siguiente figura muestra el contenido de este set.

Figura 32. Kit de muestreo.



5.9 CICLO DEL ANALISIS DE ACEITES

Normalmente, el ciclo del análisis de aceites se compone de seis pasos básicos, los cuales están representados en la siguiente gráfica.

Figura 33. Servicio análisis de aceite.



5.10 KIT O SET DE MUESTREO DE ACEITES

El set de muestreo incluye los elementos que se muestran a continuación:

Figura 37. Kit muestreo de aceites.

Fuente: Shell de Colombia.

5.10 EQUIPO O MALETIN PORTATIL DE PRUEBAS DE ACEITES

Normalmente son suministrados por los fabricantes de los equipos y en algunos casos, además de las pruebas para los aceites, incluyen pruebas para agua y combustible. Estos elementos se muestran y relacionan en el Anexo “J”.

6. PROGRAMAS DE LUBRICACION Y ENGRASE

Los programas de lubricación y engrase se deben enmarcar dentro de los parámetros de la Tribología, ya que de esta forma, se sigue una secuencia lógica y se abarcan factores determinantes. Puede decirse que entre estos factores están la lubricación correctiva, preventiva, predictiva y proactiva; así mismo, el impacto sobre la salud ocupacional, la seguridad industrial y el medio ambiente.

Estos programas deben contener diferentes tipos de lubricación, los cuales son producto de un análisis detallado de las condiciones de operación de los equipos, capacitación y entrenamiento del personal responsable de los mantenimientos, lubricación, operación de las mismas y finalmente, de la disponibilidad o suministro oportuno de los diferentes aceites, grasas y demás elementos directamente relacionados.

La capacitación y entrenamiento del personal involucrado en la operación y mantenimiento de los equipos y sistemas, es determinante para garantizar la vida útil de los mecanismos y de los mismos aceites o grasas.

Cuando este personal desconoce sus funciones, no recibe entrenamiento, capacitación y actualización, desconoce los programas de lubricación y características de los aceites, o desarrolla una lubricación deficiente y en algunos casos inoportuna o fuera de tiempo, se presentan consecuencias

graves, que afectan la disponibilidad de los equipos y por consiguiente, la disponibilidad y operatividad de determinada Unidad.

Es por ello que la capacitación, entrenamiento, actualización y cursos de refresco en lubricación y engrase, deben ser una prioridad de los Jefes de Departamentos o dependencias y como tal, deben hacer las respectivas gestiones con los representantes de las firmas proveedoras de combustibles, aceites y grasas.

6.1 DESARROLLO DE PROGRAMAS

Para desarrollar los programas de lubricación, se deben implementar los diferentes aspectos dentro de ellos involucrados. Los más importantes se relacionan y detallan a continuación.

6.1.1 Personal responsable de la lubricación. Dentro del personal que participa en la ejecución de los distintos planes de mantenimiento, se debe seleccionar y capacitar en forma permanente a los que deben realizar los análisis de los aceites a bordo. Normalmente pertenecen a la División de Propulsión. Este personal, a cargo del Jefe de Máquinas y bajo la supervisión del Jefe de División y del Jefe del Departamento de Ingeniería, es el encargado de ejecutar los programas de lubricación y engrase, y sus conocimientos y conceptos relacionados con la lubricación y el engrase deben ser claros y precisos.

Esto debe ser producto de la capacitación recibida por parte de los proveedores, y de los cursos de refresco programados por los Centros de Formación, por las diferentes Escuelas de Superficie u otras dependencias. Lo mismo sucede con el personal de los Departamentos de Operaciones y Armamento y Cubierta de las distintas Unidades.

Los Señores Jefes de los Departamentos de Ingeniería y Logística de las diferentes Fuerzas Navales y/o Bases Navales, deben gestionar con los proveedores de grasas, lubricantes y combustibles, los cursos necesarios para capacitar a este personal o actualizarlo con nuevos procedimientos o normas.

Todo el personal debe estar capacitado para monitorear los diferentes parámetros de operación de los equipos y sistemas, y entre ellos, los correspondientes a la lubricación.

Los cambios de aceites programados y no programados, al igual que los rellenos adicionales, deben ser del conocimiento del Jefe de Máquinas, de los Jefes de División y Departamentos respectivos. Esta comunicación permanente, permite y facilita tener un conocimiento constante del estado real de los diferentes equipos.

El programa de Tribología, debe estar a cargo del Jefe de División de Propulsión o del Oficial responsable del mantenimiento en general a bordo de una Unidad a flote.

6.1.2 Cartas o estudios de lubricación. Son la información básica referida a la lubricación y engrase de los diferentes equipos. Estos estudios de lubricación se basan en los datos y recomendaciones que hacen los fabricantes de las máquinas. Se elaboran en conjunto con los proveedores de aceites y grasas.

Estas cartas deben contener, al menos, la siguiente información:

- Nombre de la Unidad.
- Nombre del equipo o sistema.

- Nombre y grado del aceite empleado.
- Tipo de aceite (lubricante, hidráulico, sintético, etc.).
- Cantidad de aceite requerida (galones y/o litros).
- Sistema de lubricación empleado.
- Frecuencia de cambio (horas operación o kilometraje).
- Equivalente en otras firmas conocidas y disponibles en el área de operaciones o centro de suministro más cercano.

Es claro, que los distintos aceites, grasas y combustibles empleados en los distintos equipos, deben ser los recomendados por los fabricantes de éstos y avalados por la Jefatura de Materia Naval.

6.1.3 Componentes y elementos necesarios. Están los siguientes:

- Válvulas de drenaje. Son válvulas de bronce de 1/2" y se emplean para toma de muestras. Todos los equipos y sistemas las deben tener instaladas.
- Sistemas de ventilación. Los lugares o compartimentos diferentes a los tanques de almacenamiento, deben tener suficiente ventilación y extracción.
- Bombas eléctricas, neumáticas o manuales. Empleadas para vaciado o trasiego del aceite que se recibe en canecas de 55 galones.
- Aceiteras y pistolas engrasadoras. Deben permanecer limpias e identificadas para los diferentes tipos de aceites y grasas.
- Tarjetas del sistema MRS No. 4 de lubricación y No. 02 de mantenimiento correspondientes.
- Herramientas necesarias para llevar a cabo las distintas actividades de desmontaje, desarme, arme y montaje de los elementos o accesorios que componen los programas de lubricación y engrase de los equipos y sistemas de las Unidades de la Armada Nacional. En los Anexos "K" y "L", se detallan los juegos de herramientas de base y universales con

que están dotadas las Unidades a flote. El empleo de la herramienta correcta, forma parte de un adecuado y riguroso programa de lubricación.

- Tanques de almacenamiento. Deben estar identificados en las tapas de acceso o inspección y en los tableros de control de carga líquida de a bordo.
- Registros y control diario
- Sondas y libro de sondajes.
- Marcas y proveedores de aceites, grasas y demás fluidos. Se debe tratar de estandarizar las marcas de aceites empleados, ésto facilita las actividades de adquisición, almacenamiento y sobre todo, reduce los riesgos de equivocaciones en el empleo y los de contaminación o mezclas no deseadas.
- Los aceites y grasas deben cumplir las propiedades físico-químicas establecidas por los fabricantes de máquinas y por las normas de la ASTM.

Existen otros elementos o accesorios de menor importancia, pero que también forman parte de los componentes requeridos para los diferentes actividades de lubricación y engrase en mantenimiento.

6.2 LUBRICACION CORRECTIVA

La lubricación correctiva es fundamental para asegurar el proceso correcto de lubricación y la operación confiable de los mecanismos.

Suministra información real sobre la lubricación de los mismos, lográndose con ello, la facilidad en la toma de acciones oportunas y decisiones que ameriten modificación de frecuencias y cambios de grados de aceites.

6.3 LUBRICACION PREDICTIVA

Es la que emplea datos extrapolados o tendencias, para determinar la vida útil de un aceite sin problemas. Con este tipo de lubricación se pueden prevenir fallas catastróficas, se incrementa el tiempo medio entre fallas (MTBF), se reducen los inventarios excesivos de aceites y grasas en depósitos o tanques, es decir, se puede implementar el justo a tiempo (JIT), y se mejora la administración de recursos en mantenimiento y la calidad en los mantenimientos de lubricación.

El programa de lubricación predictiva abarca:

- Chequeo de la condición de lubricación de los equipos incluidos.
- Reengrase de rodamientos y puntos de engrase con valores fuera de tolerancia.
- Cambio del aceite o grasas que hayan presentado condición anormal en análisis preliminar de a bordo.
- Cambio del aceite de equipos o sistemas grandes que hayan presentado condición anormal; pero se deben enviar muestras a los proveedores para análisis de laboratorio y de esa forma, determinar acciones a seguir acuerdo resultado y recomendaciones.

Los equipos o sistemas que deben incluirse en los programas de lubricación predictiva son:

- Equipos críticos dentro de la operatividad de la Unidad.
- Equipos esenciales y que cuentan con equipo alterno.
- Equipo y sistemas con grandes volúmenes de aceite en sus depósitos o cárteres (más de 50 galones).
- Equipos que operan a altas revoluciones y a la intemperie.
- Equipos con dificultad en la aplicación de la lubricación y/o engrase.
- Equipos con gran impacto en la seguridad, higiene y medio ambiente.

- Equipos o sistemas con dificultad en la adquisición de repuestos (no disponibles en corto plazo).
- Equipos o sistemas que emplean aceites y /o grasas de difícil adquisición.

Las principales herramientas o equipos necesarios para llevar a cabo la lubricación predictiva son:

- Maletín de pruebas o analizador portátil de aceites.
- Analizador del estado de lubricación o engrase de rodamientos.
- Equipo portátil de filtración.
- Contador de partículas.
- Analizador de aceites por constante dieléctrica.
- Dializador de aceites.

Entre los principales beneficios que se obtienen al realizar lubricación predictiva, están:

- Conocimiento del estado real de los equipos.
- Reducción en consumos.
- Incremento de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.
- Reducción en costos de mantenimiento y lubricación.
- Se lubrican los equipos que realmente requieren ser lubricados.

El personal que participa en la lubricación predictiva es el mismo que lo hace en la lubricación correctiva.

6.4 LUBRICACION PREVENTIVA

Es la que se realiza en forma planificada y obedece a programación. Dentro de ella se incluyen las inspecciones periódicas a los equipos, aceites y grasas.

Los elementos básicos del programa de lubricación preventiva son:

- Aceites y grasas a inspeccionar.
- Instantes o periodos en que se deben inspeccionar.
- Verificación que se haga a las muestras o inspecciones.
- Verificación, virado y drenaje de los filtros instalados en el equipo.

Los beneficios de la lubricación preventiva son:

- Prevenir fallas.
- Detectar a tiempo comienzo de fallas.
- Descubrir fallas ocultas.

El personal que participa en este tipo de lubricación es el mismo que lo hace en los otros tipos de lubricación (predictiva y correctiva).

Los equipos con que se cuenta para la lubricación preventiva son:

- Indicadores análogos y digitales de presión y temperatura.
- Drenajes de filtros.
- Sondas de verificación y/o rellenos de aceite (varillas medidoras).
- Equipo portátil.

6.5 LUBRICACION PROACTIVA

Es la lubricación planificada y visualizada por las inspecciones que se hagan a los equipos en sus sistemas y dispositivos de lubricación. Se emplean las mismas personas y equipos de la lubricación preventiva.

6.6 PROGRAMA DE LUBRICACION Y ENGRASE PROPUESTO

A continuación se presenta el Programa de Lubricación y Engrase propuesto, el cual detalla las Unidades a flote, sus principales equipos y

sistemas, la criticidad de los mismos (marcados e identificados como tal, en tinta roja), tipo, cantidad y nombre del aceite empleado, los tipos de grasas requeridas y las frecuencias de cambio de los mismos, es decir, de los aceites y grasas.

Teniendo en cuenta que la gran mayoría de las Unidades a flote de la Institución están usando aceites lubricantes de categoría 1, en el presente programa se propone emplear aceites de categoría 2 a medida que se les vaya instalando filtros de derivación, con lo que se duplicarían las horas de operación de los mismos y del aceite, se reducen las paradas programadas y horas-hombre para efectuar los respectivos cambios, se incrementa la disponibilidad y operatividad de las Unidades, y ante todo, se reducen costos cercanos a los \$1.500'000.000,00 por ahorros en cambios de lubricantes y filtros.

De igual forma, se programan los análisis de laboratorio especializado que deben efectuarse, lo cual implica coordinación con los diferentes proveedores de los aceites y grasas que se estén empleando en cada una de las Unidades. Teniendo en cuenta el grado de confidencialidad que reviste esta información, sólo se colocan la primera y última página del programa. En la copia de este trabajo de grado que se entrega a la Armada Nacional, si se halla el desarrollo completo de citado programa.

7. MEDIO AMBIENTE, SALUD Y SEGURDAD INDUSTRIAL

La contaminación en cualquiera de sus formas, es uno de los problemas más críticos que tiene el mundo moderno. Además de afectar el medio ambiente, también presenta consecuencias graves sobre la salud y la seguridad de las personas.

7.1 MEDIO AMBIENTE

Constantemente se habla de los efectos negativos que representa para los seres vivos el deterioro de la atmósfera que los rodea. Este deterioro es un problema acumulativo a través de los años que se volvió crítico, ya que se han presentado cambios significativos en el clima, con consecuencias catastróficas como el calentamiento global, comportamientos anormales en los afluentes de agua, fertilidad de los terrenos, variaciones inesperadas en el clima y en las diferentes actividades del hombre y los demás seres vivos.

El principal protagonista en el deterioro y contaminación de la atmósfera es el hombre, ya que el desarrollo industrial y los nuevos procesos tecnológicos han generado fuentes de contaminación acelerada de la tierra. La falta de control de los diferentes organismos responsables y la falta de responsabilidad del hombre sobre los procesos industriales que realiza, han hecho que muchas de esas consecuencias sean hoy irreversibles.

Uno de estos problemas es el deterioro de la capa de ozono, elemento esencial para la supervivencia de los seres vivos y que de no tomarse medidas drásticas por parte de los gobiernos, traerá como consecuencia final la desaparición de todas las formas de vida.

Adicional a los problemas del daño de la capa de ozono y la liberación del azufre, se presenta el del dióxido de carbono (CO_2), el cual forma una capa densa a poca altura sobre la superficie disminuyendo la irradiación del calor

de la misma hacia el espacio, causándose con ello, el incremento de la temperatura promedio. En el Anexo "M" se presentan los contaminantes de la combustión y sus efectos.

Los lubricantes minerales o derivados del petróleo después de ser empleados en los diferentes procesos y/o actividades, han sido arrojados a los ríos, a la tierra o simplemente, se queman en procesos de fundición u otras actividades. Esto genera contaminación de las fuentes superficiales de agua, de los acuíferos (subsuelo) destinados en muchas ocasiones para consumo del hombre, daños en la capa de ozono y el calentamiento global.

Esta preocupación, ha hecho que se empiece a tomar conciencia sobre el empleo y disposición final de los desechos o residuos de los lubricantes, por parte de los fabricantes de éstos y de la industria en general.

Se habla ya de los "lubricantes con conciencia ambiental" o EAL (Environmental Awareness Lubricants), los cuales permiten la conservación de los recursos no renovables como el petróleo, disminución de las fuentes de contaminación y daño de la atmósfera, entre otros. Dentro de los lubricantes EAL, es decir, los que retrasan el impacto negativo o que no tienen incidencia alguna sobre el medio ambiente, están los ecológicos, los biodegradables y los no tóxicos.

7.1.1 Lubricantes ecológicos. Son aquellos que minimizan los efectos negativos sobre el medio ambiente a través de su máximo empleo, es decir, hasta que su ciclo de utilización se agote y así lo demuestren las pruebas o análisis que se le hacen.

En este grupo se encuentran todos los lubricantes, incluyendo los derivados del petróleo, cuyo proceso de biodegradabilidad es lento.

7.1.2 Lubricantes biodegradables. La biodegradabilidad de un aceite se define como su capacidad para descomponerse en dióxido de carbono y agua, por acción de microorganismos en un tiempo determinado, lo que disminuye su nocividad al entorno. El prolongado tiempo para descomponerse, hace no biodegradables a los aceites minerales.

Biodegradabilidad no significa disponer de los residuos o desechos al medio ambiente (suelo, agua, desagües, etc), ya que existe un tiempo que demora el proceso de biodegradabilidad, y los contaminantes líquidos y sólidos que contenga el aceite afectan el medio ambiente.

7.1.3 Lubricantes no tóxicos. La toxicidad se mide por los efectos nocivos que el aceite pueda tener sobre el medio ambiente (hombre, animales, agua y flora). Esta medición se hace con las pruebas EPA 560/6-82-002 y WHC.

- La prueba EPA 560/6-82-002 consiste en tener un determinado número de peces en un estanque con agua, a la cual se le adiciona una concentración de 1000 ppm del aceite a probar. Se considera no tóxico el aceite, si sobrevive el 50% de los peces después de 96 horas.
- La prueba WHC es una prueba europea y clasifica los aceites en cuatro grupos, de acuerdo al potencial de desechos peligrosos basados en la toxicidad a las bacterias y peces. Estos grupos son:
 - WHC 0 : No compromete la calidad del agua.
 - WHC 1 : Compromete ligeramente la calidad del agua.
 - WHC 2 : Compromete la calidad del agua.
 - WHC 3 : Compromete seriamente la calidad del agua.

En el Anexo “N” se especifica la toxicidad de diferentes tipos de aceites de acuerdo a la WHC.

7.1.4 Lubricantes vegetales. Se cuenta con recursos naturales que pueden sustituir algunas fuentes de energía contaminantes, como el petróleo, y que tratados con la respectiva tecnología pueden generar productos competitivos y de escaso o mínimo impacto negativo sobre el agua, el aire, la tierra y los diversos recursos naturales disponibles. Los lubricantes vegetales son la mejor opción para reemplazar a los minerales; incluyendo a los sintéticos, menos críticos que estos últimos. Las semillas más empleadas para producir los aceites vegetales son la soya, la colza, canola, girasol, jojoba y recino; siendo los dos primeros los más empleados y de mayor cosecha en el mundo.

7.1.5 Lubricantes sintéticos. Son productos elaborados a partir de una reacción química entre varios materiales de bajo peso molecular, para obtener otro de alto peso y estructura molecular con características determinadas.

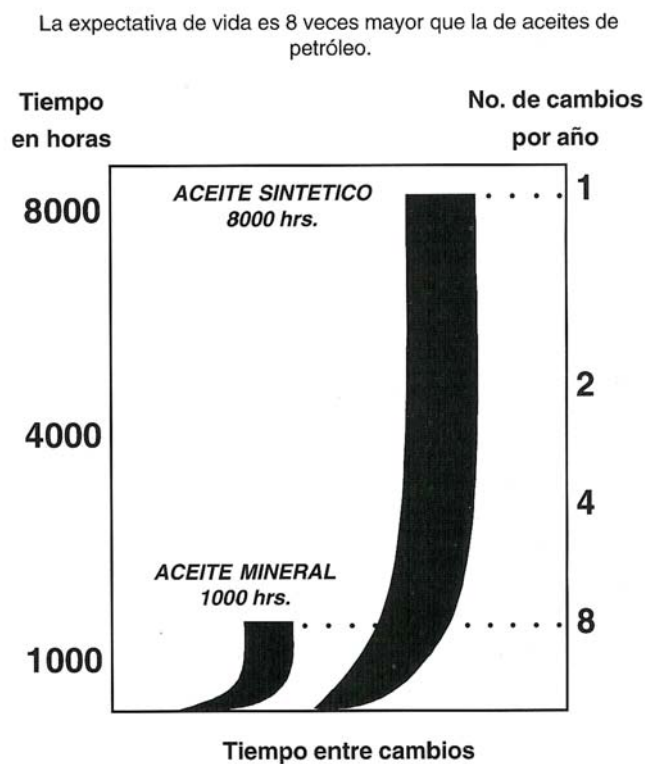
Al ser su alto costo una limitante para su empleo generalizado, sólo se utilizan donde los aceites minerales no son confiables, o en circunstancias de requerimientos especiales que no pueden ser cubiertos por aceites convencionales, tales como altas o bajas temperaturas de operación, periodos de cambio prologados, lubricación sellada o de por vida, reducción del consumo de energía, ambientes críticos, etc.

Las principales ventajas de los aceites sintéticos y que permiten mejores desempeños, son:

- Elevado índice de viscosidad (IV).
- Excelente estabilidad térmica y resistencia a la oxidación.
- No son inflamables a altas temperaturas.
- Mínima cantidad de residuos de evaporación.

- Adecuada protección contra la corrosión en ambientes críticos.
- Buena demulsibilidad.
- Baja tendencia a la formación de espuma.
- Elevada conductividad térmica.
- Alta adhesividad a las superficies metálicas.
- Reducción en consumo de energía.
- Alta miscibilidad a bajas temperaturas y baja solubilidad a altas temperaturas, con todos los freones cuando trabaja en sistemas de refrigeración.

Figura 34. Comparación entre aceites sintéticos y minerales.



Fuente: ChevronTexaco

Entre las desventajas por el empleo de aceites sintéticos están:

- Más costosos.

- No permiten mezclas entre sí y mucho menos con derivados del petróleo.
- Se evaporan fácilmente.
- Atacan retenedores y sellos hechos de Nitrilos y BUNAN. Se deben reemplazar por sellos de material Vitón.
- De difícil adquisición para determinadas condiciones de operación.

7.1.6 Reacondicionamiento y recuperación de aceites. Para prevenir la contaminación del medio ambiente, es básico saber qué se debe hacer con los aceites minerales que están trabajando en los mecanismos y máquinas y posteriormente, qué hacer con los mismos cuando se les desecha.

Los aceites sintéticos son menos críticos, pero de igual forma se deben tratar como minerales, ya que son tóxicos y no biodegradables.

El reacondicionamiento de un aceite mineral consiste en someterlo a un proceso físico, con el fin de eliminarle las sustancias contaminantes que aceleran el proceso de oxidación y dejarlo en una condición estándar, que permita que pueda seguir lubricando eficientemente, pero con una menor vida disponible.

Existen varias formas de reacondicionar los aceites contaminados que se encuentran en operación, entre los cuales están:

- Por gravedad o decantación.
- Filtración y filtros coalescentes.
- Centrifugación.
- Termo-vacío o diálisis.

El método elegido depende del tipo y grado de contaminación que tenga el aceite, siendo el más completo el de termo-vacío o diálisis.

La recuperación de los aceites se lleva a cada cuando su vida útil o de servicio ha finalizado, es decir, cuando se ha oxidado y contiene ácidos sulfúrico, sulfurosos, fosfóricos, etc, en solución. No se pueden analizar procesos físicos para su recuperación, sino que debe recurrirse a procesos químicos o de destilación.

La recuperación puede tener dos propósitos:

- Procesarlo para empleo secundario (combustible).
- Para emplearlo como aceite original después de añadir los aditivos.

Los procesos de recuperación de aceites oxidados más empleados son:

- Re-refinación con arcillas ácidas.
- Diálisis con tratamiento de arcilla.
- Evaporación total.
- Evaporación de componentes lubricantes en alto vacío.
- Evaporación total con recuperación de lubricante residual.
- Destilación con post-tratamiento de hidroacabado.

7.1.7 Programa ambiental con aceites usados. Los aceites minerales que se drenan de las máquinas por finalización de ciclo de vida o por contaminación, se convierten en un problema para las tripulaciones porque la aplicabilidad de las normas y legislación ambiental impiden que se quemen, se viertan a los afluentes, al mar o a la tierra. A estos aceites se les llama **aceites usados**. A los que no han tenido ningún tipo de uso o contacto con agentes externos, se les denomina **aceites nuevos**. Los nuevos se diferencian de los usados en que tienen todos sus aditivos y propiedades físico-químicas al 100%.

Dentro de los planes de actividades y programas de mantenimiento de las Unidades a flote y de las Bases Navales, se deben incluir rutinas de

mantenimiento a los aceites que se están empleando en las máquinas, y manejo responsable de los desechos o residuos oleosos una vez se concluye el ciclo de vida útil o de servicio, es decir, cuando se oxidan.

Las rutinas de mantenimiento o reacondicionamiento que se pueden realizar a los aceites minerales que se están empleando a bordo, consisten en limpieza o filtración con filtros coalescentes y la centrifugación.

Al presentarse reposición de aceite por frecuencias de cambio establecidas o por contaminación, estos aceites deben drenarse a los tanques de aceite usado y/o sucio.

Al arribo a puerto por término de operación y teniendo en cuenta los niveles existentes en los tanques, se debe coordinar el apoyo de la Base Naval con carro- tanque, bongo o canecas para retirar estos residuos oleosos; los cuales deben ser llevados o entregados a un ente especial que los reacondiciona o recupera, tal es el caso de la firma ORCO LTDA en Cartagena.

Los residuos oleosos contenidos en los sistemas, deben pasarse o achicarse a través de los separadores de aceite o de-oiler y en ningún momento se deben descargar al mar o a los ríos directamente.

Las Unidades a flote que carezcan de estos equipos, deben retirar los aceites usados con bombas eléctricas o manuales y depositarlos en canecas o tanques dispuestos para tal fin.

Las Bases Navales deben fomentar a través de conferencias, talleres y seminarios, la conciencia de no contaminar el medio ambiente y hacer una correcta disposición final de los desechos oleosos. De igual forma, deben

facilitar los medios para recolección de éstos y su seguro transporte hacia los centros de acopio y tratamiento.

Reviste especial importancia la cultura y concientización, que sobre la protección del medio ambiente y técnicas de reciclaje, deben tener las guarniciones alejadas de los grandes centros urbanos tales como Puerto Leguízamo, Puerto Carreño, Puerto Inárida, etc.

La Oficina de Protección del Medio Ambiente del Comando General, y específicamente la de la Armada Nacional, deben dictar políticas claras sobre la recepción y disposición final de los desechos sólidos y oleosos entregados por las Unidades a flote en las diferentes guarniciones.

El manejo de desechos o residuos oleosos puede ser efectuado por diversas técnicas que involucran la disolución, neutralización, inactivación o incineración, o mediante tratamiento especial hecho en laboratorios especiales (ORCO LTDA en Cartagena u otros).

Los aceites derramados accidentalmente sobre pisos o cubiertas, deben ser recogidos con arena o aserrín, o mediante el empleo de trapos absorbentes, los cuales pueden ser incinerados posteriormente, pero nunca depositados al mar, sobre el suelo, o por las tuberías o drenajes.

7.3 SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

Los compuestos derivados de la hidrocarburos, a pesar de ser el grupo de sustancias más empleados en los diferentes procesos industriales, no guardan una correlación en el conocimiento que de ellos se tiene, por parte del personal de la salud y de los trabajadores que los manipulan, en lo relacionado con los riesgos potenciales para la salud humana, las formas de

monitoreo, las metodologías de prevención y los protocolos de su manejo, desde los puntos de vista médico y ocupacional.

Al estudiar los efectos clínicos en la salud del individuo expuesto ocasionalmente a sustancias hidrocarburos, es necesario considerar que en la mayoría de las ocasiones o casos, la exposición ocupacional no se hace a un producto único, sino que lo común es que se encuentren mezclados varios de ellos.

Otra característica a tener en cuenta, es que la mayor frecuencia de patología debida a hidrocarburos en el medio ocupacional, es de tipo crónica derivada de exposiciones repetidas y por largo tiempo a concentraciones por debajo del valor límite permisible. Todos los productos derivados del petróleo son tóxicos, en mayor o menor grado. La exposición a ellos es el resultado de uno o más tipos de contacto con el individuo y la efectividad depende de la concentración, frecuencia y duración de la exposición.

En Toxicología Ocupacional la vía respiratoria es la principal vía de entrada al organismo humano, seguido de la dérmica y la oral o digestiva. Esta última vía en forma no muy frecuente, y se relaciona principalmente con la ingestión accidental o con malos hábitos higiénicos y alimenticios.

La biotransformación de los hidrocarburos absorbidos por el organismo, se realiza en el hígado en más o menos el 90%.

Los procesos de biotransformación y acumulación de los hidrocarburos en el organismo humano, están medidos por diferentes factores, entre los cuales están:

- Procesos productivos o sistemas de trabajo.

- Aspectos del microclima laboral: presión atmosférica, humedad y temperatura.
- Edad del individuo.
- Enfermedades crónicas previas o antecedente patológicos.
- Uso de sustancias psicoactivas y/o alcohol.
- Obesidad del individuo.

La vía renal es la principal fuente de eliminación de los hidrocarburos, pero otras vías como la inhalatoria, la leche materna, la saliva y el sudor, también pueden servir para la excreción o eliminación.

7.2.1 La Salud Ocupacional es la ciencia que tiene por finalidad proteger y mejorar la salud física, mental y social de los trabajadores en los puestos de trabajo.

Su propósito es proporcionar condiciones de trabajo seguras, sanas, higiénicas y estimulantes para los trabajadores, con el fin de evitar la ocurrencia de accidentes de trabajos y enfermedades profesionales. Con ella se busca eliminar los factores de riesgo nocivos, que afecten la vida del trabajador o que deterioren el medio ambiente.

Tienen, entre otros, los siguientes objetivos:

- Identificar los agentes o fuentes de riesgo para evaluarlos, priorizarlos y establecer las diferentes formas para minimizarlos y prevenirlos tanto en la fuente, como en el medio y en los tripulantes o personal expuesto.
- Establecer e implementar programas de mantenimiento preventivo a los equipos, sistemas, herramientas, redes e instalaciones locativas.
- Organizar y desarrollar planes de emergencia y evacuaciones.
- Promover, desarrollar y evaluar programas de entrenamiento e inducción.

- Garantizar la seguridad y la salud física, mental y social del personal de a bordo, mediante la reducción de los incidentes y accidentes de trabajo.

Los programas de Salud Ocupacional con sus respectivas subprogramas de Medicina Preventiva y del Trabajo, Higiene y Seguridad Industrial, deben ser coordinados, revisados y ejecutados en conjunto con los Hospitales Navales. Si es posible, se debe hacer partícipe al Cuerpo Voluntario de Bomberos en los ejercicios de incendios, explosiones, inundaciones, derrames, evacuaciones y rescate, que se ejecuten como parte de los entrenamientos de Seguridad Industrial y Control de Averías programados.

7.2.2 Factores de riesgo. Se entiende por factor de riesgo, los elementos y acciones que tienen capacidad potencial de producir lesiones o daños materiales.

En las diferentes Unidades a flote se presentan potenciales riesgos de incendios y explosiones, causadas por el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables (líquidos, sólidos y gaseosos).

Una buena práctica exige que los riesgos sean identificados, cuantificados y se establezcan procedimientos para minimizarlos.

El cuidado de la Salud Ocupacional, depende de la identificación de riesgos potenciales para la salud de las personas en sus puestos de trabajo, y del control de dichos riesgos dentro de límites aceptables o permitidos. Esta es una labor de los Señores Oficiales, con asesoría de los especialistas de los Hospitales Navales.

Durante las labores de operación y mantenimiento de equipos, o de transporte, almacenamiento y manejo de lubricantes, grasas y combustibles, los tripulantes de las Unidades a flote pueden estar expuestos a las diferentes clases de factores de riesgo, unas en mayor proporción que otros y con consecuencias diversas. Estos factores de riesgo pueden ser químicos, mecánicos, ergonómicos, locativos y de seguridad.

- Factores de riesgo químico. Se generan por la exposición, manipulación y transporte de sustancias químicas y/o tóxicas. Dentro de estas sustancias están los combustibles, lubricantes y grasas en sus diferentes estados.

Los riesgos de exposición a este factor de riesgo, se presentan cuando se retiran las tapas de inspección de los tanques de almacenamiento de aceites, tanto limpios como usados o sucios, inspección de cárteres de máquinas, motores, engranajes reductores, etc. Así mismo, cuando se transportan y almacenan canecas de aceites a bordo o en bodegas en tierra, cuando se trasiega o trasvasa el aceite de las canecas a los tanques de almacenamiento y cuando se ejecutan pruebas y análisis.

Esta exposición puede generar quemaduras, intoxicaciones, problemas respiratorios y pulmonares, alergias, quemaduras o inflamación de los ojos, dolor de cabeza, pérdida del conocimiento, incendios, explosiones, etc.

Entre las diferentes formas de prevenir los riesgos químicos están:

- Leer y saber interpretar las etiquetas que el fabricante coloca a los productos (advertencias, precauciones, primeros auxilios, etc).
- Cumplir con las normas de prevención.

- Seguir los procedimientos establecidos para las diferentes actividades de relleno, cambio, trasiego y retiro de los aceites de los equipos y sistemas instalados a bordo.
- Realizar controles de riesgo en la fuente y en el medio.
- Verificar estado de las bombas, tuberías, acoples, empaques, mangueras y sondas.
- Emplear los elementos de protección personal: guantes, gafas, casco, mascarillas y/o respiradores, linternas y trapos.
- Verificar estado y disponibilidad de extintores de polvo químico, estaciones fijas de PKP y foam o espuma, teléfonos de cabeza, tablas de sondaje, tablero de control de líquidos y combustibles, etc.
- Ventilación e iluminación suficiente.
- Espacio suficiente para tránsito del personal y en el área en que se ejecuta la maniobra.
- Correcto funcionamiento de grúas y polipastos, de igual forma, el estado de cadenas, cintas, ganchos o aparejos que se utilicen en las maniobras de izado y trasiego.
- Instrucciones claras y precisas para el personal que participará en la maniobra.
- Informar el inicio y finalización al Oficial de guardia, para que se anuncie por los altavoces y no se permita abrir Santabárbaras o cuartos de municiones y no efectuar trabajos de corte y soldadura sobre cubierta o en espacios de alto riesgo y comprometidos con la actividad.
- Emplear equipos y herramientas en buen estado.
- Orden y aseo.
- Almacenar correctamente los aceites y grasas.
- Lavarse las manos y otras partes del cuerpo que hayan tenido contacto con estos elementos.

- En caso de derrame o exposición peligrosa, se deben conocer y seguir los procedimientos de emergencia.
- Factores de riesgo mecánico. Se generan por las máquinas, equipos, herramientas u otros objetos que por cualquier circunstancia (mal estado, falta de protecciones, mal empleo, abuso, rotura, etc) pueden lesionar a los tripulantes, ya sea por golpes, atrapamientos, aplastamiento, rozamiento, etc, y causar en ellos alguna lesión, trauma, raspadura, heridas, fracturas, amputaciones, o daño en los materiales y equipos.

Para el caso de manejo, transporte y trasiego (relleno o retiro) de aceites y grasas a bordo de las Unidades a flote, esta exposición se puede generar durante el transporte de las canecas, izado y arriado de las mismas con grúas, pescantes o polipastos, estiba y/o almacenamiento en las bodegas de lubricantes o espacios asignados para tal fin, y durante otras actividades con estos materiales y equipos.

La aplicación de los correspondientes medios de protección, junto con la supervisión, coordinación, entrenamiento y constante atención de los tripulantes, son las condiciones para la prevención y obtención de una seguridad óptima durante la ejecución de las distintas actividades o movimientos con aceites y grasas, y el empleo de los diferentes mecanismos, equipos y herramientas.

- Factores de riesgo ergonómico. Son los producidos por una inadecuada relación entre los tripulantes y los equipos o materiales.

Dentro de estas situaciones o factores se encuentran:

- Posiciones corporales forzadas o inadecuadas.

- Levantamiento inadecuado de cargas.
- Sobreesfuerzo físico.
- Trabajos prologados de pié.
- Ritmo de trabajo.
- Plano de trabajo inadecuado.
- Controles de mando mal ubicados o inadecuados.
- Falta de ayudas mecánicas: grúas, polipastos, herramientas, etc.

La exposición a este factor de riesgo puede generar desviaciones de la columna vertebral, hernias, calambres, dolores musculares y lesiones ósteo-musculares.

La forma de prevenirlas es:

- Empleando equipos de transporte al trasladar las canecas de aceite o grasa.
 - Emplear las ayudas mecánicas para izado y arriado: grúas, pescantes, polipastos, etc.
 - Capacitación en levantamiento de cargas: doblar las piernas y no la espalda al levantar objetos.
- Factores de riesgo locativo. Incluye aspectos propios de las instalaciones locativas que por sus características de diseño, construcción y mantenimiento pueden generar lesiones personales, daños materiales o incomodidad para desarrollar actividades propias del trabajo a bordo:
 - Techos o cubiertas defectuosas o en mal estado.
 - Escaleras a bordas defectuosas o en mal estado.
 - Cubiertas y pisos húmedos.
 - Falta de señalización.
 - Iluminación y ventilación deficientes o ausentes.

- Canecas mal estibadas.
- Desaseo y desorden.

Pueden causar caídas a ras del piso o de alturas, golpes, atrapamientos, fracturas, amputaciones y asfixia.

Este factor de riesgo locativo se puede prevenir:

- Manteniendo aseados y ordenados los sitios de trabajo.
 - Verificando estado de pisos, cubiertas y bordas.
 - Señalizando las áreas o espacios de trabajo.
 - Almacenar las canecas y herramientas en forma correcta.
 - Informar o reportar los daños locativos.
 - Ventilando e iluminando las áreas de trabajo.
 - Respetando la señalización.
- Factores de seguridad. Son aquellos que se presentan en las dependencias de la Unidad o en puestos de trabajo y que pueden causar accidentes en el personal de a bordo. Entre estos accidentes se tienen los incendios, explosiones, corto circuito, incompatibilidad físico-química en el almacenamiento de sustancias, materiales y sustancias combustibles, y material inflamable.

Entre las causas de estos accidentes están:

- Mal almacenamiento de sustancias inflamables.
- Ventilación e iluminación inadecuadas o ausentes.
- Conexiones a tierra inadecuadas o ausentes.
- Empalmes defectuosos.
- Líneas eléctricas sin entubar.
- Mala estibación o almacenamiento del material inflamable.
- Falta de señalización.
- Falta de orden y aseo.

- Falta de capacitación.
- Vehículos de carga en mal estado.

Estos accidentes generados por el factor de seguridad pueden causar quemaduras, fracturas y/o amputaciones, atropamiento, asfixia, electrocución, cortaduras, golpes y caídas de alturas.

Para prevenir y controlar este factor se tiene:

- Almacenar y estibar en forma correcta y segura.
- Establecer ventilación, extracción e iluminación adecuadas.
- Conectar líneas y equipos a tierra.
- Emplear elementos de protección personal.
- Mantener equipo de extinción despejado y en buen estado.
- Capacitar al personal (conformación de brigadas).
- Mantenimiento preventivo a equipos, sistemas e instalaciones.
- Verificar orden, aseo y señalización.
- Cerificar sistemas, equipos y herramientas antes de emplearlos.

La inhalación de vapores provenientes de combustibles, aceites y grasas calientes o volátiles, o la exposición a los mismos, puede causar irritaciones en los ojos, nariz y garganta e incluyen efectos sistemáticos tales como dolor de cabeza, mareo, náuseas, visión defectuosa, etc. Exposiciones prologadas pueden causar pérdida de la conciencia, paro respiratorio o la muerte.

La lesión más frecuente por exposición y contacto con los derivados del petróleo es la irritación de la piel o dermatitis. La severidad del daño depende del grado, magnitud y frecuencia de la exposición.

Para prevenir las lesiones de la piel y la dermatitis se debe efectuar lavado con agua y jabón, y en ningún momento se deben emplear disolventes como el kerosene, ACPM, gasolina o varsol.

7.2.3 Almacenamiento, manejo, transporte y empleo de los aceites y grasas. Las bodegas en tierra y los compartimentos o almacenes de aceites y grasas de a bordo, deben estar dotados de sistemas de ventilación extracción para prevenir la acumulación de gases inflamables, explosivos y tóxicos.

Los pisos y cubiertas deben ser fáciles de limpiar y resistentes al ataque de estas sustancias. La estantería debe ser rígida, estable y resistente.

Los aceites y grasas deben estar correctamente identificadas, y las existencias deben estar actualizadas de acuerdo a tarjetas de kárdex y/o computador. La rotación de inventarios es esencial para evitar daño o deterioro de estas sustancias. La limpieza y el orden son factores determinantes en la adecuada conservación de los aceites y grasas, de lo contrario, se afectarán las propiedades físico-químicas de los mismos.

El manejo incorrecto de los tambores (canecas de 55 galones), bidones, baldes y demás recipientes en que se venden los aceites y grasas, trae como consecuencia daño o rotura de las uniones metálicas, causando derrames sobre los pisos y cubiertas, con pérdidas considerables y posibilidad de generar caídas y accidentes graves en el personal.

El cargue y descargue de estas canecas debe hacerse con la ayuda de elevadores mecánicos, plataformas hidráulicas, montacargas o carretillas manuales, y en ningún caso debe hacerse con ayuda de llantas, ya que al caer la caneca y golpear con el piso, se deforma y puede incluso romperse.

El transporte o desplazamiento debe hacerse en vehículos, cargadores, elevadores, cama–baja, o cualquier otro mecanismo, pero nunca debe rodarse, ya que la estructura se debilita y puede romperse, además de que es peligroso y puede causar atrapamiento, aplastamiento u otra clase de accidente.

Durante la ejecución de estas maniobras, deben extremarse las medidas de precaución con el fin de evitar accidentes; así mismo, se deben disponer y ubicar a corta distancia las herramientas, extintores, caneca con aserrín, trapos y otros elementos útiles.

Antes de rellenar o trasegar aceites a los tanques de almacenamiento, de recirculación y/o servicio diario, se debe verificar su contenido a través de las mirillas o niveles externos, sondas y tablas de sondaje. Los venteos o tapas de sondas deben estar destapados.

Los Oficiales de Guardia y el personal de guardia de ingeniería deben estar enterados del tipo de maniobra que se realiza, iniciación y finalización, tripulación de puestos o estaciones, etc, con el fin de establecer las rondas periódicas y evitar accidentes o derrames.

Muchas sustancias son peligrosas por sí solas y se les debe dar consideraciones especiales en cuanto a almacenamiento y manejo. Muchos químicos y derivados del petróleo, combinan diversos riesgos y se deben dar cuidados especiales a su exposición y dispersión.

Para relleno de aceites y engrase de equipos y sistemas de diferentes tipos y/o marcas, se deben emplear baldes, bidones, aceiteras y graseras distintas, ya que se pueden presentar contaminaciones y variaciones en las composiciones, pudiéndose generar daños en mecanismos o equipos.

Los equipos y demás accesorios empleados en lubricación y engrase se deben mantener limpios. Nunca se deben usar trapos sucios.

7.3 ALMACENAMIENTO, MANEJO, TRANSPORTE Y EMPLEO DE LOS ACEITES Y GRASAS

El almacenamiento de cualquier producto o sustancia, que sirva para la lubricación o engrase de un determinado equipo o mecanismo es de gran importancia. Para las Unidades a flote que no dispongan de tanques de almacenamiento, existen dos formas de almacenamiento: a la intemperie o bajo techo.

- Almacenamiento a la intemperie:
Se debe evitar en lo posible, ya que el aceite se puede contaminar con agua (condensación o filtración), se pueden deteriorar las canecas y borrar las marcas y especificaciones, generándose problemas en la aplicación o empleo de estos aceites posteriormente.

De no existir otra opción o alternativa de almacenamiento distinta a la ubicación sobre cubierta, se deben tener en cuenta las siguientes observaciones:

- Almacenar la caneca en posición horizontal.
Distinto a las condiciones en que el aceite trabaja como una emulsión (equipos de corte), el agua es la sustancia que más afecta la vida de un aceite y que varía las propiedades físico-químicas.
Para evitar el ingreso de humedad o agua, las canecas se deben colocar en posición horizontal y de tal forma, que el aceite cubra la tapa y tapón de cada una, creándose así una contrapresión que impide la entrada de humedad. Esta es la opción más favorable.

- Almacenar la caneca en posición vertical.
Cuando por condiciones de espacio disponible a bordo, sea necesario colocar las canecas de aceite en posición vertical, éstas se deben ubicar con las tapas y tapones hacia abajo, previa verificación del ajuste de las mismas.

Es recomendable también, colocarles un plástico o lona asegurada con cabos de nylon o manila; ésto previene más una posible contaminación por filtración de agua.

Figura 35. Manejo correcto de los aceites.



- Almacenamiento bajo techo o cubierta.

Es el almacenamiento adecuado, porque se impide el deterioro de los aceites y grasas al contaminarse con agentes del medio ambiente o entorno, tales como polvo, arena, sílice, agua, etc.

Estos espacios deben tener suficiente ventilación, iluminación, adecuados espacios para maniobrar o manejar las canecas, aseados y organizados, de tal forma, que garanticen seguridad y disponibilidad.

En los lugares donde se almacenen aceites y grasas no se debe fumar, ni permitir el encendido de llamas. Se debe disponer de extintores de espuma o foam, para combatir cualquier conato de incendio que se presente. El orden y correcta colocación u organización de las canecas, es determinante para combatir un incendio.

Entre los factores que pueden afectar la vida de los lubricantes por incorrecto almacenamiento, están:

- Manipulación o manejo inadecuado.
- Almacenamiento en espacios con temperaturas anormales.
- Almacenamiento por largos periodos de tiempo.
- Contaminación con otros aceites (tipos).
- Contaminación con aceites de otras marcas.
- Contaminación con agua, disolventes u otras sustancias líquidas.
- Contaminación con partículas sólidas.

8. GRASAS Y ACEITES HIDRAULICOS

Adicional a los aceites lubricantes se presentan las grasa y los aceites hidráulicos, elementos básicos y esenciales en las unidades y operaciones de la Armada Nacional y en todo proceso productivo. En el presente capítulo de abarcarán sus principales características en forma resumida.

8.1 GRASAS

De acuerdo a la ASTM, las grasas lubricantes se definen como productos cuya consistencia varía de sólido a semi-sólido, como resultado de la dispersión de un agente espesante (jabón metálico) en un lubricante líquido (aceite base).

La composición de las grasas está dada por:

ACEITE BASE	+ AGENTE ESPESANTE	+ ADITIVOS
- Sintético	- Jabón (sodio, litio, calcio, etc).	- Antidesgaste
- Mineral	- Sin jabón (Arcillas, gel).	- Extrema presión
(EP)		- Antiespumante
		- Antioxidante
		- Anticorrosivo
		- Adhesividad
		- Colorantes
		- Estabilizantes

El aceite empleado en la fabricación de grasas, se selecciona con características iguales a las que se usan para lubricar mecanismos con

aceite. El aceite base le da las características lubricantes a las grasas, y el espesador le da propiedades físicas como la capacidad de soportar altas temperaturas, humedad, ácidos y otros contaminantes.

Los aceites sintéticos se utilizan en grasas que trabajan en condiciones extremas de alta o baja temperatura y generalmente, se emplean con espesantes de jabón de litio.

8.1.1 Funciones. Entre las funciones que cumplen los diferentes tipos de grasas están:

- Prevenir y disminuir el desgaste.
- Servir de sellante.
- Protección contra la corrosión y la herrumbre.
- Reducir frecuencia de lubricación y/o relubricación.
- Inhibir la oxidación.
- Suspender aditivos sólidos.
- Protección a sellos de caucho.
- Reducir vibración y ruido.
- Minimizar escapes, goteos y salpicaduras.

8.1.2 Composición. La facultad de las grasas lubricantes de operar en diferentes aplicaciones, bajo una variada gama de condiciones y medios ambientes o entornos, constituyen un testimonio de la flexibilidad de su composición.

Cuando las grasas se emplean como lubricantes, tienen un desempeño similar al de los aceites. Reducen la fricción proveyendo una película que separa superficies en movimiento. Además, tienen la ventaja de permanecer donde se aplican, y tienen menos probabilidad de perderse de una máquina o de superficies que lubrican, si se encuentra sometida a fuerza de gravedad.

o fuerza centrífuga. Así mismo, las grasas pueden formar un sello efectivo contra la humedad y los contaminantes sólidos.

8.1.3 Características físico-químicas. Entre las características de las grasas están:

- **Consistencia**

Es la principal propiedad que distingue a una grasa de otras. Está relacionada con la dureza o blandura y con el número de penetración obtenido en una muestra de grasa. Se define como la resistencia que presenta un material plástico a la deformación cuando se le aplica una fuerza. La consistencia especifica la capacidad de lubricación, sellamiento, permanencia, bombeabilidad y capacidad para soportar valores de temperatura.

Se determina según el método ASTM D 217, conocido como **cono de penetración de las grasas** y fué establecido por el Instituto Nacional de Grasas Lubricantes (NLGI).

La penetración del cono es la medida de la distancia, en décimas del milímetro, que un cono de peso y medidas precisas, penetra una muestra de grasa a 25°C durante 5 segundos. La penetración ASTM tiene correlación con una escala numérica estandarizada por la NLGI y clasifica la consistencia de las grasas.

En el Anexo "O" se dá la clasificación ASTM y su equivalencia en el sistema NLGI.

Por ejemplo, las grasas Balina 2 (Shell), Mobilux 2 (Mobil) y Unirex 2 (Esso), tienen una consistencia NLGI 2, y ésto está determinado por el número que aparece después del nombre de cada grasa. Los grados 1,2 y 3 son los más empleados. Los grados 1 y 2 se emplean para

lubricar puntos de apoyo rodantes y el 3 para puntos de apoyo que operan a temperaturas altas.

- Punto de goteo.

Es la mínima temperatura a la cual la grasa pasa del estado semi-sólido al líquido y fluye a través de un orificio bajo condiciones de ensayo.

- Resistencia a la corrosión.

Depende del tipo de jabón metálico empleado en el proceso de fabricación de la grasa. Así mismo, de la reacción con el agua y de su capacidad para formar y mantener un sello que proteja contra la admisión de materiales corrosivos.

- Resistencia a la oxidación.

Es la resistencia de la grasa al deterioro químico que se pueda presentar durante su almacenamiento y operación posterior por exposición al medio ambiente o aire. Esta resistencia depende de la estabilidad de los componentes y aditivos que se hayan empleado.

- Resistencia al agua.

Es la capacidad de la grasa de adherirse a un panel de acero inoxidable cuando se somete al rociado directo del agua.

- Protección antidesgaste.

Es la capacidad de la grasa para prevenir el desgaste en las aplicaciones de deslizamiento de acero sobre acero.

Otras características son:

- Resistencia al ablandamiento.
- Bombeabilidad.

Teniendo en cuenta el tipo de jabón como agente espesante, en el Anexo “P” se presenta un cuadro comparativo de las características de las grasas.

8.1.4 Cualidades. Entre las distintas cualidades que tienen las grasas están:

- Estabilidad mecánica.
Es la capacidad de una grasa para resistir a cambios en su consistencia durante el trabajo, manteniendo la lubricación. La mayoría de las grasas tienden a ablandarse durante un trabajo pesado, y luego recuperan poco a poco su consistencia original cuando el trabajo ha terminado. La estabilidad mecánica se evalúa midiendo la consistencia de la grasa antes y después de trabajarla durante un período de tiempo suficiente.
- Por su consistencia, las grasas permanecen más fácilmente en los espacios o alojamientos de los cojinetes. Cuando los sellos se gastan, las grasas permanecen en esos espacios. El aceite escapa fácilmente.
- La grasa se comporta como sellante al prevenir pérdida de aceites o entrada de contaminantes.
- Son usadas frecuentemente en mecanismos de difícil acceso o aislados.
- Las grasas necesitan menor frecuencia de aplicación y/o cambio, ya que por su alta consistencia resisten los arrastres.
- Para lubricar rodamientos se necesita menor cantidad de grasa que de aceite.
- Buena bombeabilidad.
- Fluidez a baja temperatura.
- Resistir contaminantes.
- Compatibilidad con elastómeros y otros materiales

8.1.5 Factores que afectan las grasas. Al igual que para los aceites lubricantes, existen diferentes factores que afectan la acción de las grasas. Estos son:

- Velocidad.

- Temperatura.
- Carga.
- Elementos o mecanismos que lubrica.
- Métodos de aplicación.
- Ambiente de operación (contaminantes).

8.1.6 Selección. Para la selección correcta de una sustancia o elemento para lubricar mecanismos o equipos, es necesario tener en cuenta las características del aceite o de la grasa y las relativas ventajas de uno sobre el otro. De acuerdo a las necesidades de operación, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros durante la selección de las grasas:

- Componentes a lubricar.
Rodamientos, engranajes, cadenas, guayas, superficies deslizantes, etc.
- Condiciones de funcionamiento.
Carga, temperatura, velocidad, entorno de operación, etc.
- Aplicación.
Manual, automático, centralizado, empacado, etc.
- Ambiente de operación.
Polvo, agua, humedad, contaminantes, sílice, etc.

Las grasas son la mejor opción o alternativa para:

- Equipos guardados o almacenados por largos periodos (sin uso).
- Equipos que trabajen intermitentemente.
- Equipos que trabajen en condiciones extremas (altas temperaturas, altas presiones, cargas de choque, bajas velocidades, etc).
- Equipos con mecanismos o componentes desgastados (las películas de grasa espesa funcionan mejor en los espacios generados por el desgaste).

8.1.7 Aplicación. Las grasas se pueden aplicar de diversas formas, dependiendo del número de componentes móviles a lubricar y de las condiciones a las cuales funcionan los equipos o sistemas.

- Engrase manual.

El método más sencillo de aplicación es a mano, aunque es el de más posibilidades de contaminación.

- Engrase por copa de compresión.

Este dispositivo va atornillado al ensamble de los cojinetes o equipos a engrasar. La grasa se coloca dentro de la copa y luego se va pasando al cojinete dándole vuelta a la tapa. Este sistema no facilita cantidad suficiente y uniforme de grasa y requiere de atención permanente.

- Engrase automático.

Es un mejoramiento del método anterior, tiene un émbolo activado por un resorte que empuja lentamente la grasa dentro del cojinete.

- Aplicación por presión.

Es el método más empleado. La grasa se aplica por medio de una pistola que se opera manual, eléctrica o neumáticamente. La grasa que entra, saca la grasa ya usada y los contaminantes que se encuentren dentro del cojinete.

- Sistema centralizado de engrase.

Este sistema es más confiable y económico. Permite la lubricación o engrase de un gran número de cojinetes o componentes móviles, durante el funcionamiento del equipo o sistema. Así mismo, facilita el engrase oportuno con las cantidades requeridas y en lugares de difícil acceso. Se les ha adicionado cronometraje electrónico y programas de computador, con lo que se facilita la labor de engrase.

8.1.8 Mantenimiento o conservación. Al igual que los aceites lubricantes e hidráulicos, las grasas requieren de un manejo especial tanto en los puntos de aplicación (graseras) como en su almacenamiento. Algunos de estos cuidados son:

- Mantener las canecas o bidones de grasa correctamente tapados y en posición vertical
- No exponer a la intemperie. Almacenar a cubierto
- Para retirar partes de grasa de una caneca, se deben emplear palas o cucharas limpias.
- Para cada tipo de grasa se debe emplear una grasería independiente.
- Limpiar la tapa de la caneca o bidón (cuñete) antes de abrirla.

8.2 SISTEMAS HIDRAULICOS

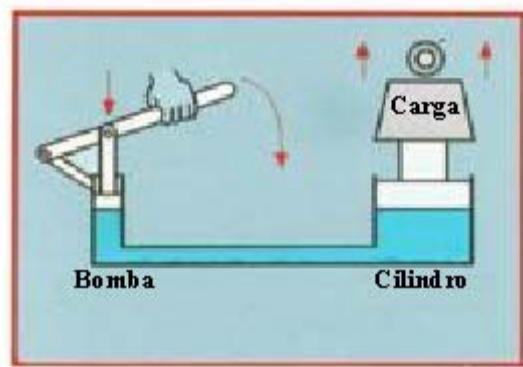
Los sistemas hidráulicos son empleados a bordo de las Unidades a Flote de la Armada Nacional para transmisión y control de potencia.

La hidráulica es el uso de líquidos para la transmisión de energía. En un sistema hidráulico se aplica una presión a un fluido, la cual es transmitida a través del mismo para efectuar trabajos.

Los sistemas hidráulicos incluyen sistemas para controlar la velocidad, la dirección y la fuerza transmitida. Los componentes de un sistema hidráulico son el fluido, la bomba, el motor, válvulas, filtros, manómetros y el depósito.

El funcionamiento básico de un sistema hidráulico está ilustrado en el diagrama que muestra un gato hidráulico simple (Figura 36). El pistón de una pequeña bomba ejerce presión sobre un líquido, la que es transmitida a través del mismo a otro cilindro, en el cual un pistón más grande tiene una carga.

Figura 36. Gato hidráulico simple.



A medida que la fuerza en el pistón pequeño aumente, la presión se incrementa hasta volverse mayor que la de la carga.

Los fluidos usados deben ser capaces de transmitir presión en un amplio rango de temperaturas. La mayoría de los fluidos hidráulicos empleados en la actualidad, están basados en aceites minerales. Estos aceites tienen la capacidad de transmitir presiones, a amplios rangos de temperatura, lubrican las partes móviles del sistema hidráulico y los protegen de la corrosión.

Los circuitos hidráulicos disponen de válvulas para regular la presión, el volumen de flujo y la dirección del mismo. Lo anterior facilita la cantidad de carga, velocidad y dirección del movimiento.

8.2.1 Funciones de los fluidos hidráulicos. Los líquidos empleados como fluidos hidráulicos deben cumplir las siguientes funciones:

- Transmisión de potencia

Es la principal función que cumplen. La transmisión de fuerza hidráulica requiere de un fluido que resista la compresión y que fluya rápidamente en el sistema hidráulico.

- Lubricación

Los equipos empleados en los sistemas hidráulicos son de alta presión y sus componentes móviles deben permanecer lubricados para minimizar la fricción y evitar el desgaste.

- Protección

El fluido debe proteger las partes internas del sistema de la corrosión, oxidación o herrumbre a las partes internas del sistema.

- Sellante

El fluido hidráulico debe ser viscoso para facilitar un adecuado sello entre las partes móviles de la bombas, válvulas, motores, retenedores, etc.

- Enfriamiento

El fluido empleado debe tener capacidad suficiente para disipar o transferir el calor generado durante la operación del sistema.

- Filtrabilidad

Los fluidos hidráulicos deben ser estables a las condiciones de calor y oxidación. Así mismo, deben ser resistentes a la degradación sin formar depósitos y precipitados. La filtrabilidad del fluido debe facilitarse para poder remover cualquier impureza o sedimento.

8.2.2 Propiedades básicas de los fluidos hidráulicos. Para cumplir correctamente las funciones de transmisión y control de potencia, los fluidos hidráulicos deben tener las siguientes características:

- Compresibilidad

Esta característica es la medida de reducción de volumen cuando se le aplica una presión al fluido. La compresibilidad de un fluido hidráulico debe ser **baja** para que la presión sea transmitida en forma instantánea y eficiente. Un fluido es más difícil de comprimir cuando aumentan la presión y la temperatura.

- Propiedad anti-espuma y de liberación de aire

Un aceite mineral puede comprimirse más a medida que burbujas de aire queden atrapadas en él, las cuales son debidas a fugas del sistema

hidráulico. Este aire atrapado afecta el volumen del fluido, ocasionando movimiento irregular y despacioso, lo que al final genera sobrecalentamiento.

Al regresar el fluido hidráulico con aire al depósito, las burbujas tienden a subir a la superficie produciendo espuma. La espuma dentro del circuito hidráulico puede afectar la eficiencia y la lubricación de los componentes; de igual forma, se presentan escapes por los venteos del depósito.

El aire atrapado en el fluido hidráulico también puede causar cavitación, la que se produce cuando se forman espacios de aire o vapor. La cavitación puede ocasionar la destrucción de las capas de aceite y por consiguiente, generar desgaste.

Para evitar los anteriores problemas, se deben emplear fluidos hidráulicos con propiedades anti-espuma y de liberación de aire. En algunas ocasiones se puede emplear aditivos anti-espuma.

- Viscosidad

Desde el punto de vista de su capacidad para lubricar, la propiedad más importante de un aceite hidráulico es la viscosidad. El aceite debe ser lo suficientemente viscoso para lubricar la bomba y demás componentes del sistema, mantener un sello efectivo y minimizar los escapes o fugas. De igual forma, la viscosidad no puede ser tan alta, ya que la fricción del fluido impediría la circulación del mismo a través del circuito.

- Índice de viscosidad

Es la medida del cambio de viscosidad con la temperatura. El índice de viscosidad de los aceites hidráulicos debe ser suficientemente alto, para garantizar que funcione efectivamente en todos los rangos de temperatura de operación. La mayoría de los fluidos hidráulicos

empleados en los equipos de las Unidades a flote de la Armada Nacional, tienen valores de índice de viscosidad cercanos a 100.

Otras propiedades que deben cumplir los fluidos hidráulicos son:

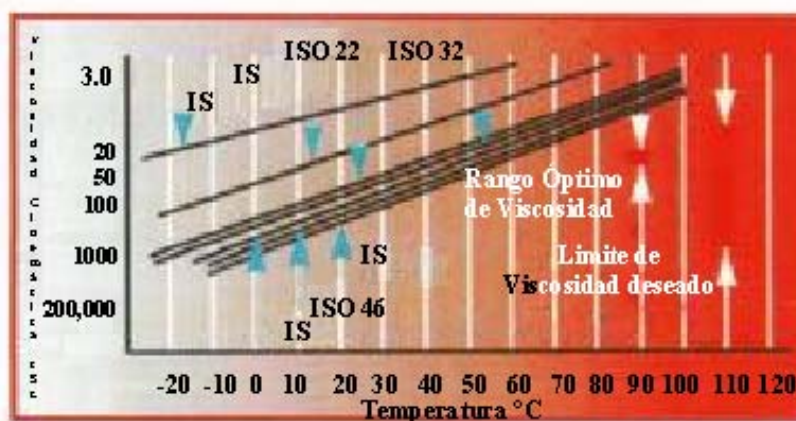
- Anti-desgaste.
- Antiatascamiento (Anti stick – slip).
- Demulsibilidad.
- Estabilidad térmica.
- Resistencia a la oxidación.
- Anticorrosión.
- Limpieza.
- Filtrabilidad.

8.2.3 Selección del fluido hidráulico. Para la correcta selección de los fluidos hidráulicos, se deben tener en cuenta tres factores:

- Naturaleza del equipo o sistema
Los fabricantes de equipos, máquinas o sistemas recomiendan aceites o fluidos con viscosidad determinada para las bombas y válvulas, las cuales tienen unas tolerancias muy finas o mínimas. La mayoría de los sistemas hidráulicos emplean bombas que requieren aceites con grado de viscosidad ISO entre 5 y 100, aunque los más empleados están entre 32 y 46.
- Ambiente de trabajo u operación de los equipos
Los equipos que operan en amplios rango de temperatura requieren aceites con altos índices de viscosidad. Si los equipos deben operar en ambientes delicados como lagos, ríos, bosques, etc, entonces se deben emplear fluidos hidráulicos basados en aceites vegetales, los cuales son altamente biodegradables.
- Requisito de salud y seguridad

Estos dos aspectos, relacionados con el bienestar físico de los operarios de los sistemas hidráulicos, son igualmente importantes a los inicialmente referidos. Los gases y el contacto directo con los aceites, pueden generar patologías graves si la exposición es prolongada. En la Figura 37, se presenta una guía para facilitar la selección del aceite con el grado apropiado ISO, teniendo en cuenta la viscosidad y temperatura de operación.

Figura 37. Selección de viscosidad para fluidos hidráulicos.



8.2.4 Clasificación de aceites hidráulicos minerales. Existen cuatro clasificaciones:

- HH. Aceites minerales sin aditivos que se emplean en sistemas no críticos.
- HL. Aceites minerales que contienen antioxidantes. Tienen una vida útil más larga y presentan mayor protección antioxidante que los HH. Se emplean en sistemas que no requieren desempeño antidesgaste.
- HM. Parecidos a los HL pero contienen aditivos antidesgaste. Tienen una vida útil más prolongada y protección antidesgaste.

- HV. Aceites con alto índice de viscosidad. Se emplean en casos de temperaturas extremas o cuando es necesario que la viscosidad del fluido cambie lo menos posible.

8.2.5 Aplicación. Los equipos o sistemas que operan con sistemas hidráulicos en las Unidades de la Armada Nacional, son:

- Hélices de paso variable.
- Servomotor o sistema de gobierno (timón).
- Aletas estabilizadoras.
- Bombas de pistón para achique de sentinas.
- Requisito de salud y seguridad
- Requisito de salud y seguridad
- Grúas.
- Winches.
- Sistemas de armas.

8.2.6 Mantenimiento

Para los aceites hidráulicos, al igual que para los aceites lubricantes, se deben tener en cuenta algunas reglas, ya que aunado a los altos costos está el tiempo y la disponibilidad del personal para efectuar los cambios no programados. Entre estas reglas están:

- Almacenar a cubierto y en forma horizontal las canecas. Si se dispone de tanques o depósitos se deben vaciar lo más pronto posible.
- Antes de abrir las canecas, se debe limpiar la parte superior y alrededor de la tapa y tapón para evitar la entrada de suciedades, agua o cualquier otro contaminante.
- Emplear solamente mangueras, recipientes y trapos limpios durante la maniobra de trasiego o transferencia a los depósitos.

Durante la operación o funcionamiento del sistema hidráulico se deben tener en cuenta las siguientes observaciones:

- Impedir la contaminación, manteniendo el sistema limpio y libre de escape.
- Efectuar la limpieza y/o cambio de los filtros y el respectivo fluido, en las frecuencias establecidas por el fabricante y contenidas en el programa de mantenimiento.
- Realizar los respectivos análisis previos y de laboratorio especializado para detectar desgaste u otras anomalías.
- Mantener el tanque o depósito en el nivel establecido, para evitar la condensación por humedad y la superficie libre amplia, lo que generaría el movimiento de los sedimentos.
- Corregir en forma inmediata los escapes y los cambios por contaminación.
- En caso de presentarse una contaminación con agua de mar o cualquier otro fluido se deben seguir los procedimientos establecidos por el fabricante para el lavado interno del sistema y sus componentes.

9. CONCLUSIONES

El Programa de Lubricación y Engrase propuesto le brinda a la Armada Nacional la oportunidad de contar con un instrumento estandarizado y de fácil manejo.

Se disminuyen las reparaciones y paradas imprevistas, con lo que se logra eficiencia en el cumplimiento de la misión y mejor aprovechamiento de los recursos asignados.

Correcta programación de mantenimientos predictivos que disminuyen los correctivos.

Se evalúa en forma oportuna y eficaz el desempeño y los resultados de las Unidades.

Se dispone de los grados de criticidad de los diferentes equipos y sistemas instalados en las Unidades a flote.

A través de este programa se establecen las diferentes actividades y frecuencias de lubricación y engrase de las Unidades a flote.

Con la implementación del presente programa, por parte del Alto Mando Naval, se lograría:

- Aumentar la operatividad, disponibilidad y vida útil de las Unidades.
- Obtener seguridad para las tripulaciones.
- Minimizar los riesgos ocupacionales.
- Ejecutar los mantenimientos acuerdo programación.
- Disminuir paradas programadas.
- Duplicar horas de operación o empleo de los aceites.
- Reducir la cantidad de aceites usados que deben ser desechados.
- Ahorros cercanos a los \$ 1.500 millones de pesos anuales.

Se estable un programa de capacitación y entrenamiento teórico-práctico del personal que dirige y efectúa los diferentes planes de lubricación y engrase.

Así mismo, contará cada una de las Unidades a flote de la Armada Nacional con un texto guía de consulta permanente.

BIBLIOGRAFIA

ALBARRACIN AGUILLON, Pedro. Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz. Segunda Edición. Bogotá. 1999.

BAUMEISTER, Theodore y MARKS, Lionel S. Manual del Ingeniero Mecánico de Marks. Tomos I y II. Editorial Hispano Americana. México. 1979.

BONILLA DE LA CORTE, Antonio. Construcción Naval y Servicios. Madrid. Imprime: Hijos de E: Minuesa, S. L. 1984.

-----Teoría del Buque. Cádiz. Imprime: Hijos de E: Minuesa, S. L. Tercera Edición. 1979.

BOTERO BOTERO, Ernesto. Mantenimiento Preventivo. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bogotá. 2003.

EDMUNDO VERA, Cesar. Salud ocupacional. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bogotá. 2003.

FALCONI CAMPOS., Vicente. Gerenciamiento de la Rutina del Trabajo cotidiano. CIP-Brasil. Sindicato Nacional de Editores de Livros, RJ. 1994

GOMEZ CUBILLOS, Rafael A. Administración y Estilos Gerenciales. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bogotá. 2003.

GONZALEZ BOHORQUEZ, Carlos Ramón. Evaluación de la Investigación. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bogotá. 2003.

-----Principios de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bogotá. 2003.

GUILLMER, Thomas C.. Modern Ship Desing. Annapolis, Maryland. Segunda Edición. 1977.

INSTITUTO COLOMBIANA DE NORMAS TECNICAS. Normas Colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Quinta actualización. Bogotá D. C. ICONTEC, 2004. NTC 1486.

MANUAL ADMINISTRATIVO DE MATRIAL NAVAL (MANAT). Armada Nacional de Colombia. 2004

PLAN ESTRATEGICO NAVAL (PEN). Armada Nacional de Colombia. 2004.

RICARDO CHARTUNY, David; RIOMAÑA GONZALEZ, Helmer y ROJAS A. Lyda Stella. Trabajo de Grado. Evaluación Sistema de vigilancia epidemiológica para trabajadores expuestos al polvo de sílice en la sección Varadero del Astillero Naval. Cartagena-Colombia- 2001.

TAMAYO DOMINGUEZ, Carlos Mario. Organizaciones del Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bogotá. 2003.

ANEXOS



FUERZAS MILITARES DE COLOMBIA



ARMADA NACIONAL

PROGRAMA DE LUBRICACION Y ENGRASE DE LAS UNIDADES A FLOTE DE LA ARMADA NACIONAL

NOMBRE UNIDAD	EQUIPO O SISTEMA	NOMBRE ACEITE	TIPO ACEITE	SISTEMA LUBRICACION	CAPACIDAD DEPOSITO (lts)	FRECUENCIA CAMBIO (horas)	GRASAS
ARC "GLORIA"	• Propulsor	Mobilgard ADL 30	Lub	Circulación	400	500	Análisis de aceite
		-	-	-	-	2000	
	• Engranaje reductor	Mobilgard ADL 30	Lub	Circulación	300	2000	
		-	-	-	-	4000	Análisis de aceite
	• Motogeneradores	Mobil Delvac MX 15W40	Lub	Circulación	45	500	Mobilux EP2
		-	-	-	-	2000	Análisis de aceite
	• Hélice paso variable	Mobil DTE 16M	Hidr	Circulación	500	2000	Análisis de aceite
		-	-	-	-	2000	
	• Cojinetes soporte	Mobilgear 630	Lub	Anillo	04	2000	
	• Sistema de gobierno (timón)	Mobil DTE 26	Hidr	Circulación	20	1000	
		Mobilgear 630	Lub	Inmersión	05	250	
	• Purificadores	Mobilgear 630	Lub	Inmersión	40	2000	
	• Cabrestantes y winches	Mobil RARUS 427	Lub	Inmersión	05	150	
	• Compresores aire	Mobil GARGOYLE 300	Lub	Inmersión	15	250	
	• Compresores A/AI-Frigoríficos	-	-	-	-	-	Mobilux EP2
	• Planta de aguas negras	-	-	-	-	-	Aeroshell Grease 5
	• Antenas radares	-	-	-	-	-	

	Válvulas, remotos y equipos en general						Mobilux EP2
ARC "CALDAS"	- Propulsores - Engranajes reductores	Mobilgard 412	Lub	Circulación	1000	500	Análisis de aceite
		-	-	-	-	2000	
		Mobilgear 627-	Lub	Circulación	800	5000	Análisis aceite
		-	-	-	-	3000	
	- Cojinetes soporte - Retén radial	Mobilgear 630	Lub	Anillo	30	2000	Shellgrease 16
		-	-	-	-	Trimestral	Shellgrease 16

PROGRAMA DE LUBRICACION Y ENGRASE DE LAS UNIDADES A FLOTE DE LA ARMADA NACIONAL

Continuación							
NOMBRE UNIDAD	EQUIPO O SISTEMA	NOMBRE ACEITE	TIPO ACEITE	SISTEMA LUBRICACION	CAPACIDAD DEPOSITO (lts)	FRECUENCIA CAMBIO (horas)	GRASAS
ARC "MARIO VILLEGAS" Cont.	- Sistemas de armas - Antenas radares	-	-	-	-	-	Mobilux EP3
		-	-	-	-	-	Aeroshell grease 5
	- Motor fuera de borda - Transmisión	Mobil Outboard Super 2	Lub	Mezcla 50:1	-	-	Mobilux EP2
	Válvulas, remotos y equipos en general	Mobilube GX90	Lub	Salpique	-	-	
		-	-	-	-	-	

Anexo “E”

Rangos de viscosidad (cSt).

APLICACIÓN	VALOR VISCOSIDAD
- Aceite para motor	10 – 50
- Aceite para turbina	10 - 50
- Aceite para compresores	10 - 50
- Aceites sistemas hidráulicos	20 - 100
- Aceites cojinetes de bolas	10 - 300
- Aceites cojinetes de rodillos	20 - 1500
- Aceite engranaje reductor	15 - 1500

Fuente Shell de Colombia

Anexo “F”

Análisis de laboratorio.

MUESTRA ACEITE MOTOR	MUESTRA ACEITE ENGRANAJE REDUCTOR
- Viscosidad a 100°C	- Viscosidad a 40°C
- Contenido de combustible	- Contenido de agua
- Contenido de agua	- TAN
- TBN y TAN	- Metales: Fe, Cu, Si y Sn
- Metales: Fe, Cu, Pb, Cr, Al, Si y Sn	- Infrarrojo: oxidación
- Infrarrojo: oxidación, hollín, nitración y sulfatación	

Fuente: Shell de Colombia y ExxonMobil

Anexo “G”

Parámetros de evaluación y sus variaciones.

CARACTERISTICAS O PARAMETROS	VARIACIONES	
- Color	Cambio de color: - Acción eficaz del dispersante - Oxidación - Contaminación	
- Densidad	Poco significativa	
- Viscosidad cinemática (100 °C)	DISMINUCION	AUMENTO
	- Dilución combustible - Degradación aditivos mejoradores del IV - Emulsión con agua.	- Oxidación del aceite - Contaminantes
- Puntos de inflamación	DISMINUCION	AUMENTO
	- Dilución combustible	- Vaporización de fracciones ligeras por altas temperaturas
- Acidez (número de neutralización)	- Oxidación del aceite - Contaminación de productos de degradación	
- Cenizas	- Productos de desgaste del equipo - Polvo de la atmósfera - Plomo tetraetilo del combustible	
- Residuos de carbón	- Productos de desgaste del equipo - Sales de combustión del plomo tetraetilo - Impurezas atmosféricas	
- Contenido de agua	- Fugas en sistema de refrigeración - Condensación vapor de agua de la combustión - Humedad del medio ambiente	
- Dilución por combustible	- Desajustes en calibración - Rotura empaques, anillos o sellos - Contaminación por mal manejo de aceites	

Fuente: Shell de Colombia, ExxonMobil y ChevronTexaco.

Anexo “H”

Presencia de metales en los aceites.

METAL	FUENTE
Calcio Magnesio Sodio Zinc Fósforo Bario Boro	Aditivos del lubricante.
Plomo Hierro Aluminio Niquel	Desgaste del motor.
Sodio Silicio	Fugas de refrigerante, suciedades, arena y aditivos de lubricante.
Cobre	Desgaste de cojinetes y aditivos del lubricante.
Cromo	Desgaste de anillo, fugas de refrigerante.

Fuente: Shell de Colombia

Anexo “I”

Metales de desgaste en los aceites.

ELEMENTO	FUENTE
Hierro	Cilindros, anillos de pistón, piezas de válvulas, herrumbre.
Cromo	Anillos de pistón, refrigerante.
Aluminio	Pistones.
Plomo	Cojinetes.
Cobre	Cojinetes, bujes, aditivos.
Plata	Bujes del pasador del pistón (motores diesel ferroviarios).
Estaño	Cojinetes.

Fuente: Shell de Colombia

Anexo “M”

Motores diesel como fuente de contaminación y sus efectos.

CONTAMINANTE	EFFECTO GLOBAL	EFFECTO LOCAL
NO _x SO _x	Lluvia ácida	Humo-niebla Salud
HC CO CO ₂	Capa de ozono Efecto invernadero	Humo-niebla Efecto invernadero Salud
Partículas	Imperceptible	Visibilidad Salud
Metales pesados y elementos de transición	Contaminación recursos y fuentes acuíferas	Salud Agroindustria

Fuente Shell de Colombia y Programa Salud Ocupacional Astillero Naval COTECMAR

Anexo “N”

Toxicidad de aceites

LUBRICANTE	TOXICIDAD SEGUN WHC
• Aceites vegetales.	0
• Aceites sintéticos (diésteres y poliésteres).	0 0-1
• Aceites sintéticos (polialfaolefinas).	1-2
• Aceites sintéticos (polialkilenglicol).	2
• Aceites minerales.	

Fuente: Shell de Colombia e Ing. Pedro Albarracín Aguillón

Anexo “O”

Clasificación ASTM y consistencia NLGI de las grasas.

PENETRACION ASTM A 25°C	CONSISTENCIA NLGI	GRADO DUREZA	APLICACION
445 – 475	000	Muy fluida	Engranajes
400 – 430	00	Fluida	Engranajes
355 – 385	0	Semifluida	Rodamientos. Sistema centralizado
310 – 340	1	Muy blanda	Rodamientos. Sistema centralizado
265 – 295	2	Blanda	Rodamientos
220 – 250	3	Media	Rodamientos
175 – 205	4	Dura	Cojinetes lisos. Grasa en bloque
130 – 160	5	Muy dura	Cojinetes lisos. Grasa en bloque
85 – 115	6	Durísima	Cojinetes lisos. Grasa en bloque

Fuente: Shell de Colombia e Ing. Pedro Albarracín Aguillón.

Anexo “P”

Características de las grasas

CARACTERISTICAS	SODIO	LITIO	CALCIO	ALUMINIO
Punto de goteo (°C)	120/180	180/200	100	100
Textura	Lisa – Fibrosa	Lisa	Lisa	Lisa
Resistencia al calor	Buena	Muy buena	Mediana	Mediana
Resistencia a esfuerzos mecánicos	Buena	Muy buena	Mediana	Mediana
Resistencia al agua	Poca	Buena	Buena	Buena
Resistencia a bajas temperaturas	Mediana	Muy buena	Mala	Mediana

Fuente: Shell de Colombia y ExxonMobil.

