

Escuela Superior Politécnica del Litoral

FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCION

"Estudio y Análisis del Desgaste en Motores de Cómbustión Interna a Diesel"

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Pesentada por:

KARL CASTILLO MARTIN

Guayaquil - Ecuador

Año - 1998

ESPOL
1958
ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ESCALLOS"
F.I.M.C.P.

AGRADECIMIENTO

ING. FREDDY CEVALLOS Director de tesis, por su ayuda y colaboración para la realización de este trabajo

DEDICATORIA

ESPOL
1958
ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
F.I.M.C.P.

A DIOS

A MI HIJO

A MIS PADRES

A MI FAMILIA

A MIS AMIGOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

ING. EDUARDO RIVADENEIRA

DECANO DE LA FIM

ING. FREDDY CEVALLOS B.

DIRECTOR DE TESIS

ING. RODOLFO PAZ

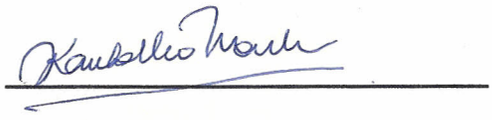
VOCAL

ING. MARCOS TAPIA

VOCAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"



KARL CASTILLO MARTIN

ESPOL
1958
ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
F.I.M.C.P.

RESUMEN

El presente proyecto establece un estudio y análisis del desgaste de las piezas en motores de combustión interna a diesel. Se ha considerado trabajar con motores de 4 tiempos, 6 cilindros en línea debido a la facilidad de contar con una base completa de datos estadísticos del desgaste generado en motores de este tipo desde el inicio de su funcionamiento. Esta información con que se cuenta, será utilizada para poder solucionar el problema de desgaste que se tiene en la mayoría de equipos, en los cuales no se puede predecir el tiempo de vida útil que tendrá. El proyecto abarca el estudio de los aceites lubricantes existentes, clasificación, propiedades, viscosidad, estándares de calidad, origen, procedencia, aditivos que se añaden de acuerdo a las condiciones de operación. Con todos estos antecedentes se puede tratar de determinar el origen y efectos del desgaste, así como también los depósitos en el motor.

En el desarrollo de este proyecto se enfatiza claramente el cálculo tribológico del desgaste de las piezas, que se refiere al contacto de las mismas a través de una fina película de lubricante. Este estudio abarca un área muy extensa; por consiguiente me dedicaré exclusivamente a determinar el desgaste de las chapas de biela y de bancada, que son el punto crítico en el funcionamiento óptimo de un motor. Para trabajar el desgaste de las chapas, nos servimos de algunos modelos matemáticos muy similares a los utilizados por los autores de algunos libros especificados en la

bibliografía, donde claramente podemos obtener ecuaciones aplicables a nuestro medio.

Una de los puntos importantes que se quiere dar a conocer, es la implementación del programa de análisis de lubricante y los resultados alentadores que puede llegar a brindar si se tiene en cuenta los costos de mantenimiento por paras periódicas que se tiene si se trabaja con equipos, defectos en operaciones de montaje y desmontaje, aumento de tiempo medio entre cada revisión, aumento de hasta un 60% de horas trabajadas hasta efectuar una reparación general, entre otros.

Este proyecto, en su desarrollo, incursiona en varios aspectos como lo son:

Lubricación en motores a diesel.

Cálculo del desgaste en los motores a través de análisis tribológicos.

Análisis de lubricantes.

Las recomendaciones para optimo funcionamiento de motores.

Predecir el desgaste en un motor de combustión interna no es fácil, pero resulta de gran utilidad si se trabaja con esta clase de equipos.

INDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

NOMENCLATURA

INTRODUCCION

1. SISTEMA DE LUBRICACIÓN EN MOTORES A DIESEL 16

1.1. Importancia del sistema de lubricación. 16

1.2. Funcionamiento y componentes del sistema de lubricación. 20

1.3. Tipos de Lubricación 26

1.4. Esquema general del sistema de lubricación. 30

1.5. Lubricantes. 35

2. TRIBOLOGIA 49

2.1. Introducción 49

2.2. Teoría de la Fricción y desgaste. 52

2.3. Métodos de investigación y cálculo del desgaste 58

2.4. Características generales del desgaste relativo 60

3. CALCULO Y ANALISIS TRIBOLOGICO 65

3.1. Cálculo de desgaste 65

3.1.1. Determinación de desgaste 65

3.1.2. Evaluación de datos estadísticos 76

3.1.3. Comparación de resultados 77

3.2. Condiciones de diseño 80

3.2.1. Cálculo de vida útil 80

3.3. Determinación de parámetros de lubricación 84

4. ANALISIS DE LUBRICANTES 88

4.1. Importancia 88

4.2. Propiedades de los lubricantes (limites de tolerancia) 89

4.3. Efectos de los depósitos en los motores 98

4.3.1. Tipos de depósitos 98

4.3.2. Desgaste y formación de depósito en motores a diesel 99

4.3.3. Identificación de fallas en el sistema de lubricación 100

4.4. Determinación de origen de fallas a través de Análisis de lubricantes 102

5. RECOMENDACIONES PARA UN OPTIMO MANTENIMIENTO Y UN CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR. 115

5.1. Condiciones de operación 115

5.2. Mantenimiento de los diferentes sistemas. 120

6. ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE ACEITES LUBRICANTES 126

7. RESUMEN Y CONCLUSIONES 129

8. VOCABULARIO 130

9. BIBLIOGRAFIA 132

10. ANEXOS 134

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Circuito de Lubricación, motor aspiración natural	31
Figura 1.2	Circuito de Lubricación, motor turboalimentado	32
Figura 1.3	Bomba de aceite de engranajes	33
Figura 1.4	Intercambiador de calor y filtro de aceite	34
Figura 2.1	Fricción fluida	54
Figura 2.2	Perfil de presiones	54
Figura 2.3	Parámetro de aspereza y rugosidad	63
Figura 3.1	Dimensiones de Chapa y Muñón	65
Figura 3.2	Abatimiento de una Chapa	66
Figura 3.3	Base de Datos Estadística de Desgaste	72
Figura 3.4	Análisis de Desgaste Ideal	73
Figura 3.5	Análisis Comparativo General	75
Figura 11.1	Espesor mínimo de película	147
Figura 11.2	Posición del espesor mínimo de película	148
Figura 11.3	Coeficiente de fricción	149
Figura 11.4	Variable de flujo	150
Figura 11.5	Relación de flujo	151
Figura 11.6	Relación de presión máxima de película	152
Figura 11.7	Posición terminal de película	153
Figura 11.8	Gráfica para calcular K_2	154
Figura 11.9	Gráfica para calcular K_{tv}	155
Figura 11.10	Chapa desgastada	156
Figura 11.11	Cigueñal rayado	157
Figura 11.12	Faldón de pistón desgastado	158
Figura 11.13	Pistón rayado	159

ESPOL
1958
ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
F.I.M.C.P.

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla # 1	Tabla de materiales	136
Tabla # 2	Tabla de materiales	137
Tabla # 3	Tabla de materiales	138
Tabla # 3.1	Determinación del Desgaste Relativo	70
Tabla # 3.2	Bases de Datos General	71
Tabla # 3.3	Análisis Comparativo	74
Tabla # 3.4	Base de Datos de Equipos	79
Tabla # 3.5	Cálculo de Vida Util	83
Tabla # 4	Tabla de materiales	139
Tabla # 5	Tabla de materiales	140
Tabla # 6	Tabla de materiales	141
Tabla # 7	Parámetros de rugosidad	142
Tabla # 8	Relación de área de contacto	143
Tabla # 9	Parámetros de esfuerzo y fatiga	144
Tabla # 10	Tabla de aleaciones de chapas antifricción	144
Tabla # 11	Desgaste relativo de algunos elementos	145
Tabla # 12	Desgaste relativo en algunos países	145
Tabla # 13	Aleaciones de bronce	146

NOMENCLATURA

ρ	=	Densidad
α	=	Relación entre área real de contacto y área aparente de contacto
E	=	Módulo de elasticidad
ν	=	Módulo de Poisson
Δ	=	Parámetro de rugosidad de corteza
ϕ	=	Diámetro
γ_r	=	Constante en función del tipo d e lubricación y tipo de material
t_f	=	Parámetro curva de la fatiga según aumenta tiempo de funcionamiento
a	=	Longitud de la chapa
c	=	Holgura de lubricación
H_b	=	Altura de curva de onda
R_b	=	Radio de curvatura de onda

INTRODUCCION

El presente trabajo se refiere al estudio y análisis del desgaste de las piezas en motores de combustión interna a diesel. Se ha considerado trabajar con motores de 4 tiempos, 6 cilindros en línea debido a la facilidad de contar con una base muy completa de datos estadísticos del desgaste generado en motores de este tipo desde el inicio de su funcionamiento. Esta información se la obtuvo de una comercializadora de lubricantes muy conocida en el medio que se dedica a efectuar análisis de lubricantes.

El trabajo abarca el estudio de los aceites lubricantes existentes, clasificación, propiedades, viscosidad, estándares de calidad, origen, procedencia, aditivos que se añaden de acuerdo a las condiciones de operación. Con todos estos antecedentes se puede tratar de determinar el origen y efectos del desgaste así como también los depósitos en el motor.

Además, se introduce el uso del análisis de lubricantes como ventaja en el mantenimiento de equipos, ya que nos da una advertencia anticipada de los problemas que pueden surgir mientras el equipo está trabajando y los ya existentes antes de que éstos se tornen mas serios. Este programa nos genera ahorro de tiempo y dinero, evitando las reparaciones innecesarias, y permitiéndonos programar la reparación del equipo sin ponernos en apuros. No hay que olvidar que el análisis nos detalla el metal más desgastado, permitiéndonos ir directamente al componente que está

ESPOL 1958 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS" F.I.M.C.P.

sufriendo daños sin tener que armar y desarmar los componentes que no tienen problemas.

Con el deterioro del equipo en su normal funcionamiento, es muy posible entender que los lubricantes no son a la época en el cual se hallan los más óptimos y así será necesario reemplazarlos por unos más adecuados. En la mayor parte de los motores solo se utiliza eficazmente del 23 al 35% de la energía generada por la combustión del combustible en los cilindros, el resto se disipa en pérdidas termodinámicas y mecánicas entre las que se cuenta la fricción, de tal modo que en el par anillo - émbolo se tiene casi la mitad de estas pérdidas. La disminución del peso del émbolo, el uso de mejores materiales en los anillos y los cilindros, permiten reducir este valor en cerca del 25%.

En el caso de los motores de combustión interna, la fricción de los elementos, no solo genera desgaste sino que hace que se tengan pérdidas del orden de hasta el 6% de la potencia del motor. Para evitar la fricción en los motores de combustión interna, el aceite que se utilice debe tratar de adherirse a las piezas de modo que se forme una capa límite o película fluida que se regenere y desplace adecuadamente. Se supone que una buena lubricación debe mantener las dos piezas flotando separadamente por lo que se necesita tener una presión en la capa de aceite.

En el desarrollo de este trabajo se enfatiza claramente el cálculo tribológico del desgaste de las piezas, que se refiere al contacto de las mismas a través de una fina película de lubricante. Este estudio abarca un área muy extensa; por consiguiente me

dedicaré exclusivamente a determinar el desgaste de las chapas de biela y de bancada, que son el punto crítico en el funcionamiento óptimo de un motor.

Para trabajar el desgaste de las chapas, nos servimos de algunos modelos matemáticos muy similares a los utilizados por los autores de algunos libros especificados en la bibliografía, donde claramente podemos obtener ecuaciones aplicables a nuestro medio.

Con estos datos, generaremos un modelo para predecir el desgaste que se va a tener en un motor y los métodos a emplearse para que no exista un desgaste excesivo en las piezas.

1. SISTEMA DE LUBRICACIÓN EN MOTORES A DIESEL

1.1. Importancia del sistema de lubricación.

La importancia que posee el sistema de lubricación está basado en los beneficios que nos brinda con respecto al funcionamiento del motor y que en general son los siguientes:

Rápido encendido.- La facilidad del encendido del motor no depende solamente de la batería y la ignición (tipo de combustible, volatilidad y relación aire combustible), sino también de las propiedades para fluir del aceite de motor. Si el aceite es muy viscoso a temperatura de encendido, impone una carga adicional a las partes móviles que dificultan la rapidez y mantenimiento del encendido.

Lubricar y evitar el desgaste.- Una vez que la máquina se ha encendido, el aceite circula por las partes móviles para prevenir el contacto metal con metal. La capa de aceite en cojinetes y paredes de los cilindros es sensible al movimiento, presión y alimentación de aceite. Esta fina capa de aceite debe ser continuamente restablecida por un adecuado flujo y distribución del lubricante. Este es el tipo de lubricación hidrodinámica.

La viscosidad del aceite debe ser suficientemente baja a temperaturas de encendido tal que permita un rápido funcionamiento del motor, y a altas temperaturas la viscosidad debe ser suficientemente buena para asegurar una

que la requerida, puesto que aumentaría la fricción entre las partes en contacto. Cuando el aceite se empieza a contaminar, la viscosidad cambia, por la presencia de partículas de polvo, metal, óxidos y carbones aumenta, mientras que por la presencia de combustible disminuye.

Proteger contra la herrumbre y corrosión.- Bajo condiciones ideales, el combustible al quemarse forma dióxido de carbono y agua, sin embargo, generalmente el combustible no se quema en su totalidad dando lugar a la formación de compuestos químicos que se degradan y forman carbones y hollín, los cuales pasan a través de los anillos al depósito de aceite y se combinan con el agua formando lodos y barnices en partes críticas del motor. Estos lodos y barnices dificultan la distribución del aceite al obstruir los conductos por lo que pueden generar fallas en el motor.

El agua se genera como un producto de la combustión, pues por cada galón de combustible quemado en el motor, se forma agua, la cual casi en su totalidad escapa en forma de vapor por el escape, pero una cierta cantidad se condensa en las paredes de los cilindros y pasa a través de los anillos mezclándose con el aceite.

Mantener limpio el motor.- La formación de sedimentos se presenta 18la combinación de agua de la condensación, polvo, productos del deterioro del aceite y la combustión incompleta. Estos productos son muy pequeños inicialmente por lo que no pueden ser removidos por el filtro de aceite y no causan desgaste mientras se encuentren de tamaño mínimo.

La formación de sedimentos se agrava por el vapor de agua, el cual se condensa y llega al cigüeñal en operaciones con máquina fría, también se agrava la sedimentación por el funcionamiento con filtro s totalmente tapados, una mezcla no muy rica de aire - combustible, y fugas en la cámara de combustión. Los aditivos detergentes dispersantes son los que se encargan de mantener limpio al motor, como ya se explicó anteriormente.

Los barnices que se forman durante el funcionamiento del motor, reaccionan químicamente o se combinan con el oxígeno formando compuestos químicos complejos, los cuales continúan reaccionando y se van pegando a las paredes de los anillos de los pistones, cojinetes y válvulas.

Minimización de los depósitos de la combustión.- Durante el funcionamiento del motor una parte del aceite llega hasta el anillo superior del pistón para lubricar los anillos, y las paredes del cilindro. Este aceite está expuesto a altas temperaturas y flamas por lo que se quema, dejando carbones como residuos. Actualmente se producen aceites que se queman limpiamente sin dejar casi nada de residuos de carbono. Los aditivos detergentes y dispersantes mantienen los depósitos de carbón en los anillos de los pistones en un nivel muy bajo, minimizando la contaminación en el motor y manteniendo la presión adecuada en la cámara de combustión.

Enfriamiento de las partes del motor.- El cigüeñal, los rodamientos, el eje de levas, las levas, los engrane del distribuidor, los pistones y otros componentes en la parte baja del motor necesitan enfriamiento, pues tiene

temperaturas límites de trabajo que de ser excedidas pueden afectar gravemente en el funcionamiento del motor, por tal motivo a más del sistema de enfriamiento con que se cuenta en un motor, el aceite funciona como agente refrigerante que recoge el calor y lo lleva al cárter donde es enfriado por el aire. Para controlar el proceso de enfriamiento, grandes volúmenes de aceite son bombeados constantemente en los rodamientos y otras partes del motor. Si el suministro de aceite es interrumpido, estas partes se calientan rápidamente incrementando la fricción y la temperatura de combustión presentándose la falla de los rodamientos porque se funden sus partes metálicas.

Sellado de la cámara de combustión.- La superficie de los anillos del pistón y los cilindros no son completamente lisas, razón por la cual los anillos no pueden evitar el escape de presión a través de ellos hacia la parte inferior, provocando una reducción de la potencia y de la eficiencia. El aceite llena los valles y picos existentes y ayuda a llenar la presión provocada por la combustión.

Evitar la formación de espuma.-Algunas partes del motor al girar rápidamente y debido a la existencia de aire en el cárter, provocan la introducción del mismo dando origen a la formación de burbujas que pueden afectar negativamente la lubricación, pues normalmente alcanzan la superficie interna y causan desgaste, además de que al no ser buen conductor de calor

puede provocar un sobrecalentamiento del motor, desgastando las válvulas y rodamientos.

1.2. Funcionamiento y componentes del sistema de lubricación.

Cómo funciona el sistema de lubricación

Tener un claro conocimiento del sistema de lubricación en un motor, no es útil solo para comprender como la contaminación y degradación del aceite puede dañar los componentes del mismo, sino también nos permite comprender como la falta de aceite puede afectar su correcto funcionamiento.

Las fallas en la lubricación tienen relación ya sea con el flujo de aceite contaminado y sucio a través del motor, ó por la falta de lubricación de algún elemento.

Por complicada que pueda parecer cualquier máquina, básicamente se necesita lubricar tres tipos de elementos: cojinetes (axiales, de empuje, rodamientos, guías, levas y correderas), engranajes (rectos, helicoidales, sin fin corona) y la pareja cilindro - pistón.

Los sistemas de lubricación en los motores de combustión interna, sean de gasolina o diesel, difieren muy poco y los principios básicos son los mismos.

1. El aceite fluye desde el colector del cárter(sumidero), en el fondo del motor, hasta la bomba de aceite y .....

2. .....Después pasa al enfriador de aceite. Aquí el aceite es enfriado por el refrigerante del motor.
3. Después, el aceite va a través de los filtros de aceite, donde se le extraen la basura y los contaminantes.
4. Después, el aceite limpio se mueve hacia adentro del múltiple de aceite tomando dos direcciones diferentes:
    A. Hacia dentro del motor para lubricar los componentes tales como cojinetes, engranajes, pistones, camisas, válvulas, etc.
    B. Y una parte más pequeña fluye directamente al Turbocargador(motor a diesel).

Cuando se arranque el motor con el aceite frío o si están taponados el enfriador o el filtro, las válvulas de desviación aseguran un flujo constante de aceite a los pasajes del motor. Las válvulas de desviación con que cuenta el sistema de lubricación, tienen la función de proteger al sistema por si se restringe el flujo de aceite.

Componentes del sistema de lubricación

Los componentes del sistema de lubricación en un motor son:

Cárter o Colector de Aceite: La parte inferior del bloque de cilindros es la llamada caja de cigüeñal o cárter. El colector de aceite está empernado a la

caja del cigüeñal pero separado por una empaquetadura. El colector está fabricado de acero estampado y provisto de separadores para mantener el nivel de aceite suficiente aunque el vehículo esté desnivelado. Está también diseñado para que el aceite no salpique hacia adelante cuando el vehículo se detenga repentinamente asegurando que la bomba de aceite este alimentada constantemente. En la parte inferior existe un tapón de drenaje para desechar el aceite usado.

Filtro de Succión o Colador de Aceite: El filtro de succión fabricado de malla de alambre se halla ubicado en la admisión del aceite desde el cárter. Se encarga de proteger la bomba de partículas grandes que puedan impedir de alguna manera su funcionamiento. La malla del filtro de succión obstruida puede llegar a impedir la circulación del aceite a través del motor. El resultado de esta falla causará desgaste por efecto del trabajo del motor sin lubricante, pudiendo llegar a causar la destrucción definitiva de algunas piezas. Por este motivo algunos motores están equipados con mallas que se rompen en caso de estar demasiado obstruidas por impurezas de modo que se consiga una normalización del flujo de aceite, o están provistos de una válvula de desviación para que se mantenga el flujo. Sin embargo esta malla rota es solo una solución temporal que permite el paso de impurezas hacia el motor y por lo tanto afecta negativamente al mismo.

Bomba de aceite: La bomba lleva el aceite bajo presión desde el cárter hacia las partes móviles del motor. La bomba de aceite es impulsada algunas veces

ESPOL 1958 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"

por el cigüeñal, aunque también es impulsada por el árbol de levas, la correa de distribución, etc. Los dos tipos de bombas más utilizados son:

a.- Bombas de Engranajes: En este tipo de bomba un engranaje impulsor y un impulsado giran juntos e impulsan el aceite. Estos engranajes se encuentran en el interior del cuerpo de la bomba. Dentro de este tipo se tienen dos clases de bombas:

- Bomba de Aceite de Tipo Engranaje Interno: El engranaje impulsado de la bomba es impulsado por el engranaje impulsor que está conectado directamente al cigüeñal. El volumen del espacio formado por los dos engranajes varía conforme ellos van rotando. El aceite es impulsado hacia la bomba de aceite cuando el volumen aumenta y se descarga al disminuir el volumen. Este tipo de bomba es de diseño simple y muy confiable.
- Bomba de Aceite de tipo Engranaje Externo: Consiste de dos engranajes idénticos. El engranaje impulsor esta conectado al árbol de levas. Como no existe mucho espacio en el interior del cuerpo, más que las aperturas de entrada y salida de los pequeños espacios entre los engranajes y el cuerpo. El aceite es empujado hacia afuera del cuerpo cuando los engranajes rotan.

b) Bombas Rotativas.- Este tipo de bomba tiene un rotor impulsor y un rotor impulsado dentro del cuerpo de la bomba. Cuando gira el rotor impulsor hace que el rotor impulsado gire en la misma dirección, y puesto que el eje del rotor impulsor está excéntrico con respecto al eje del rotor impulsado, el espacio

entre los lóbulos del rotor varían con su rotación. El aceite es aspirado cuando este espacio aumenta y se descarga cuando se reduce.

Sistema Regulador de Presión de Aceite (Válvula de Alivio): Generalmente la bomba de aceite en un motor nuevo tiene capacidad para bombear una cantidad de aceite mucho mayor a la requerida, por lo que existe una válvula de alivio de presión en el cuerpo de la bomba, con el objeto de regular el flujo de aceite y mantener la presión dentro de los límites requeridos (menor a 4.0 Kg/cm^2), igual cosa sucede cuando el motor funciona a altas velocidades haciendo que la presión aumente excesivamente y ocasionado por lo tanto pérdidas de potencia y fugas de aceite. Una presión mayor al límite hace que la válvula de alivio se abra permitiendo que el exceso de aceite regrese al cárter.

Conforme las piezas del motor se desgastan, una mayor cantidad de aceite se hace necesario para mantener el ajuste entre las piezas y por lo tanto se necesita un mayor flujo desde el sistema de lubricación.

Filtro de aceite: Un filtro de aceite limpio y eficiente ayuda a mantener el motor en buen estado, debido a la eliminación de pequeñas partículas abrasivas que se hallan suspendidas en el aceite, y que otra manera causaría grandes desgastes en las áreas de fricción. El filtro usual en los motores contiene papel, o material de celulosas tratado químicamente, el cual retiene los sólidos y parte de la suciedad líquida. El filtro de aceite está provisto de

una válvula de alivio o desviación que permite el paso del aceite cuando el elemento del filtro se empieza a obstruir por las impurezas y la diferencia de presión entre los lados de succión y descarga del filtro alcanza un nivel predeterminado (aproximadamente 1 Kg/cm^2).

De este modo se evita que el motor trabaje sin lubricación aunque se acelera el desgaste debido a la presencia de impurezas en el aceite. El tipo más eficiente de separador, es una centrifugadora que agita en remolino el aceite a alta velocidad y separa las mezclas según su densidad

Orificio de Lubricación: Parte del aceite que lubrica el cojinete que se encuentra entre la biela y el pasador del cigüeñal, es salpicado desde el orificio de lubricación al interior del pistón para enfriarlo.

Anillo de Control de Lubricación: Este anillo forma la película de aceite necesaria para la lubricación del pistón y la pared del cilindro, recolectando también el aceite excedente evitando su entrada a la cámara de combustión.

Existen dos tipos de anillos de control de lubricación:

- Tipo Integral.- Está provisto de orificios de retorno de aceite situados equidistantemente. Así mismo la rama del pistón está provista de orificios de lubricación.

El exceso de aceite recolectado por el anillo de control de lubricación pasa a través de estos agujeros y retorna al interior del pistón.

- Tipo de Tres Piezas.- Consta de rieles laterales para recolectar el aceite excedente y de un expansor que fuerza los rieles laterales contra la pared del cilindro y ranura del aceite del pistón.

Holgura de Lubricación: Uno de los factores más importantes que afectan la lubricación en un motor, es el claro u holgura de lubricación pues se debe tener una cantidad de aceite suficiente para evitar el contacto directo de metal con metal entre los cojinetes y las partes rotativas del cigüeñal.

Esta holgura varía dependiendo del tipo de motor, pero generalmente se encuentra entre 0.02 y 0.06 mm. Así mismo este claro limita el flujo de aceite causando una presión de retorno que permite a la bomba desarrollar suficiente presión para proporcionar cantidades adecuadas de aceite a cada una de las partes del sistema.

1.3. Tipos de lubricación

La lubricación se define como "el principio de soportar una carga deslizante sobre una película que reduce la fricción", además la lubricación proporciona

una película suave o resbaladiza que separa dos piezas en movimiento para permitirles que se muevan suavemente una contra otra.

Se debe tener en cuenta que superficies que para el ojo humano parecerían ser completamente lisas y suaves, realmente están compuestas por incontables picos y valles.

Las partes altas o picos de ambas superficies se entrelazan y se quiebran, esto es lo que llamamos desgaste y depende de la cantidad de carga o peso aplicada. Cuando una capa lubricante es agregada e interpuesta, todos los puntos altos se mantienen separados impidiendo que se toquen entre sí, generando entonces la fricción fluida en lugar de la mucho más severa fricción seca ya que la lubricación reduce la fricción y el desgaste. En general, desde el punto de vista de la película de lubricante que se forma entre las superficies, existen tres tipos de lubricación:

a) PELÍCULA FLUIDA.- También llamada lubricación hidrodinámica, se produce por una alimentación de lubricante suficiente para mantener las dos superficies separadas una de otra debido al efecto de bombeo generado por el movimiento de las superficies de tal manera que se logra evitar el contacto metálico. Este es el tipo de lubricación que se tiene en los cojinetes planos de media y alta velocidad. La separación entre las superficies se logra por medio de:

- Cuña de aceite: En algunos casos cuando la velocidad relativa de las dos superficies es considerable, se produce una acción llamada cuña de aceite,

que actúa evitando el contacto entre piezas. La película fluida de lubricante se forma por la acción misma del movimiento de las superficies, por la cual la superficie que se mueva a mayor velocidad tiende a llevarse las capas de aceite que están en contacto con ella, mientras que las que están en la otra superficie tienden a permanecer junto a ella.

- Aceite a presión: Cuando el movimiento entre las dos superficies es muy lento y no existe la posibilidad de formación de cuñas de aceite, se hace necesario suministrar aceite a presión mediante una bomba, para mantener la película fluida y evitar el contacto metálico.

b) PELÍCULA DELGADA.- Llamada también lubricación límite, consiste en una película sumamente delgada (entre 0.0002 y 0.0005 mm) que se forma sobre las superficies que se están lubricando, y que puede estar formada por aceite, grasa, o algún lubricante sólido como el grafito, bisulfuro de molibdeno, etc. Generalmente se usa en aquellas partes en las cuales por razones de diseño o alguna otra causa no es posible suministrar una película fluida, por lo que siempre ocurre algo de contacto metálico. Es el tipo de lubricación que se halla en cojinetes grandes que trabajan a velocidades bajas y con cargas altas o de impacto.

C) LUBRICACIÓN ELASTOHIDRODINAMICA (EHL). - En este tipo se combina la deformación elástica de las superficies en movimiento con la acción hidrodinámica del lubricante para lograr una película fluida que separe y proteja las superficies. Las áreas de contacto entre las piezas son muy

pequeñas, lo que concentra las cargas produciendo deformaciones elásticas instantáneas en las superficies. El lubricante atrapado entre ellas es sometido a muy altas presiones que incrementan exponencialmente la viscosidad, durante el instante en que actúa, se incrementa también la capacidad de la película lubricante de soportar elevadas cargas logrando de este modo evitar el contacto metálico. Este tipo de lubricación se presenta en engranajes, rodamientos y sistema leva-seguidor.

Ahora si se toma en cuenta el tipo de maquinaria y el movimiento del mismo, la lubricación se divide en:

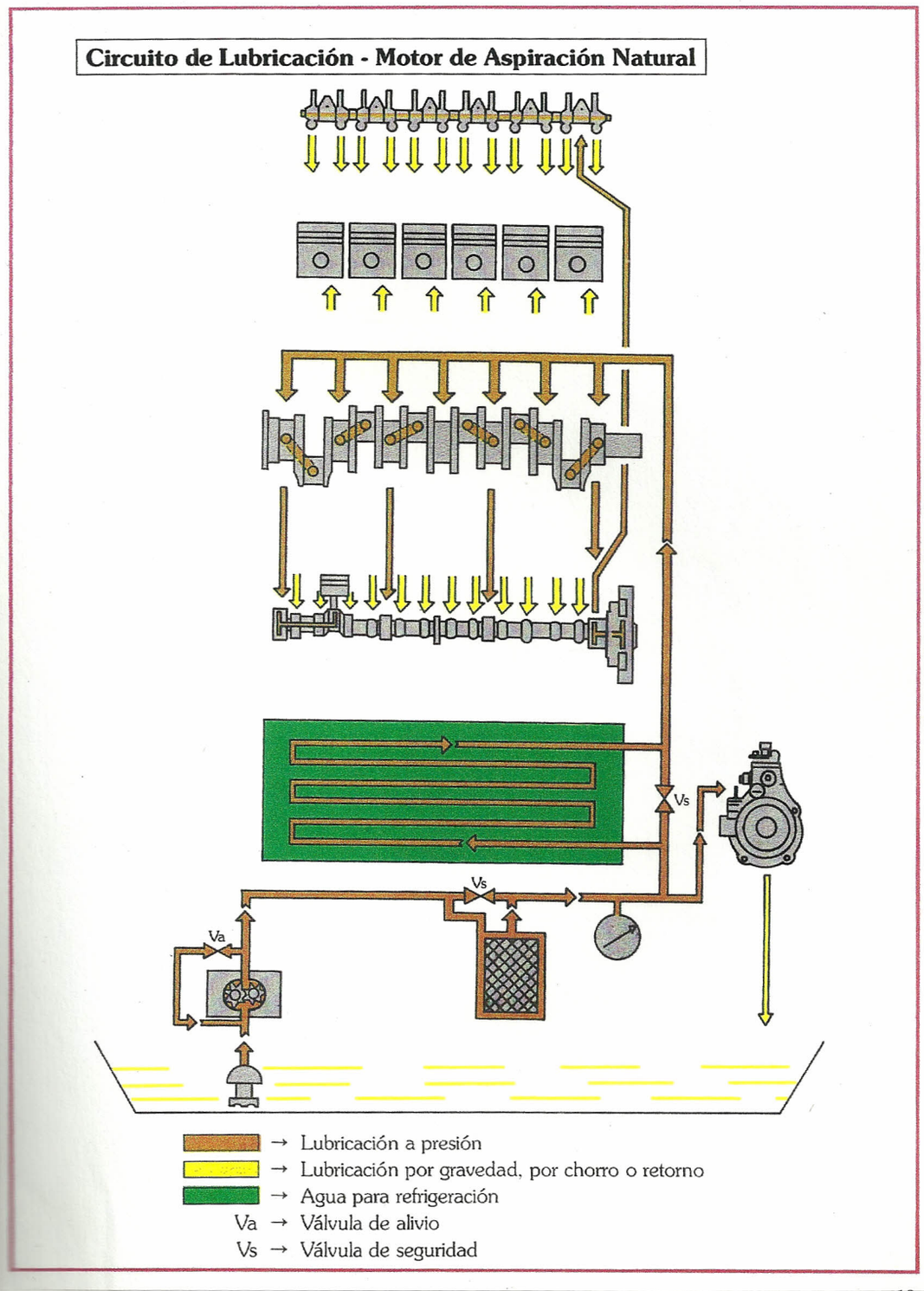
- Lubricación por Porciones: En este tipo se lubrica las piezas cada cierto tiempo.
- Lubricación Sumergida: En este caso las piezas se sumergen en aceite, por ejemplo en la caja de transmisión de los vehículos.
- Lubricación por Salpicaduras: En este caso el aceite se impulsa de manera que salpique a las piezas que se desea lubricar. A medida que se van lubricando las partes del motor, el aceite remueve las partículas de polvo y las producidas por la fricción, así como el calor.
- Lubricación por Presión: Para este caso se utiliza una bomba para impulsar el aceite a través de conductos que lubrican los elementos del motor. En este sistema se necesita además de la bomba, un colector, un indicador de nivel, filtros, válvulas de flujo y desahogo.

Los dos últimos tipos de lubricación son los que están presentes en los motores de combustión interna de hasta 80 HP, mientras que en los motores más grandes se hace necesaria una prelubricación a presión. La combinación de los dos últimos sistemas da origen al sistema de lubricación combinada, en donde algunas piezas o partes son lubricadas por presión, mientras que otros componentes son lubricados por salpicadura del aceite impulsado por las bielas en movimiento.

1.4. Esquema general del sistema de lubricación.

Ver pág. 20 - 21.

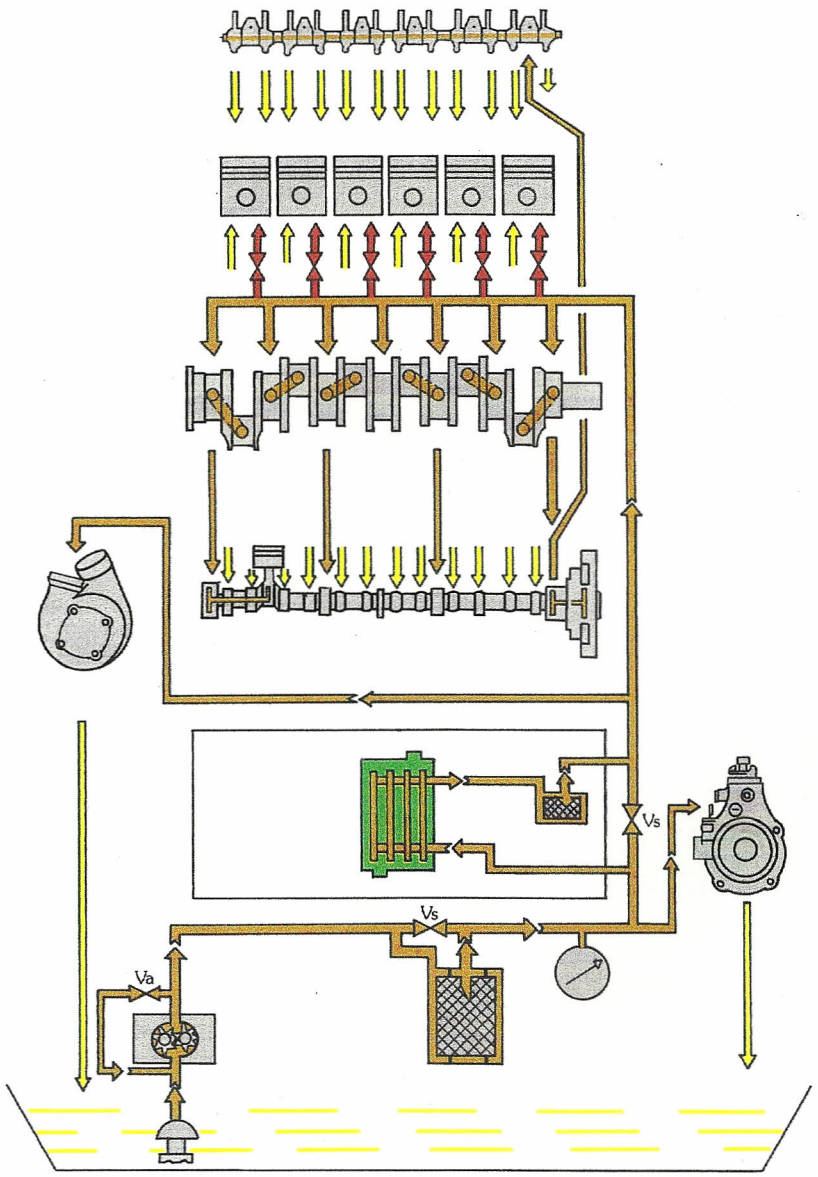
Fig. 1.1



ESPOL 1958

Fig. 1.2

Circuito de Lubricación - Motor Turboalimentado

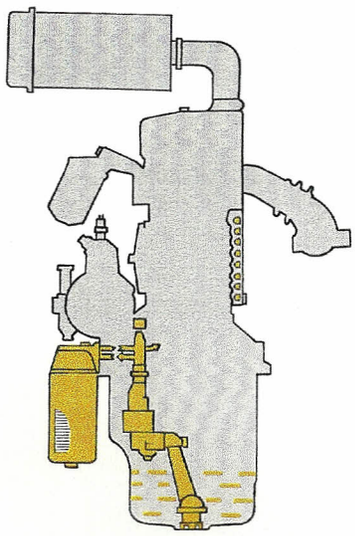


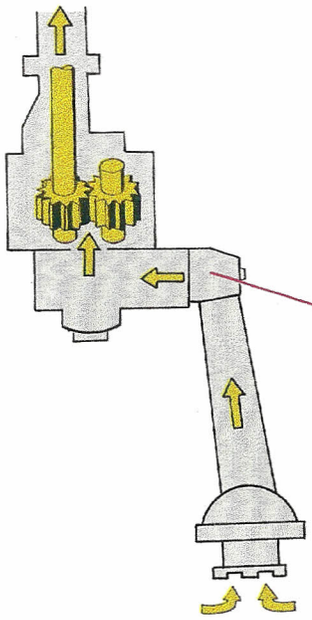
→ Lubricación a presión
→ Lubricación por gravedad, por chorro o retorno
→ Refrigeración del émbolo
→ Agua para refrigeración
Va → Válvula de alivio de presión
Vs → Válvula de seguridad

Fig. 1.3

— La fricción entre las partes móviles del motor, provoca desgaste y al mismo tiempo, genera calor.

El sistema de lubricación interpone una película de aceite lubricante entre las partes metálicas, reduciendo los efectos causados por la fricción.

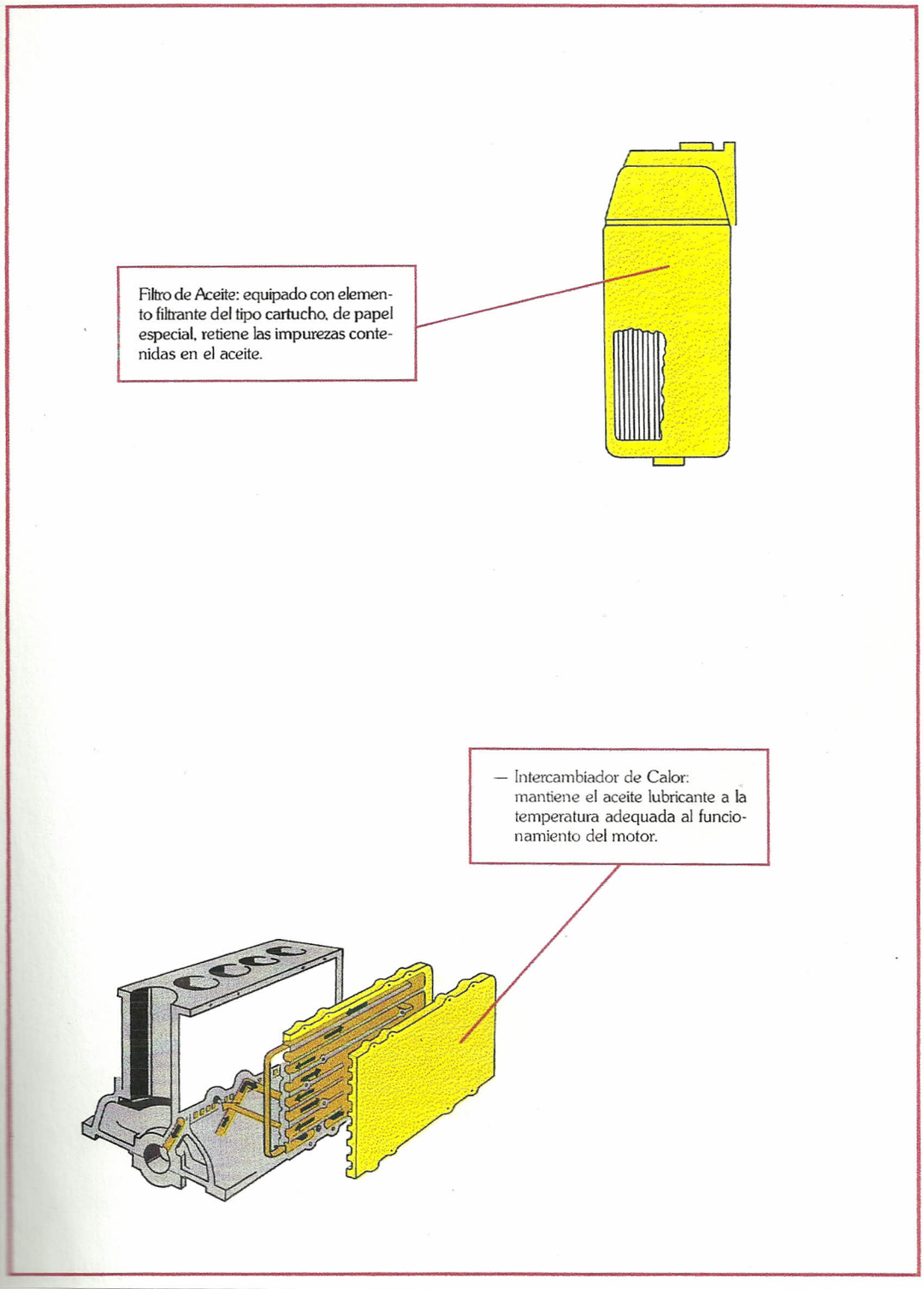




Bomba de Aceite de Engranajes: retira el aceite del cárter y lo envía a los diferentes puntos de lubricación del motor.

ESPOL 1958 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"

Fig. 1.4


Filtro de Aceite: equipado con elemento filtrante del tipo cartucho, de papel especial, retiene las impurezas contenidas en el aceite.
— Intercambiador de Calor: mantiene el aceite lubricante a la temperatura adequada al funcionamiento del motor.

1.5. Lubricantes

Existen muchos tipos de sustancias lubricantes, diseñadas para equipos y formas de operación específicas. Las propiedades de estas sustancias son muy diversas, lo que hace que aunque existan aceites y grasas de uso general, ningún lubricante sea genérico

El descubrimiento del petróleo trajo como consecuencia el uso de aceites minerales en lugar de los aceites llamados fijos, hechos a base de grasa animal y vegetal. Esto se dio debido a que los aceites fijos forman emulsión con el agua, pudiendo llegar a obstruir los ductos al actuar como agente aglomerante de partículas o aceites oxidados, sin embargo, los aceites fijos tienen un coeficiente de fricción más bajo que los aceites minerales en la región de la lubricación límite, por lo que al añadir pequeñas cantidades de aceite fijo (3% o menos) al aceite mineral, se obtiene un mejoramiento en las características de la lubricación límite lo que ayuda a reducir el desgaste y la corrosión, pues las superficies sometidas a rozamiento quedan protegidas por una capa de lubricante adherida a ellas.

Los aceites lubricantes minerales están formados por compuestos de oxígeno y azufre entre otros componentes por lo que su composición se expresa en función del porcentaje de cada constituyente.

Los lubricantes se dividen en dos clases principales: aceites y grasas(que simplemente son una combinación de aceite y jabón químico que sirve para

dar cuerpo). La diferencia básica entre los dos es que la mayoría de las grasas son semisólidas que fluyen solamente cuando están sometidos a presiones, mientras que los aceites (que son líquidos) fluyen libremente.

Entre las dos clases de lubricantes, el aceite por lo general es el mejor y se usa donde sea posible, sin embargo, el calor que se origina debido a la fricción hace que el lubricante se deteriore y pierda su capacidad de proteger y lubricar.

Otro inconveniente que se tiene es que debido a las extremas presiones que se desarrollan en los engranajes y cojinetes y la incapacidad de los lubricantes de petróleo para lubricar adecuadamente estas piezas, es necesario fortificar los aceites con varios compuestos químicos que presten a los lubricantes capacidad de carga.

Por otro lado, estos compuestos químicos pueden ser abrasivos, y mucho peor si se mezclan con el agua y calor, dando formación de ácidos tan fuertes que provocan picaduras, corrosión y desgaste.

De esta forma la lubricación satisfactoria de los motores más modernos se ha vuelto un problema, porqué. ?

A continuación detallaremos algunos problemas:

1. Altas velocidades, la cual se aplica a motores pequeños con un cárter de pequeñas dimensiones y altas temperaturas.
2. Altas temperaturas en el pistón, generando atascamiento de los rines y resquebrajaduras en los pistones.

3. Alta temperatura en el motor, la cual genera mayor dificultad de lubricación entre el pistón y la camisa.
4. Utilización de cojinetes con carcaza de precisión, el cual es más sensible a las partículas sólidas que se encuentran en el aceite, haciéndose necesario un mejor sistema de purificación del lubricante.
5. Incremento en el uso del cobre en los cojinetes, el cual contribuye a la oxidación del lubricante.
6. El uso de motores de construcción de un solo conjunto en motores de altas velocidades, el cual tiene mayores problemas de detección de fugas de combustible, generando una dilución del lubricante con el diesel.

CARACTERISTICAS DE LOS LUBRICANTES

Las funciones de los lubricantes en un motor son muy variadas por lo que los lubricantes deben tener ciertas características ya específicas para cumplir satisfactoriamente con su trabajo, las cuales detallaremos a continuación:

1. Viscosidad adecuada a las condiciones de operación
2. Oleosidad para asegurar la adherencia en los cojinetes, a fin de minimizar la fricción y el desgaste cuando la lubricación está en la región de película delgada y actuar como una capa protectora contra la corrosión.
3. Alta resistencia de la película lubricante, para evitar el contacto de metal - metal sobre todo cuando se somete a cargas muy pesadas.
4. Que no tenga tendencia a corroer alguna parte del motor.

5. Bajo punto de fluidez para permitir el flujo del lubricante a bajas temperaturas hacia la bomba de aceite, especialmente en el arranque.
6. Sin tendencia a formar depósitos al unirse con el aire, agua, combustibles o con los productos de la combustión
7. Capacidad de remover los residuos de la combustión del interior del motor.
8. Capacidad de dispersión para disolver y transportar impurezas presentes en el aceite.
9. Características de no-formación de espuma, para permitir la disipación del aire que tiende a estimular la oxidación
10. No tóxico, no inflamable y no explosivo.
11. Bajo costo.

Clasificación de los aceites lubricantes

Los lubricantes por lo general están agrupados en unas pocas categorías principales que dependen de los crudos utilizados e su refinación, los tipos de materias químicas que se les ha agregado, y los usos que se les va a destinar.

Los aceites básicos se clasifican en cuatro clases: parafínicos, nafténicos, asfálticos e intermedios, los cuales deben su nombre a la etapa, de la destilación fraccionada en que se obtienen.

Pero de modo general los aceites lubricantes se dividen en dos grandes grupos:

ACEITES CONVENCIONALES.- Se obtienen de la refinación del petróleo. El petróleo crudo es una mezcla compleja de hidrocarburos. Aunque los crudos provenientes de diferentes yacimientos varían su composición química, todos ellos poseen los mismos elementos básicos. Gases ligeros como el etano, metano, butano y propano son removidos por destilación atmosférica. La gasolina, diesel y los combustibles fraccionados son destilados desde el crudo dejando residuos a partir de los cuales se obtienen los aceites básicos. Una gran variedad de técnicas sofisticadas de procesos de refinería es utilizada para remover compuestos indeseables como los asfaltos, ceras y compuestos de azufre. Lo que queda después de este proceso es un aceite básico, que dependiendo de los métodos usados aún contiene ciertos compuestos con oxígeno, azufre y nitrógeno. Este tipo de aceite es más o menos puro dependiendo de la cantidad de compuestos indeseables que hayan sido removidos. A los aceites básicos se les añade los aditivos de acuerdo a las especificaciones que se necesiten.

ACEITES SINTÉTICOS.- Estos aceites son fabricados mediante procesos especiales muy controlados, que se empezaron a desarrollar en la década de los setenta, aunque el primer aceite sintético fue obtenido a partir del gas metano por científicos alemanes durante la Segunda Guerra Mundial. El proceso de fabricación es bastante complejo ya que se necesita una purificación de los productos intermedios, resultados de reacciones químicas en las que se catalizan los compuestos que proporcionan a los sintéticos las

características distintivas, lo que determina su mayor costo, pero en cambio presenta un mejor rendimiento, sobretodo en condiciones severas de operación, son menos volátiles y más estables, resisten altas temperaturas y reducen al mínimo el desgaste, por lo que permiten alargar el período de cambio de aceite. Los aceites sintéticos normalmente son producidos por reacciones químicas en las que partículas de bajo peso molecular se combinan entre sí para formar largas cadenas moleculares, en estas reacciones la presión, la temperatura y las cantidades involucradas son cuidadosamente controladas de modo que se obtiene aceites básicos químicamente puros.

La materia prima para estos aceites se obtiene en gran parte por procesos térmicos a partir del petróleo y gas natural, siendo el etileno y sus derivados polyalfaolefinos (unión de moléculas de etileno con dos átomos de carbono formando cadenas de átomos de carbono de longitud y forma tal que pueden permanecer líquidas y deslizarse en cualquier condición) y ésteres (compuesto de alcohol y ácidos), junto con un paquete de aditivos balanceados los principales componentes. Las moléculas en un aceite sintético son mucho más consistentes en forma y tamaño, y se adhieren mejor unas a otras que las moléculas de petróleo, en el cual las moléculas más grandes a bajas temperaturas se hacen más densas, mientras que las más pequeñas tienden a escaparse o a producir oxidación a altas temperaturas.

ESPOL
1958
ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
F.I.M.C.P.

El 98% de los lubricantes sintéticos que se comercializan en el mundo se agrupan dentro de tres clasificaciones:

- Poliglycoles (38%). - También llamados Glycoles Polialcalinos, es obtenido del petróleo a partir de polímeros de alto peso molecular, tales como los óxidos de etileno o de propileno. Los Poliglycoles poseen un excelente índice de viscosidad, y son utilizados en sistemas con amplios rangos de temperatura.
- Hidrocarbonos Sintetizados (33%). - Son producidos a través de un proceso de polimerización de oleofinas. En el cual se obtienen compuestos parafínicos que proveen una estabilidad mucho mayor que los fluidos de bases naftélicas y aromáticas. Los residuos de cera indeseables están ausentes por lo que se tiene una mejor lubricación.

  Estos lubricantes sintéticos poseen mejores características de lubricidad, ya que poseen un excelente índice de viscosidad y alta resistencia al corte, tiene una buena resistencia a la oxidación a altas temperaturas y excelente estabilidad térmica que reduce la formación de depósitos. La temperatura de trabajo de un aceite sintético es 100°C más alta que la de los aceites minerales de primera calidad. Otra de las características de este tipo de aceite es su buena fluidez a bajas temperaturas, baja volatilidad lo que garantiza largos períodos de vida útil y excelente desempeño a altas temperaturas, y presenta una reducción en la fricción fluida en condiciones

de lubricación elastohidrodinámica. Por otro lado es totalmente compatible con los aceites minerales.

- Èsteres Orgánicos (22%). - Pueden ser ácidos dibásicos o del tipo polyol. Los ácidos dibásicos frecuentemente llamados diésteres, poseen una excelente resistencia al corte en un amplio rango de temperaturas, una alta resistencia de película, excelente protección contra la herrumbre y una baja presión de vapor a elevadas temperaturas. Los ésteres del tipo polyol, tienen las mismas características de calidad y rendimiento, brindando la ventaja de proveer una buena resistencia a elevadas temperaturas.

Características.-_Los lubricantes utilizados en aplicaciones especiales donde los productos provenientes del petróleo son inadecuados como son en temperaturas extremadamente altas, o bajas, condiciones de desgaste extremo, o donde el lubricante debe tener determinadas características especiales como la de no ser inflamable.

No existe un lubricante sintético que pueda exceder al petróleo en todas sus características, pero es posible formular lubricantes sintéticos que mejoren las características más importantes para una determinada aplicación. Un ejemplo de esto, es el aceite siliconado que ofrece una moderada protección antidesgaste pero en cambio cumple de manera óptima los requerimientos para dispositivos muy pequeños referentes a un lubricante en el cual la viscosidad sea relativamente independiente de la temperatura.

Las características de los sintéticos son producto de la combinación de aceites

básicos con excelentes calidades físicas y químicas, con aditivos de primera calidad. Las propiedades físicas y químicas de los aceites básicos incluyen términos como el comportamiento de la viscosidad con respecto a la temperatura, fluidez a bajas temperaturas, punto de ebullición, compatibilidad con las pinturas y elementos sellantes, estabilidad hidrolítica, etc.

Las áreas donde se presentan mayores diferencias con respecto a aceites convencionales son:

Estabilidad a alta temperatura: A medida que la temperatura aumenta un aceite convencional se convierte en un material con características asfálticas, lo que no se da en el aceite sintético.

Desempeño a bajas temperaturas: Los aceites sintéticos fluyen mucho mejor que los aceites convencionales a bajas temperaturas debido a que no contienen ceras que se puedan cristalizar a bajas temperaturas e impedir el flujo. Los aceites convencionales se vuelven muy viscosos entre 30°C y 40°C bajo cero, mientras que los sintéticos fluyen todavía a temperaturas menores a -50°C.

Protección contra los depósitos: La composición altamente pura de estos aceites hace que no se presente la formación de lodos por degradación del aceite, lo cual podría provocar obstrucción de los conductos de aceite del motor así como que los anillos del cilindro se peguen.

Protección contra el desgaste: La mayor parte del desgaste que se presenta en el motor tiene lugar cuando se enciende el motor, especialmente en

condiciones de operación a bajas temperaturas. Los aceites sintéticos fluyen mucho más rápidamente hasta los partes que necesitan lubricación que los aceites minerales, por lo que se presenta un desgaste mínimo.

Mejoramiento del desempeño del motor: Adicionalmente a las características antes mencionadas, los aceites sintéticos pueden reducir el consumo de combustible y aceite, y reducir la emisión de gases.

El uso de aditivos adicionales con este tipo de aceite no es recomendable puesto que es formulada para responder a las condiciones más severas de trabajo dadas por el fabricante, por lo que el uso de aditivos adicionales no mejora el desempeño de los lubricantes sintéticos, sino que más bien en ciertos casos pueden alterar las propiedades como la viscosidad, protección contra la oxidación, depósitos, y la estabilidad del mismo.

Adicionalmente se puede realizar una mezcla entre los dos tipos de aceite, lo que determina una combinación de las propiedades de los dos, y sobre todo la dilución de las ventajas de los aceites sintéticos. Una mezcla común contiene 80% de aceite básico de petróleo y 20% de aceite sintético.

ADITIVOS

Por medio del uso de los aditivos en los lubricantes se puede:

1. - Mejorar determinadas características o propiedades del aceite base.
2. - Impartir características nuevas al lubricante.
3. - Minimizar los cambios indeseables que ocurrirán en el aceite durante su vida de servicio.

ESPOL
1958
ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
F.I.M.C.P.

Los tipos de aditivos más utilizados son:

Aditivos de extrema presión.- Son empleados en lubricantes para engranajes y algunas grasas. El impacto brusco de cargas pesadas suele desplazar la película de aceite o incluso no permitir que se forme. Estos aditivos reaccionan químicamente con la superficie del metal formando materiales antidesgaste que soportan las cargas elevadas mejor que la película lubricante sola. Son compuestos de cloro, azufre y fósforo. Sin embargo algunos de estos aditivos pueden ser corrosivos, en especial si el aceite contiene agua.

Aditivos antiespumantes.- La agitación del aceite por medio de los engranajes, cadenas y otras piezas móviles en el motor, y la aspiración del aire ocasionan la formación de espuma en los aceites. Los aceites espumosos son lubricantes deficientes, y además la espuma hace que el aceite se rebose. Los aditivos antiespumantes promueven una rápida eliminación de las burbujas de aire presentes en el aceite. Son polímeros de silicón.

Inhibidores de oxidación.- Actúan interrumpiendo las reacciones químicas de oxidación que se producen en los aceites, previene y reducen el deterioro químico de los aceites sometidos a temperaturas elevadas y la formación de ácidos y barnices. El aceite oxidado es más oscuro y grueso, y por lo tanto fluye menos que uno nuevo. Cuanto más se calienta una máquina durante la operación, más rápido se oxidará el aceite. Se estima que el índice de oxidación se duplica por cada 10°C por encima de la temperatura de operación de 54°C, por lo que un aceite que debería durar un año bajo estas

condiciones, si trabaja a 76°C durarán solo tres meses.

Aditivos antifricción y antidesgaste.- Forman una película firmemente unida a las superficies de, metal que actúan reduciendo el contacto metálico entre las superficies, disminuyendo la fricción y el desgaste.

Detergentes y dispersantes.- Usados en lubricantes para motores, donde una variedad de factores producen una alta tendencia al deterioro del aceite y a la acumulación de depósitos de carbón, lodos y barnices. Los aditivos detergentes reducen la cantidad de partículas sólidas que se forman a altas temperaturas, y evitan que estos se adhieran a las superficies metálicas. Algunos aditivos detergentes, sin embargo, pueden retener también agua en suspensión, lo cual puede facilitar la oxidación o interferir en la lubricación. Los aditivos dispersantes mantienen las partículas sólidas en suspensión, y evitan que se unan formando partículas grandes susceptibles de asentarse. Posteriormente el filtro de aceite se encarga de atrapar las partículas más grandes, mientras que las pequeñas se eliminan con el cambio de aceite. La acción limpiadora del aditivo se manifiesta con el color oscuro del aceite, lo cual no puede servir de referencia sobre la condición del mismo, sino que solamente el aditivo está cumpliendo su trabajo

Antiherrumbre.- En muchos casos resulta necesario proteger las superficies metálicas contra la herrumbre ocasionada por la humedad que penetra en los sistemas de lubricación en forma de condensación o por escapes. Estos aditivos forman una fina película de recubrimiento en las superficies metálica

impidiendo el contacto con el agua y la corrosión.

Demulsificantes.- Mejoran las características naturales del aceite de separarse del agua, la que por su mayor peso se asienta en los reservorios de donde se puede drenar.

Mejoradores del índice de viscosidad.- El índice de viscosidad de los aceites base está entre 1 y 115, dependiendo del tipo de petróleo (aromático, naftélico o parafínico) y del proceso de refinación. Los mejoradores del índice de viscosidad incrementan la viscosidad en mayor grado a altas temperaturas y en menor grado a bajas temperaturas. Estros aditivos son polímeros de estructura alargada y bajo peso molecular.

Un aspecto adicional a respetar, es no añadir otros tipos de aditivos que existen el mercado a los aceites lubricantes, que conllevan a la alteración de las propiedades de los mismos sobre todo lo que tiene que ver con la viscosidad.

Estándares de calidad de los aceites

Categoría de Servicio API.- El nivel o calidad del aceite que se utiliza está determinado por medio de la clasificación hecha por el Instituto Americano de Petróleo (API, American Petroleum Institute) juntamente con la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE, Society of Automotive Engineers) y la Sociedad Americana para Prueba de Materiales (ASTM, American Society for Testing and Materials), en la cual se describe los varios grados de severidad en la operación del motor. La habilidad del aceite para responder a una o más

de estas categorías se determina por medio de pruebas en los motores desarrolladas por la ASTM.

La escala de gravedad API es utilizada comúnmente como un índice numérico de la masa por unidad de volumen de los derivados del petróleo. Clasificación que se expresa con dos letras. Si la primera letra es S el aceite es para motores a gasolina, si la letra es C, entonces es un aceite para motores a diesel. La segunda letra determina el rendimiento del aceite en pruebas establecidas (método ASTM D - 287 y D - 129b). Mientras más alta en el alfabeto es la segunda letra, mejor es la calidad del aceite, es decir que un aceite CH es mejor que un CE o CF. El nivel alcanzado por los aceites de motores a gasolina llega hasta J mientras que en los aceites para motores a diesel llega hasta F. En la actualidad se encuentra en el mercado muchos aceites con una doble clasificación S/C.

Conservación de energía.- Los aceites clasificados como "conservadores de energía" están formulados para mejorar el ahorro de combustible en los carros de pasajeros, camionetas y camiones de bajo peso. Con los aceites conservadores de energía tipo I se obtiene hasta un 1.5% más de ahorro de combustible en relación con los estándares de referencia, mientras que con los conservadores de energía tipo II se obtiene hasta 2.7% más de ahorro de combustible. Dentro de este último grupo se encuentran los aceites sintéticos.

2. TRIBOLOGIA

2.1. Introducción

La evolución de la ingeniería diversificó más los campos a ser estudiados, los cuales tienen un desarrollo generalmente por experiencias prácticas. En sus inicios, el diseño de maquinaria fue primariamente dirigida hacia el análisis cinemático de las partes mecánicas en movimiento relativo, pero la necesidad del cálculo de esfuerzos en motores de alta potencia hizo dar un giro diferente y es así como hace pocos años el avance y el desarrollo de una tercera rama del diseño de maquinaria nació, la cual fue llamada tribología que proviene de la palabra griega tribos que significa roce, contacto.

Para tener una idea de este capítulo, hay que tener presente que se necesita del esfuerzo requerido para que exista la deformación y que posee tres componentes:

La primera componente debido al trabajo aplicado en la deformación pura, en la cual, el esfuerzo requerido para la deformación de un material está dado por el esfuerzo de fluencia sin que exista fricción, ya que el esfuerzo se transmite de manera homogénea en cada partícula de la pieza de trabajo.

La segunda componente representa el esfuerzo de fricción y que será nuestro principal problema a ser tomado en cuenta.

deformación homogénea. La fricción no es siempre un villano, algunas veces es necesario hacer uso de ella.

Los motores, constituidos en su mayoría por partes metálicas están en constante movimiento y expuestos a la fricción, la misma que genera calor y el desgaste de las piezas. Por esta razón es de suma importancia prestarle la debida atención al diseño del motor, la selección de los materiales y el correcto funcionamiento del sistema de lubricación.

Entre los aspectos más importantes que hay que tomar en cuenta para lograr un desempeño adecuado de los motores están:
requerimientos de funcionamiento, calidad del combustible, y sobre todo el uso de lubricantes con propiedades adecuadas para el cuidado del motor; , de manera se puede obtener un mayor tiempo de productividad del mismo.

Bases teóricas de la fricción seca, deslizante y rodante

Analizar el contacto entre superficies es mucho más complejo que si se toma en cuenta el análisis de una forma global

Algunos experimentos muestran como la fricción seca es destructiva en cualquier circunstancia.

Antes de discutir acerca de los resultados del contacto entre metales, es necesario entender al amplio rango de condiciones que podemos llegar a tener en el contacto de metales.

Una aproximación para ver de cerca tridimensionalmente las

superficies, nos van a dar una idea de como sucede el contacto debido a que son los puntos más elevados los que generan este propósito. Esto puntos elevados, se los denomina picos o asperezas que posee la superficie, la cual es común que posea entre 3 a 20° para una superficie común.

En cambio en la fricción fluida, el lubricante actúa como si estuviera compuesto de muchas capas delgadas y a medida que una de las superficies se mueve, la capa de lubricante más cercana a ella se mueve más o menos a la misma velocidad de la superficie en movimiento. Este fenómeno se conoce como "deslizamiento" (shearing).

Además de la fricción deslizante, en la cual una pieza se mueve sobre la superficie de otra, existe otro tipo de fricción, llamada fricción rodante, donde una pieza rueda sobre la cara de otra.

Su efecto retardante es menor que el de la fricción deslizante y por ésta razón los cojinetes de rodillo son ampliamente usados en maquinaria industrial.

En engranaje, hallamos una combinación de fricción deslizante y fricción rodante.

A medida que los dientes entran en contacto, ellos se deslizan y a medida que siguen girando se presenta una acción rodante. Ambas fricciones están muy presentes en los distintos tipos de maquinaria y equipos, teniendo como característica que puede ser reducidas por la lubricación.

2.2. Teoría de la fricción y el desgaste

Al hablar de fricción se la podría definir como "Resistencia al movimiento entre dos superficies cualesquiera que estén en contacto una con otra".

La Fricción es "simplemente la fuerza que retarda las cosas en movimiento".

Esto es evidente, pero al tratar de hacer algo para anularlo se llega a la conclusión de que no es una tarea tan sencilla y esta fuerza no es tan simple como parece.

Las superficies que para el ojo humano parecen ser completamente lisas y suaves, realmente están compuestas por incontables picos y valles. A medida que existe presión o una carga las superficies en movimiento se ponen en contacto y ocurre la fricción.

Estas partes altas o picos de las superficies en contacto se entrelazan y se quiebran, que es lo que se denomina desgaste, y éste va a depender de la carga o presión que está siendo aplicada. Pero cuando una capa de lubricante se agrega, todos los puntos altos se mantienen separados, y de esta manera se impide que las piezas en movimiento tengan contacto entre sí.

Fricción fluida

Si se introduce a presión una película de aceite entre dos superficies en contacto, la hendidura y salientes se llenan de película lubricante, logrando que las dos superficies se deslicen entre ellas sin que se produzca un

que las dos superficies se deslicen entre ellas sin que se produzca un entrelazamiento de los picos. Cuando dichas superficies, sean estas planas o esféricas están separadas por una película fluida, se denomina fricción fluida y por ende estas superficies están lubricadas. (Ver fig. 2.1)

Desgaste

Clasificación del desgaste.- La resistencia al desgaste de un par de elementos que tienen movimiento relativo entre sí, depende no sólo de los materiales de los elementos, sino también de las condiciones de operación. El desgaste de estos elementos provoca que sus posiciones relativas cambien, lo que se conoce como desgaste de juntas.

Se pueden clasificar las juntas de acuerdo a sus condiciones de desgaste. Dependiendo de los posibles desplazamientos de los componentes como resultado del desgaste de las superficies, todas las juntas pueden dividirse en dos tipos:

- TIPO A, donde hay autoalineamiento de los componentes desgastados y sus posiciones relativas dependen de la forma de las superficies desgastadas, el principal efecto del desgaste se aprecia en el funcionamiento del par de componentes.
- TIPO B, donde se tiene guías no desgastables lo que asegura que los componentes solo sean desplazados en una sola dirección X - X.

FIG. 2.1 FRICCION FLUIDA

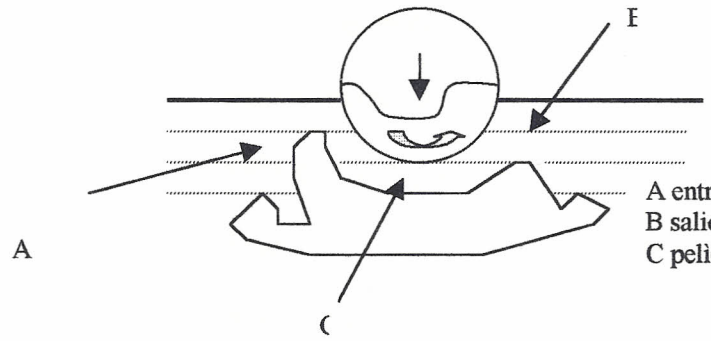
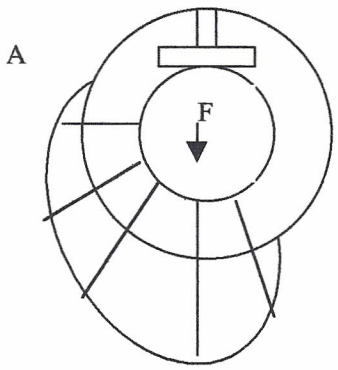


FIG. 2.2 PERFIL DE PRESIONES



B

Así mismo las juntas pueden ser divididas en 4 grupos dependiendo de que las condiciones de fricción y desgaste de las superficies sea constante para cualquiera de los puntos sobre los cuerpos en contacto para una misma trayectoria.

Las investigaciones en este sentido han sido bastante complejas debido a que los fenómenos moleculares relacionados se dan en la superficie de los cuerpos y por lo tanto depende de la composición y estructura del material, el estado de la superficie, y otros factores externos. La existencia de diversas

teorías sobre la fricción confirma esta complejidad, la cual se complica aún más al tomar en cuenta los diferentes tipos de movimiento. A más de esto, es necesario tomar en cuenta que cerca de un 80% de los elementos de maquinaria que trabajan sometidos a fricción están fabricados de aleaciones metálicas, por lo que se deben analizar sus diferentes propiedades tribológicas (coeficiente de fricción, magnitud de desgaste, facilidad de rodaje, etc.) a fin de determinar sus efectos y el proceso tecnológico adecuado para reducir el desgaste. Como los fenómenos tribológicos dependen sobre todo del estado de las capas exteriores, en las áreas de contacto de los elementos, se hace necesario además analizar el tratamiento térmico superficial más adecuado de acuerdo a los requerimientos de uso del elemento.

Tipos de desgaste que se presenta en los motores.-

Los desgastes que se pueden presentar en un motor se clasifican en tres grupos:

Desgaste Abrasivo.- Es el desgaste resultante del esmerilado que realizan los contaminantes abrasivos, siendo éstos el polvo atmosférico y las partículas metálicas del desgaste ó maquinado de manufactura del motor.

El desgaste abrasivo se produce principalmente durante el período de asentamiento. Está directamente relacionado con los problemas de filtración, ya sea con los contaminantes transportados por el aceite como por los

ESPOL 1958 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"

introducidos al motor por el aire y el combustible. La abrasividad de las partículas depende de su dureza relativa respecto a la de las superficies del motor.

Desgaste por Contacto entre Metales.- Es el desgaste debido al íntimo contacto entre ambas superficies del metal por la desaparición de la película de aceite y que sucede cuando la carga es lo suficientemente alta

Este fenómeno es causado por el contacto que se da en los puntos de discontinuidad de la película.

El desgaste por contacto de metales ocurre principalmente durante el funcionamiento a altas temperaturas, altas velocidades y grandes cargas. Ocurre en motores ensamblados muy ajustadamente o con pobre enfriamiento. Este tipo de desgaste es ayudado por medio de los aditivos que se le ponen a los lubricantes y que en las partes móviles conforman una película que impide el contacto de los metales cuando se rompe la película de lubricación en condiciones extremas.

Desgaste por Corrosión.- Es el desgaste resultante del ataque de las superficies metálicas por ácidos producidos en la combustión.

Es el tipo de desgaste más severo cuando sucede a baja temperatura, ya que la baja temperatura de los cilindros y el cárter promueven la condensación del agua que al combinarse con los ácidos en forma de gases, forman un

compuesto corrosivo muy activo. Los aditivos alcalinos de los aceites neutralizan esta reacción impidiendo la corrosión.

Formación de la película de aceite

Se denomina formación de la película cuña de aceite, a la forma que toma la película del lubricante próxima al eje en rotación, y que se comporta como punta de una cuña de aceite permitiendo un espacio de huelgo entre el eje y el cojinete. Esta teoría de la cuña de aceite está ampliamente aceptada hoy como principio básico de la formación de la película de aceite en los cojinetes sencillos. Tomemos como ejemplo la rotación de un eje sobre un cojinete, el punto donde la película es delgada se conoce como el área de presión elevada, y se encuentra ubicada en la parte inferior.

En la parte superior donde la película es más espesa tenemos el área de baja presión, que es por donde se introduce el aceite, el mismo que será arrastrado por el movimiento de giro del eje, forzando a entrar la película de aceite en el área de presión elevada teniendo un efecto de levantamiento para soportar al eje, evitando el contacto del eje con el cojinete. (Ver fig. 2. 2)

Al diseñar una máquina, se cuida siempre de dejar espacios entre las partes móviles, las mismas que se denomina "HUELGO O JUEGO", el mismo que dependerá de la constante de fricción del material utilizado, la viscosidad del lubricante y un factor de seguridad que tome en cuenta velocidad y carga.

Para que exista lubricación, el aceite deberá entrar en estos espacios, lo

que significa que la película del lubricante no puede ser mayor que el juego entre piezas.

Puede existir la posibilidad de que el aceite forme un cuerpo tan pesado que la fricción interna producida por el aceite entre sí, origine un calentamiento excesivo y pérdida de energía motriz.

2.3. - Métodos de investigación y cálculo del desgaste

El cálculo de desgaste de una máquina debe estar basado en leyes básicas del desgaste efectivo, como es el tipo de material usado en una junta y de las condiciones de operación. Nuestro primer paso para determinar el desgaste, es necesario establecer los límites de desgaste a que va estar sujeto la junta.

En segundo lugar se debe realizar un a estudio para hallar las variables que influirán en el desgaste.

El cálculo del desgaste en las juntas está influenciado por la distribución de presiones en la superficie de contacto.

El cálculo del desgaste de las piezas también requiere del conocimiento del desarrollo del desgaste en función del tiempo.

Para la mayoría de los casos, la relación entre el tiempo (t) tomado en el proceso de desgaste y la cantidad de desgaste (U) puede ser asumidas lineales, por lo tanto la razón de desgaste es:

$$\gamma = U / t \qquad \text{(ec.1)}$$

De acuerdo a la teoría de fatiga en los diferentes tipos de desgaste (contacto elástico, contacto plástico y corte), el desgaste relativo es proporcional a la presión en el área de contacto:

$$I = k p^m \qquad \text{(ec.2)}$$

Bajo condiciones de desgaste abrasivo, se puede definir el desgaste en función del desgaste relativo (I) y la distancia de contacto recorrida equivalente (L) teniendo en cuenta la velocidad y está definido por:

$$U = I L \qquad \text{(ec.3)}$$

Si reemplazamos la ec.2 en la ec.3, obtendremos:

$$U = k p^m L \qquad \text{(ec.4)}$$

Si dividimos ambos término para el tiempo de operación, obtendremos:

$$\gamma = k p^m \upsilon \qquad \text{(ec.5)}$$

Estas leyes pueden ser usadas para el cálculo de desgaste de algunas partes de las máquinas (placas en contacto, disco de embrague, tornillos de plomo, tuercas, juntas conectivas en el mecanismo de levas). En caso general, la rapidez de desgaste puede ser reemplazada como una función elevada a una potencia.

$$\gamma = k p^m \upsilon^n \qquad \text{(ec.6)}$$

Se sabe que $1 < m < 3$, para superficies en movimiento y contacto $m \cong 1$

Para desgaste abrasivo $n = 1$.

Hay que tener presente que k es un coeficiente que caracteriza la resistencia al desgaste del material que conforma la pieza y las condiciones de trabajo que sufre(lubricación, protección que tiene la pieza de contacto).

El valor el coeficiente k es afectado por el material que conforma la pieza en contacto, la geometría de la superficie y la lubricación.

2.4. - Características generales del desgaste relativo

El desgaste de materiales es un proceso en la cual sucede la destrucción de la superficie, la cual da como resultado la disminución de las partes en dirección perpendicular a la superficie en contacto.

Un específico tipo de desgaste no puede ser definido por un simple termino, ya que debe ser descrito por varios características severas, la destrucción de la superficie del mecanismo varía. Dependiendo de las características del medio que separa las superficies, el desgaste es seco, desgaste con lubricante y desgaste abrasivo.

El proceso de desgaste consiste en que las asperezas en las superficies en contacto cambian su forma y el material sufre un endurecimiento, suscitándose el contacto elástico, se debe asegurar que exista el contacto elástico ya que este provee de un mínimo desgaste y una magnitud estable de fuerza de fricción.

El desgaste posee 3 fases, la primera fase es una fase en la cual se suscita un ajuste de todos los componentes del motor, esta etapa es caracterizada por un desgaste intenso y una producción alta de temperatura, acompañada por cambios de la geometría de la superficie y las propiedades físicas y mecánicas de las capas que recubren las superficies de las piezas.

Se debe tener una baja rugosidad y al tratamiento variado que se le da a las piezas aseguran que esta etapa dure poco. La siguiente etapa consiste en un desgaste homogéneo y constante, el cual es mínimo bajo las condiciones de operación.

La principal dificultad en comprender la naturaleza del desgaste de los materiales es debido al hecho que la capa que se encuentra bajo la superficie de contacto está sujeta a diferentes condiciones de ambiente y los factores de destrucción influyen directamente en la superficie e indirectamente en las subcapas de una forma física, químicas y mecánicas.

Los defectos en los elementos fabricados también influye en el desgaste variado que existe, es decir el desgaste no es el mismo en todos los casos, pero tienen un patrón muy semejante.

Modelo físico de desgaste

El esfuerzo de contacto efectivo σ_{eff} a la cual la separación de partículas ocurre es proporcional a la fuerza de fricción específica τ

$$\sigma_{eff} = k\,\tau = k\,f_{ml}\,P_r \qquad \text{(ec.7)}$$

donde k = factor característico de condición de esfuerzo de contacto, el factor depende de la naturaleza del material y para materiales duros k = 5 y para materiales elásticos k = 3

El desgaste es usualmente caracterizado por el desgaste relativo:

$$I = V_\varepsilon / A_a \; L = U / L \qquad \text{(ec.8)}$$

Donde V_ε es el volumen del material desgastado, L es la distancia equivalente recorrida por la superficie en contacto y A_a es el área aparente de contacto.

En el rodamiento el área real es la única que tomo contacto en el proceso, entonces se introduce el concepto de desgaste específico:

$$i_h = V_d \; / \; A_r \; d \qquad \text{(ec.9)}$$

Donde V_d es el volumen del material fuera del área real de contacto, A_r es el área real de contacto y d es la distancia recorrida en operación.

Si dividimos la ec. 8 para la ec. 9 obtendremos:

$$I = i_h \; A_r / A_a = i_h \; P_a / P_r \qquad \text{(ec.10)}$$

El espesor de la capa desgastada correspondiente a una simple interacción entre las irregularidades es:

$$V_d = U_\upsilon / n \qquad \text{(ec.11)}$$

donde n = al número de ciclos resultantes de la interacción de volumen del material U_υ

Debemos considerar que el contacto se realiza entre un material sólido rígido y un material suave y elásticamente deformable.

donde n = al número de ciclos resultantes de la interacción de volumen del material U_υ

Debemos considerar que el contacto se realiza entre un material sólido rígido y un material suave y elásticamente deformable.

La primera aproximación, asume que el volumen de asperezas penetradas y que toman parte en la deformación es:

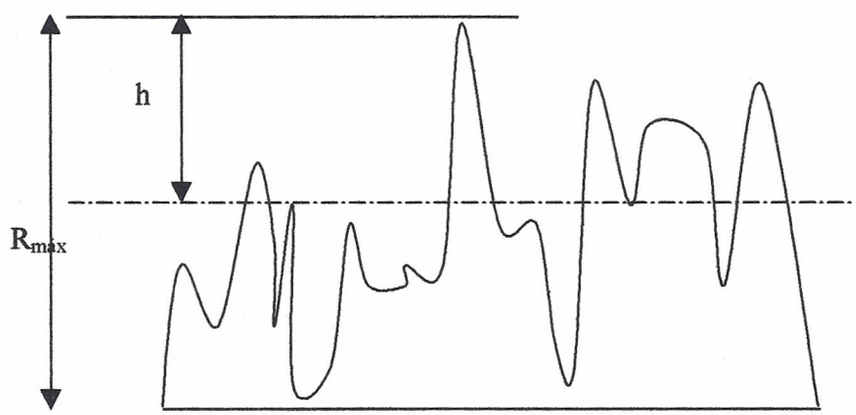
$$U_\upsilon = Ar\ h / \nu + 1 \qquad \text{(ec.12)}$$

Si sustituimos la ec. 12 en la ec. 9, obtendremos:

$$ih = h / (\nu + 1)\ \delta n \qquad \text{(ec.13)}$$

A continuación observemos la figura 2.3.

Fig. 2.3 Parámetros de aspereza y rugosidad



Se sabe que una simple irregularidad está definida por:

$$d \cong (2rh)^{1/2}$$

La rugosidad en la superficie está caracterizado por el parámetro complejo de superficie Δ y el parámetro de la curva del rodamiento b y v, por lo tanto de la conocida ecuación de curva del arrea del rodamiento, se tiene:

$$(h/r)^{1/2} = (2pc/pr)^{1/2v} \Delta^{1/2}$$

Se está considerando el factor n, el cual es conocido como el número de ciclos n causante del decrecimiento de la ruptura del material al incrementar la magnitud del esfuerzo.

La curva de fatiga describe analíticamente la formula para el contacto elástico:

$$n = (\sigma_0 / \sigma_{eff})^{tf} \qquad \text{(ec.14)}$$

La presión real de contacto es calculada por la fórmula:

$$P_r = 0.5\, E^{2v/2v+1}\ \Delta^{v/2v+1}\ P_c^{v/2v+1} \qquad \text{(ec.15)}$$

La presión de contorno está descrita por:

$$P_c = 0.2\, E^{0.8}\ (H_b/R_b)^{0.4}\ P_a^{0.2} \qquad \text{(ec.16)}$$

Si sustituimos todas las ecuaciones anteriores obtendremos que el desgaste relativo está dado por:

$$I = K_2\ \alpha\ K_{tv}\ p^{1+tf/2v+1}\ E^{(2v\,tf/2v+1)-1}\ \Delta^{v\,tf/2v+1}\ (k\, f_{ml} / \sigma_o)^{tf} \qquad \text{(ec.17)}$$

donde:

$$K_2 = 0.5^{tf-1-(1/2v)}\, 2^{1/2v}\, K_1$$

3. CALCULO Y ANALISIS TRIBOLOGICO

3.1. Cálculo de desgaste

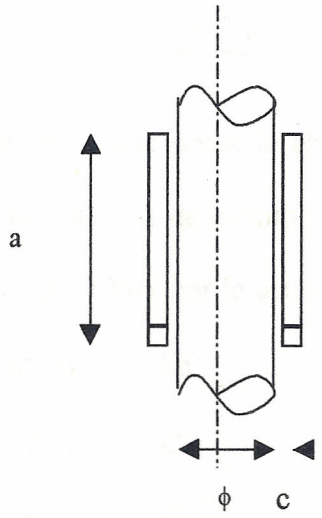
3.1.1. Determinación de desgaste

Para realizar los cálculos del desgaste vamos a efectuar algunas asumsiones:

1. - Para este caso se toma que el desgaste se genera tanto en las chapas de biela como las de bancada.

2. - Para el motor que estamos analizando se consideran 7 chapas de biela y 6 chapas de bancada.

Figura 3.1 Dimensiones de Chapa y Muñón



Chapa de bancada:

Ø1 = 100 mm

a1 = 46 mm

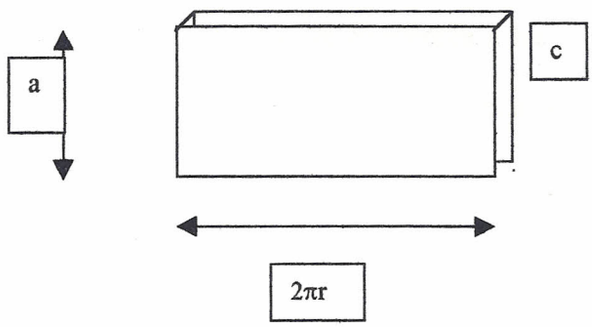
chapa de biela:

Ø2 = 86 mm

a2 = 46 mm

3. - Si la chapa que tenemos la desarrollamos, nos va a quedar como un prisma rectangular, cuyas medidas va a ser 2 (pi) r *a *u (el cual está definido como el espesor de la placa, y que no lo definimos como un valore constante, debido a que va a ser la variable que debemos determinar como el desgaste del material), mientras que a y r para nuestro caso va a permanecer constante, para tener una idea mejor lo expondremos en un gráfico a continuación

Figura 3.2 Abatimiento de una Chapa



4. - El material que posee la chapa está constituido por una base de acero y una película de babbitt, que posee una aleación de Cu (5 %), Sn (85%), Sb (10%). por lo tanto

85 %	Sn	ρ = 7.29 gr/cm3
5 %	Cu	ρ = 8.93 gr/cm3
10 %	Sb	ρ = 11.34 gr/cm3

ρ aleación = (0.85)*(7.29) + (0.05)*(8.93) + (0.1)*(11.34)

ρ aleación = 7.777 gr/cm3

5. - Para tener una idea mejor de la cantidad de desgaste, asumiremos que solo existe desgaste radialmente, y definiremos esta variable como U', en la cual el desgaste va a ser homogéneo en todas las chapas, entonces el desgaste total va a ser:

$$U_{total} = 7\,(2\,\Pi\, r1)\, a1\, U'1 + 6(2\,\Pi\, r2)\, a2\, U'2$$

$$= 7\,(2)(3.1416)(50)(46)\, U'1 + 6(2)(3.1416)(43)(54)\, U'2$$

$$= 101159.38\, U'1 + 87537.3377\, U'2 \quad [mm^3] \qquad (ec18)$$

6. - Se debe tener en cuenta que como el desgaste no se efectúa pieza contra pieza sino que se lo efectúa a través de una capa de aceite, la fórmula a utilizar deben ser las que nos facilitan la tribología, donde:

$$\gamma = U / t$$

$$U = I\, L$$

$$I = k\, p^m$$

$$\gamma = k\, p^m \upsilon^n$$

ESPOL 1958 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS" F.I.M.C.P.

U= desgaste [mm]

t = tiempo [hr]

I = desgaste relativo

γ = razón desgaste [mm/hr]

L= distancia recorrida sobre la superficie desgastada[km.]

υ = parámetro contacto del área del cojinete[m/s]

pero $1 < m < 3$ m= 1 (superficies de contacto en movimiento)

$n = 1$ (desgaste abrasivo)

$\gamma = k\, p\, \upsilon$

por lo tanto:

$$U = k\, p\, \upsilon\, t$$

$$U = I\, t\, \upsilon \qquad \text{(ec 19)}$$

De la ec 17 obtenemos:

$$I = K_2\ \alpha\ K_{t\upsilon}\ p^{\,1+tf/2\upsilon+1}\ E^{\,(2\upsilon\, tf/2\upsilon+1)-1}\ \Delta^{\,\upsilon\, tf/2\upsilon+1}\ (k\, f_{ml} / \sigma_o)^{tf}$$

K_2 = constante, fig. 3.5 f (k1)

α = Ar/Aa ; Ar = área real Aa =área aparente

$K_{t\upsilon}$= factor de corrección fig. 3.4

p = presión de contacto

E = módulo de elasticidad

Λ = parámetro de rugosidad de contacto

f_{ml} = coeficiente de fricción, material

σ_o = esfuerzo último de tensión del material (tabla 9)

tf = parámetro curva de la fatiga según aumenta tiempo de fricción (tabla 9)

De la ecuac. 19

υ = 2 m/s (para casi todos los materiales de ingeniería)

$U = 7200000\, I\, t$ [mm]

De la ecuac. 18

U total $= 7.28346816\ e11\ I_1\ t + 6.302688314\ e11\ I_2\ t\ [mm^3]$

7. - Si a esta ecuación la multiplicamos por la densidad de la aleación y por la capacidad que tiene el motor que es de 36 litros de aceite obtendremos nuestras unidades en ppm.

U total $= 1.574485366\ e11\ I_1\ t + 1.36155575\ e11\ I_2\ t$ [ppm babbitt]

8. - Como es de imaginar, la chapa cuyo material es babbitt, el cual es una aleación, no puede ser comparado en los gráficos que tenemos, y como sabemos que los constituyentes de la chapa incluyen un 5 % de cobre, por lo tanto vamos aproximar la ecuación a:

Utotal $= 7.87242683\ e9\ I_1\ t + 6.80777875\ e9\ I_2\ t$ [ppm Cu]

Utotal $= 7.87242683\ e9\ I_1\ t + 6.80777875\ e9\ I_2\ t$ (ec 20)

Tabla 3.1

DETERMINACION DESGASTE RELATIVO

VARIABLE				DATOS	UNIDADES
K2	f(tf,ν)	**Fig 3.5**		0.01	
α	param. area contacto	**Tab 8**		0.5	
Ktv	f(tf,ν)	**Fig 3.4**		4	
P	presión normal	**Graf P vs f**		750	kg/cm2
E	módulo elasticidad	**Tab 4**		5.00E+03	
HB	dureza brinell	**Tab 4**		17	
τo	esf. cortante	**Tab 4**		3200	kg/cm2
Δ	param. rugosidad	**Tab 7**		8.60E-02	
fml	factor fricción	**Cap 4.3**		0.003	
σo	esfuerzo efectivo	**Tab 4**		6400	kg/cm2
tf	param. rugosidad	**Tab 9**	2 < k < 10	5.0 - 5.5	
ν	relac. Poisson	**Tab 7**	cualquier mate	2	
k			3 < k < 5	3.5	
	k=3	deformación elástica			
	k=5	deformación plástica			

			bancada	**biela**
tf =	5	I calc=	6.1812E-13	7.72656E-13
tf =	5.2	I calc=	1.8017E-13	2.25209E-13
tf =	5.5	I calc=	2.8351E-14	3.54393E-14

	diametro	**espesor**
chapa bancada	100	46
chapa biela	86	54

El desgaste en la chapa de bancada es por lo general un 25 % mayor que en la de biela

TABLA 3.2

ANALISIS CALCULO IDEAL				BASE DE DATOS ESTADISTICA			
Horometro	**Cu calc1**	**Cu calc2**	**Cu calc3**	**Horometro**	**Cu1**	**Cu2**	**Cu3**
0	0	0	0	0	0	0	0
1670	34.6069933	10.10619969	1.595042798	1670	8	6	5
1881	38.97949365	11.38309079	1.796572157	1881	15	17	12
2602	53.92059675	15.74630634	2.485210395	2602	20	21	15
2850	59.05983887	17.24710726	2.722079026	2850	25	28	17
3189	66.08485128	19.29860528	3.045863163	3189	28	32	21
3370	69.83566912	20.39394788	3.218739059	3370	30	33	25
3517	72.88191344	21.28353551	3.35914103	3517	32	35	29
3721	77.10935453	22.5180653	3.553984581	3721	36	40	30
3790	78.53922432	22.93562684	3.619887547	3790	38	42	33
3894	80.69439037	23.56499497	3.719219553	3894	39	43	38
3994	82.76666542	24.17015662	3.814731098	3994	43	47	42
4094	84.83894046	24.77531828	3.910242643	4094	45	50	43
5009	103.8002572	30.31254745	4.784173278	5009	46	51	48
5210	107.96553	31.52892239	4.976151483	5210	47	52	51
5399	111.8821298	32.67267792	5.156668302	5399	49	54	55
5583	115.6951159	33.78617537	5.332409545	5583	51	56	58
5720	118.5341327	34.61524684	5.463260361	5720	54	59	63
5993	124.1914436	36.26733817	5.724006878	5993	59	65	63
6200	128.481053	37.5200228	5.921715776	6200	61	67	67
6400	132.6256031	38.73034612	6.112738865	6400	63	69	70
6600	136.7701532	39.94066943	6.303761955	6600	66	72	74
6793	140.769644	41.10863143	6.488099236	6793	71	78	75
6800	140.9147033	41.15099275	6.494785044	6800	75	83	76
7005	145.1628671	42.39157415	6.690583711	7005	82	90	78
7393	153.2032943	44.73960138	7.061168505	7393	87	96	80
8695	180.1843154	52.61880617	8.304728818	8695	90	99	83
8900	184.4324793	53.85938757	8.500527485	8900	98	108	85
9300	192.7215795	56.2800342	8.882573664	9300	103	113	90
9800	203.0829547	59.30584249	9.360131388	9800	107	118	93
10105	209.4033936	61.15158555	9.651441599	10105	111	122	97
10448	216.511297	63.22729004	9.979046198	10448	112	123	99
10473	217.0293658	63.37858045	10.00292408	10473	114	125	102
10984	227.6186913	66.47095652	10.49098808	10984	118	130	105
11205	232.1984191	67.80836379	10.70206859	11205	119	131	110
11291	233.9805757	68.32880281	10.78420852	11291	121	133	112
11454	237.358384	69.31521632	10.93989234	11454	122	135	116
11677	241.9795574	70.66472681	11.15288308	11677	124	137	120
12380	256.5476509	74.91901327	11.82432924	12380	128	141	124
12576	260.60931	76.10513012	12.01153187	12576	131	144	127
13200	273.5403063	79.88133887	12.60752391	13200	135	149	129
13385	277.3740152	81.00088793	12.78422027	13385	137	151	131
13550	280.793269	81.99940467	12.94181432	13550	140	154	133
14360	297.5786969	86.9012141	13.71545783	14360	144	158	137

FIG 3.1 BASE DE DATOS ESTADISTICA DE DESGASTE

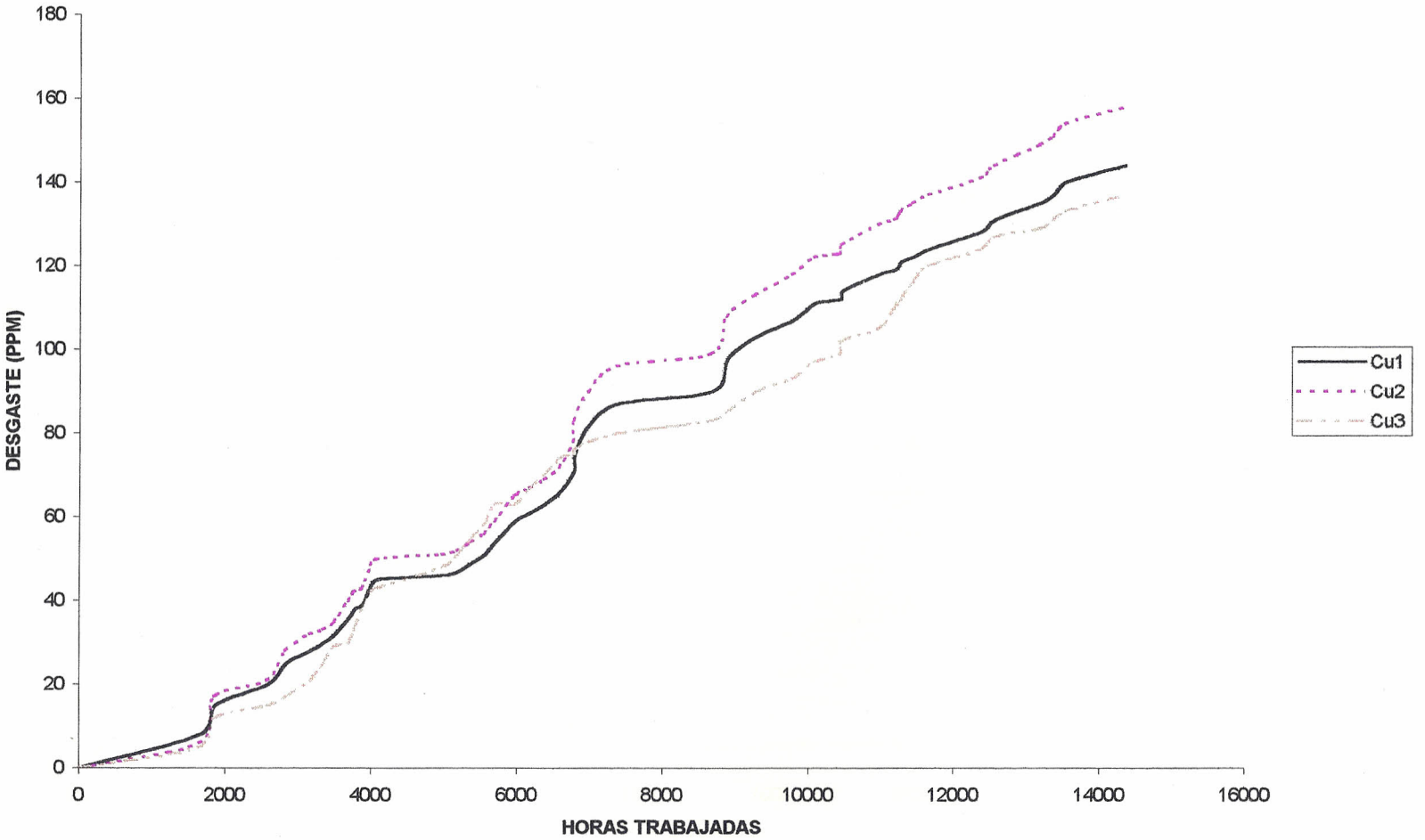


FIG 3.2 ANALISIS DESGASTE IDEAL

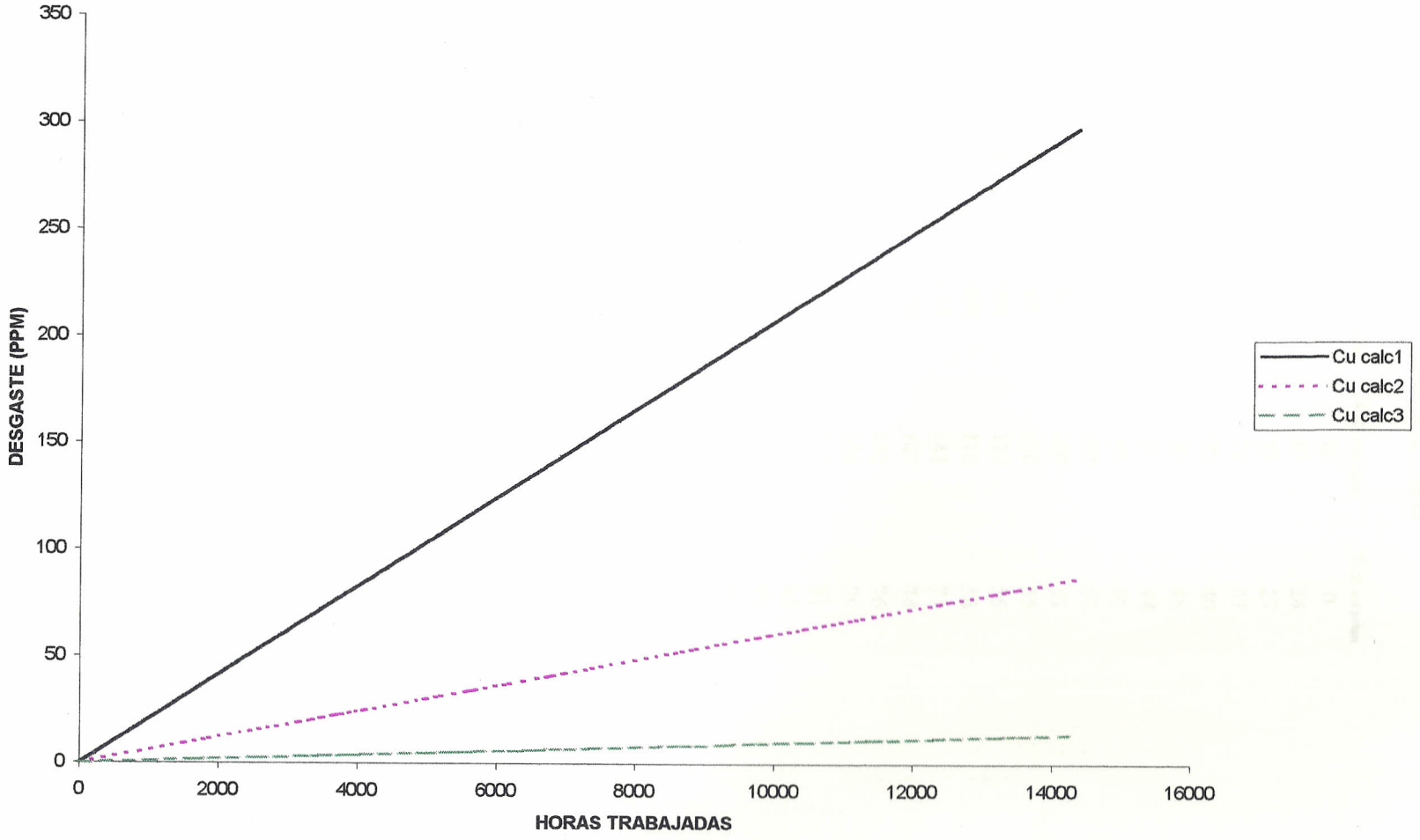
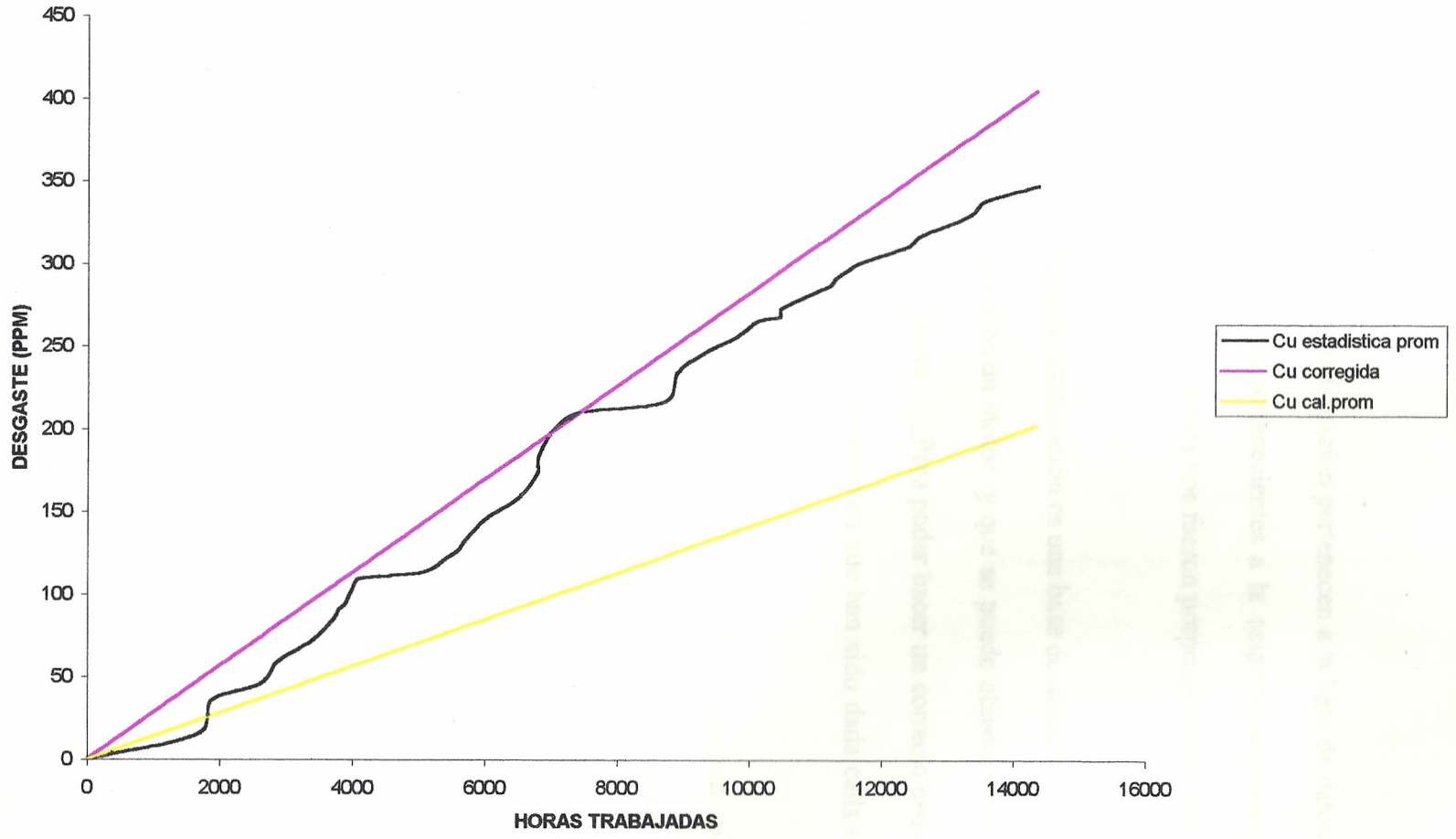


TABLA 3.3 ANALISIS COMPARATIVO

Horometro	Cu estad prom	Cu corregida	Cu cal.prom
0	0	0	0
1670	16	47	24
1881	36	53	27
2602	46	73	37
2850	59	80	40
3189	67	90	45
3370	71	95	48
3517	77	99	50
3721	86	105	53
3790	91	107	53
3894	95	110	55
3994	104	113	56
4094	109	116	58
5009	113	141	71
5210	116	147	74
5399	121	152	76
5583	126	158	79
5720	134	161	81
5993	145	169	85
6200	150	175	87
6400	155	181	90
6600	163	186	93
6793	174	192	96
6800	183	192	96
7005	198	198	99
7393	210	209	104
8695	217	245	123
8900	234	251	126
9300	246	262	131
9800	256	277	138
10105	265	285	143
10448	268	295	147
10473	273	296	148
10984	283	310	155
11205	287	316	158
11291	291	319	159
11454	296	323	162
11677	301	330	165
12380	310	349	175
12576	317	355	177
13200	327	373	186
13385	332	378	189
13550	338	382	191
14360	348	405	203

FIG 3.3 ANÁLISIS COMPARATIVO GENERAL



3.1.2. Evaluación de datos estadísticos

Los datos que presento a continuación pertenecen a la base de datos de la vida útil de los equipos pertenecientes a la empresa constructora CON, los cuales gracias a su ayuda nos fueron proporcionados para su buena utilización.

La tabla que se presenta a continuación es una base de datos estadística del desgaste que ocurre en un motor y que se puede obtener a través de los análisis de lubricantes. Para poder hacer un correcto uso del mismo, se necesita saber las unidades en que han sido dada cada una de las variables.

El desgaste está dado en ppm y son tomados como un valor acumulado del valor que se tenía en cada uno de los análisis de lubricantes. Es muy común poseer algunos datos de materiales de desgaste, pero estos pueden pertenecer a diferentes tipos de componentes. Ante este problema, nuestro estudio se dirigió precisamente a trabajar con el cobre ya que es el material base de la aleación de los cojinetes en nuestros equipos.

La tabla 3.4 que se detalla a continuación son los datos tomados del análisis de laboratorio perteneciente a 3 equipos marca Volvo, de características idénticos, mismo modelo, y lo más importante es que

las condiciones de trabajo que han tenido los equipos han sido exactamente iguales.

3.1.3. Comparación de resultados

Los resultados que tenemos nos dan una idea de cómo se ha desarrollado el desgaste en las piezas de nuestro motor. No hay que olvidar que hemos tomado en cuenta tanto las chapas de bancada, como la de biela cuyo desgaste es muy similar pero no es el mismo.

Si se observa con detalle la gráfica, el desgaste mostrado a través de las pruebas de laboratorio se asemeja mucho a una recta con pendiente constante, teniendo en sus primeras horas de trabajo una pendiente mucho mayor, idea comprensible ya que es lo que se denomina las horas de ajuste en las piezas de los motores.

Esta premisa de tener una recta de pendiente constante, nos permitió desarrollar por medio del análisis tribológico una recta muy similar, y siendo explícito que los parámetros con que trabajamos están íntimamente relacionados con los parámetros del tipo de material, rugosidad de la superficie y sin olvidar las presiones con que trabaja el motor en las diferentes etapas de funcionamiento. Es observado que el modelo ideal nos da un desgaste mucho menor que el que realmente se obtuvo en la base de datos estadístico. Esto nos hace

reflexionar acerca de cuales serán los parámetros que quizá no tomamos en cuenta, ó de si las asumsiones que se hicieron estaban dentro de un plano real ó imaginario.

No deberíamos perder el punto de vista, de que el clima es una variable a la cual no la enfrentamos de ninguna forma y que ése puede llegar a ser un limitante muy desagradable para nosotros.

Debemos indicar que algunas de las variables que introducimos en la ecuación están dadas por tablas establecidas de una forma empírica y que quizás contribuyeron a que los resultados nos salgan un poco disparados.

Lo que sí podemos decir con la mayor sinceridad es que los datos obtenidos nos van a ser de muy utilidad para poder de alguna manera poder predecir aproximadamente cual va a ser el desgaste de cualquier equipo semejante al que tenemos, y por ende se podría predecir las horas con que contamos con un equipo antes de ser llevado a una para obligatoria por daño o mantenimiento.

TABLA 3.4 BASE DE DATOS

horometro	Cu_1	Fe_1	Cr_1	Pb_1	Al_1	Cu_2	Fe_2	Cr_2	Pb_2	Al_2	Cu_3	Fe_3	Cr_3	Pb_3	Al_3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1670	8	61	4	13	7	6	66	4	7	3	5	65	3	5	2
1881	15	72	7	17	9	17	82	8	10	4	12	70	6	12	3
2602	20	91	11	19	11	21	97	10	21	7	15	81	9	18	5
2850	25	114	13	24	12	28	121	13	26	9	17	105	13	34	6
3189	28	133	17	29	14	32	150	16	30	10	21	124	16	60	8
3370	30	152	19	33	17	33	170	18	36	11	25	150	18	82	10
3517	32	169	22	43	18	35	194	20	53	13	29	167	20	119	11
3721	36	193	26	45	20	40	216	22	70	16	30	190	23	150	12
3790	38	207	29	51	23	42	232	23	81	18	33	203	26	158	13
3894	39	223	31	64	26	43	237	26	91	20	38	221	27	167	14
3994	43	239	33	75	27	47	270	27	100	21	42	231	29	177	15
4094	45	254	35	82	30	50	283	28	110	22	43	229	32	199	17
5009	46	258	36	99	31	51	277	29	122	23	48	233	34	221	19
5210	47	279	37	106	32	52	304	33	133	26	51	267	36	236	21
5399	49	289	39	121	33	54	309	34	145	28	55	285	38	254	23
5583	51	295	40	130	34	56	330	35	150	30	58	290	39	277	26
5720	54	310	43	142	37	59	336	36	174	33	63	304	40	288	28
5993	59	323	45	155	40	65	357	38	178	36	63	317	41	292	34
6200	61	335	46	186	43	67	373	39	183	41	67	330	42	300	36
6400	63	356	47	192	45	69	392	40	190	49	70	349	43	305	39
6600	66	386	49	204	55	72	434	42	200	54	74	382	44	310	42
6793	71	418	50	218	62	78	476	45	205	61	75	409	49	315	57
6800	75	422	51	220	73	83	480	46	211	65	76	384	53	319	61
7005	82	428	53	226	75	90	484	47	221	66	78	404	55	326	63
7393	87	432	54	243	78	96	488	48	228	70	80	410	56	326	64
8695	90	452	56	247	85	99	490	52	228	72	83	432	58	331	72
8900	98	455	57	252	88	108	493	59	232	74	85	454	60	341	73
9300	103	465	59	259	92	113	497	61	236	77	90	465	63	341	76
9800	107	518	61	267	94	118	558	63	241	81	93	490	64	345	82
10105	111	550	64	270	96	122	612	64	245	88	97	510	66	345	83
10448	112	593	66	276	99	123	669	65	246	96	99	555	69	345	92
10473	114	659	67	280	100	125	706	66	248	101	102	644	69	359	103
10984	118	790	69	285	104	130	831	69	250	105	105	762	69	367	113
11205	119	816	70	288	105	131	902	72	256	112	110	791	69	368	122
11291	121	877	71	291	106	133	953	74	258	113	112	800	70	369	126
11454	122	940	72	297	108	135	1029	75	258	114	116	905	72	372	128
11677	124	1040	74	303	111	137	1145	76	267	117	120	1032	73	378	137
12380	128	1132	75	305	117	141	1295	77	276	117	124	1079	74	383	142
12576	131	1226	77	311	123	144	1398	78	293	119	127	1146	75	385	151
13200	135	1349	78	311	129	149	1534	78	308	122	129	1224	77	386	156
13385	137	1413	80	311	148	151	1621	80	333	124	131	1372	78	389	163
13550	140	1500	81	313	158	154	1622	80	355	125	133	1400	80	391	171
14360	144	1545	83	317	167	158	1671	82	390	127	137	1500	81	392	182

3.2. Condiciones de diseño

3.2.1. Cálculo de vida útil

Una de las condiciones de diseño para estar seguro que no va a existir falla es la de satisfacer el siguiente criterio:

$$\tau_{máx} <= (2\ e3 / N)^{1/9}\ \ \Upsilon_r\ \tau$$

donde :

$\tau_{máx}$: esfuerzo cortante máximo

N : número de pases

Υ_r : constante en función del tipo de lubricación y combinación de materiales

τ: esfuerzo de fluencia del material(tabla 4)

$$N = n\ l$$

donde :

N : número de pases

n : variable de carga sobre el elemento

l : número de revoluciones

Para el caso del cojinete de un cigüeñal con una determinada forma geométrica, sus esfuerzos están determinados por:

$$\tau_{máx} = (K\ P / l\ D)(0.5 / \mu 2)^{1/2}$$

P = 8093.5 lb

K = 3 (superficies bien redondeadas)

l = 1.811 in

D = 3.937 in

$$\tau_{máx} = 12893.60\ (0.5 / \mu 2)^{1/2}$$

La velocidad a que trabaja el motor es de 2100 r.p.m., y si consideramos que el tiempo máximo que han trabajado los motores sin falla es de 15000 horas entonces pondremos en tiempo trabajado en función de las horas trabajadas y determinaremos el número de horas a que está diseñado el motor.

Tenemos algunos datos que nos dan algunos textos y que es fácil determinar.

n_{shaft} = 1 / rev

$n_{journal}$ = 2 / rev

Υ_r = 0.54 (tabla 13)

τ = 6163.3 psi (journal) (tabla 2)

μ = 0.03

τ = 21879.013 psi (shaft)

Por lo tanto:

$$641.8 <= (2\ e3 / N)^{1/9} \quad 3328.182 \text{ (journal)}$$

$$641.8 <= (2\ e3 / N)^{1/9} \quad 9984.546 \text{ (shaft)}$$

El siguiente cálculo será tratado en una hoja electrónica, para saber después de cuantas horas el rodamiento falla, observar tabla 3.5.

TABLA 3.5 CALCULO DE VIDA UTIL

$\tau_{máx}$	HORAS	CIGUENAL	CHAPA	
641.8	1000	2924.612024	902.608105	
	2000	2707.824316	835.70202	
	3000	2588.539451	798.88774	
	4000	2507.106059	773.755367	
	5000	2445.70982	754.806959	
	6000	2396.66322	739.669956	
	7000	2355.963072	727.108877	
	8000	2321.266101	716.400528	
	9000	2291.0856	707.086073	
	10000	2264.420876	698.856676	
	11000	2240.567142	691.494819	
	12000	2219.009869	684.841708	
	13000	2199.362306	678.777981	
	14000	2181.326631	673.211722	
	15000	2164.668785	668.070696	
	16000	2149.201584	663.297133	
	17000	2134.773064	658.844132	
	18000	2121.25822	654.673115	
	19000	2108.553029	650.751976	
	20000	2096.570027	647.053723	
	21000	2085.235002	643.555452	
	22000	2074.484458	640.237567	falla
	23000	2064.263665	637.083176	falla
	24000	2054.525124	634.077619	falla
	25000	2045.227358	631.208097	falla
	30000	2004.212088		
	35000	1970.176548		
	40000	1941.16117		
	50000	1893.624292		
	60000	1855.649291		
	70000	1824.136644		
	80000	1797.27204		
	90000	1773.904374		
	100000	1753.258846		
	110000	1734.789767		
	120000	1718.098753		
	130000	1702.886358		
	140000	1688.921991		
	150000	1676.024425		
	200000	1623.29803		
	250000	1583.545266		
	300000	1551.788632		
	350000	1525.436149		
	400000	1502.970596		
	450000	1483.429361		
	500000	1466.164518		
	550000	1450.719731		
	600000	1436.761854		
	650000	1424.040473		
	700000	1412.362756		
	750000	1401.577153		

3.3. Determinación de parámetros de lubricación

A continuación detallaré algunos parámetros que nos darán una idea general de las condiciones a la que va a trabajar el cojinete en nuestro motor.

Las figuras y tablas tomadas en cuenta pertenecen al texto de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley (revisar Anexos)

CHAPA DE BANCADA

c = 0.07 mm =2.755e-3 in

r = 50 mm = 1.9685 in

l = 46 mm = 1.811 in

N = 2100 rpm = 35 rps

E = 2.447 mm = 0. 09633 in

$W_{máx}$ = 8093 lb

$W_{mín}$ = 2346 lb

Aceite SAE 30 a 100 ° C (212 ° F)

μ = 1.2 e-6 reyn

CARGA UNITARIA

$P = W_{prom} / 2\ r\ l$

P = 8093 / 2 (1.2e-6)(1.811)

P = 427.87 psi

$S = (r/c)^2 \ \mu N / P$

$S = (1.9685 / 2.755e\text{-}3)^2 \ (1.2e\text{-}6)(35) / 427.87$

$S = 0.05$

$l/d = 46/100$

$l/d = 0.46$

FIGURA 11.1

$S = 0.05$ $l/d = 0.46$

$ho/c = 0.13$

$ho = 0.13 \ (0.002755)$

$ho = 0.00035815$ in (espesor mínimo de película)

FIGURA 11.2

$S = 0.05$ $l/d = 0.46$

$\phi = 28°$ (ubicación angular del espesor mínimo de película)

FIGURA 11.3

$S = 0.05$ $l/d = 0.46$

$(r/c) \ f = 2.2$

$f = 2.2(0.002755)/1.9685$

$f = 0.00307$

$T = f W r = (0.00307)(3050.65)(1.9685)$

T = 18436 lb in (momento de torsión requerido para vencer la fricción)

POTENCIA PERDIDA EN EL COJINETE

H = T N /1050

H = 0.6139 HP

H = 0.4345 BTU

FIGURA 11.4

S = 0.05 l/d = 0.46

Q / r c N l = 5.5

Q = 5.5(1.9685)(0.002755)(35)(1.811)

Q = 1.89 in^3 /s

ESPOL 1958 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS" F.I.M.C.P.

FIGURA 11.5

S = 0.05 l/d = 0.46

Qs/Q = 0.92

Qs = 0.92(1.89)

Qs = 1.7388 in^3 /s (fuga lateral del lubricante por el muñón)

FIGURA 11.6

S = 0.05 l/d = 0.46

$P/P_{máx}$ = 0.24

$P_{máx} = 427.87 \ / \ 0.24$

$P/P_{máx} = 1782.79$ psi

FIGURA 11.7

$S = 0.05$ $l/d = 0.46$

$\theta_{p0} = 34°$ (ubicación punto presión máximo)

$\theta_{pmáx} = 12°$ (posición película lubricante terminal)

4. ANALISIS DE LUBRICANTES

4.1. Importancia

El propósito del análisis de lubricantes es a detectar intervalos regulares los más mínimos incrementos en el nivel de contaminación de los aceites usados en máquinas o sistemas.

Los objetivos del análisis de lubricantes son:

1. Obtener un análisis rápido del aceite usado para complementar los procedimentos regulares de mantenimiento preventivo.
2. Predecir las fallas incipientes de los equipos. Cuando se detecta en sus comienzos la contaminación o desgaste, se pueden tomar acciones correctivas antes de que el equipo tenga serios daños.
3. Evitar fallas catastróficas en los equipos. Aún cuando parezca que la condición de un equipo es muy seria, ya que el establecimiento rápido de causas puede permitir un mantenimiento programado antes de que ocurran daños mayores.
4. Asegurar que el lubricante es adecuado para su aplicación.

Con una utilización apropiada de éste programa, tendrá las siguientes ventajas:

1. Reducción del tiempo muerto de los equipos
2. Aumento de la disponibilidad

3. Extensión de intervalos y eliminación de revisiones innecesarias.
4. Reducción de costos de mantenimiento gracias a una mejor planificación del equipo, trabajo y materiales.
5. Reducción del equipo de reserva y de sus requerimientos de inventario.
6. Respaldo para extender la vida útil de los aceites en muchas aplicaciones.

4.2. **Propiedades de los lubricantes (limites de tolerancia)**

VISCOSIDAD.- La viscosidad es una de las propiedades más críticas del aceite, y se refiere a la resistencia al flujo o que tan espeso es un aceite. La viscosidad está directamente relacionada con una buena lubricación, pues indica que tan bien un aceite protege dos superficies en contacto mediante la formación y conservación de una adecuada película de lubricante. Mientras más pesado es un aceite (mayor viscosidad), más gruesa es la película lubricante que produce, y mientras más gruesa sea esta película ofrecerá mayor resistencia a la fricción y al corte, sin embargo, un aceite demasiado espeso presenta una resistencia excesiva al flujo a bajas temperaturas por lo que no fluye fácilmente hacia las partes que necesita lubricación.

A pesar de la temperatura ambiente o la temperatura del motor, un aceite debe fluir fácilmente para asegurar un suministro de aceite hacia todas las partes móviles. Por otro lado hay que tomar en cuenta que al aumentar la

temperatura, la viscosidad del aceite baja. Esto hace que sea necesario que el aceite que se use tenga una viscosidad adecuada, tanto a la máxima como a la mínima temperatura de operación del motor.

Además, la cantidad de energía que se pierde en vencer la fricción interna de una máquina depende de la viscosidad del aceite, sin olvidar la protección contra el sobrecalentamiento, la tasa de extracción de calor, y la capacidad de sellamiento de los anillos de los cilindros. Por todo esto, la selección de la viscosidad a utilizarse depende de las fuerzas generadas en el motor, de la temperatura y velocidad de operación. A mayor carga y temperatura de trabajo se requieren viscosidades más altas, mientras que a mayor velocidad se necesita una viscosidad menor.

La viscosidad de un aceite usado comparada con la de un aceite nuevo, tomando en cuenta otros factores como el tipo de equipo, tiempo y forma de uso, posibilidades de contaminación y temperaturas de funcionamiento, suministran información acerca de las condiciones del aceite. En general para los aceites de motor monogrados es permisible un aumento o disminución de sus viscosidades en un grado SAE.

Existen diversas escalas y unidades para medir la viscosidad:

Escala Internacional.- En esta escala se mide el tiempo que demora cierta cantidad de aceite en pasar de un depósito a otro a través de un tubo capilar

(viscosímetro). El resultado de estas mediciones nos da la viscosidad cinemática, a cual se mide en Centistokes (cSt). Como la viscosidad de los aceites varía con la temperatura, se debe indicar la temperatura a que se hizo la medición, la cual es generalmente de 40°C o 100°C.

Escala SAYBOLT.- Conocida como Saybolt Universal Seconds (SUS), se usa muy poco y solo en los EUA. La viscosidad en esta escala es el tiempo en segundos que demora una cierta cantidad del aceite en circular a través de un orificio de dimensiones definidas. Las temperaturas a las cuales se realiza esta medición son 100°F y 210° F.

Escala SAE.- Este sistema de medición de la viscosidad del aceite se basa en la escala de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (sae), en la cual mientras más alto es el valor mayor es la viscosidad del aceite, y cada grado SAE incluye un rango de viscosidades. La escala incluye 10 grados de viscosidad, seis de las cuales incluyen la letra W, la cual indica que se usan para climas fríos o bajas temperaturas, y va desde el grado de 5W, que corresponde a un aceite fino que fluye fácilmente hasta el grado 50 que corresponde a un aceite muy espeso que fluye lentamente. La medición de la viscosidad se la hacen a 100°C. Los grados que lleva la letra W (0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W) también se miden a -18°C. Los aceites más espesos (30, 40, 50 y 60) protegen y lubrican mejor a temperaturas altas pero demoran en fluir cuando se enciende el motor.

También existen los llamados aceites multígrados (10W30, 10W40, 15W40,

15W50, 20W50) que son formulados para los requerimientos de más de un grado SAE de viscosidad y por lo tanto pueden ser usados en un amplio rango de temperatura, es decir que fluyen más fácilmente cuando el motor está frío(durante el encendido), y a altas temperaturas son lo suficientemente espesos para dar una óptima protección contra el desgaste. También existe una clasificación para aceites de transmisiones manuales y diferenciales con valores más elevados (70W, 75W, 80W, 85W, 90, 140, 250).

Escala ISO VG.- Esta definida por la Organización Internacional de Estándares, y clasifica de acuerdo a su viscosidad a los aceites industriales. Cada grado de viscosidad ISO incluye a los aceites cuya viscosidad a 40° C en cSt difiere no más del 10% del correspondiente grado ISO.

Escala AGMA.- Es la escala definida por la Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes, y clasifica exclusivamente a los lubricantes para engranajes. Cada grado AGMA incluye un rango de viscosidades.

ÍNDICE DE VISCOSIDAD.- La viscosidad de un aceite varía cuando cambia su temperatura. Los aceites se espesan cuando se enfría y se vuelven más ligeros cuando se calientan. El índice de viscosidad (IV) es una medida de los cambios de viscosidad de un aceite con la temperatura. Los aceites con alto IV disminuyen relativamente poco su viscosidad al calentarse y se espesan menos a bajas temperaturas en comparación con los aceites de bajo IV.

Originalmente los IV se establecieron en una escala de 0 a 100, pero actualmente existen aceites como los sintéticos con IV mayores a 150, es decir con viscosidades muy estables. A los aceites con IV menor a 50 se los denomina de bajo IV, los que tienen entre 50 y 90 son de medio IV y con más de 90 son los de alto IV.

Para motores y sistemas que operan a rangos de temperatura relativamente altos se recomienda aceites de alto IV, como los multígrados.

Por otro lado, el IV es un indicador del tipo de aceite base del lubricante:

a) Aceites básicos parafínicos tienen altos índices de viscosidad.

b) Aceites básicos naftélicos tienen valores medios de IV.

C) Aceites básicos aromáticos tienen bajos IV debido a su estructura molecular ligera.

NUMERO DE NEUTRALIZACION.- Todos los aceites minerales puros bien refinados son esencialmente neutros. Sin embargo por la presencia de los aditivos, el aceite se puede volver ácido o alcalino. Durante su uso, los aceites tienden a reaccionar con el oxígeno del aire, lo cual sucede de una manera muy acelerada debido a las altas temperaturas y a la presencia del azufre en el combustible. Los que al mezclarse dan origen a ácidos que contaminan el aceite. Para evitar esto es que se utilizan aditivos bastante alcalinos. Tres números de neutralización son normalmente utilizados:

NUMERO DE ACIDEZ TOTAL (TAN). - Es el peso en miligramos de hidróxido de potasio necesario para neutralizar un gramo de aceite y es

además una medida de todos los compuestos del aceite, que reaccionarán con el hidróxido de potasio bajo condiciones específicas. Frecuentemente se refieren a este como el número de neutralización(NN).

NUMERO DE ACIDEZ FUERTE (SAN). - Es el peso en miligramos de hidróxido de potasio necesario para neutralizar los componentes ácidos fuertes presentes en un gramo de aceite. Tales ácidos son normalmente ácidos minerales indeseables en los aceites, debido a que en presencia de agua crean una condición propicia para la corrosión.

NUMERO TOTAL BASE (TBN). - Para entender la función del número total base del aceite, se debe saber que la mayor parte de los combustibles y especialmente el diesel contienen algún porcentaje de azufre, el cual proviene del petróleo de donde se obtiene el combustible, y cuyo porcentaje depende de la capacidad del proceso de refinado para eliminarlo. La presencia del azufre en el motor de combustión interna determina que se tengan productos como ácidos sulfurosos y sulfúricos, que originan corrosión en el motor.

Por este motivo se añaden en el aceite aditivos detergentes y dispersantes con compuestos alcalinos que están formulados para neutralizar los ácidos producidos por el azufre y proteger el motor de la corrosión. La medida de la alcalinidad de un aceite es lo que se conoce como TBN, por lo que a mayor TBN, mayor capacidad de neutralización de los ácidos tiene un aceite. El TBN es particularmente importante para motores a diesel de media alta potencia

operando en condiciones severas que tienden a incrementar la tendencia a la oxidación de los aceites y formación de ácidos.

El número de alcalinidad total se expresa como el número equivalente de miligramos de hidróxido de potasio que se necesitan para neutralizar todos los componentes básicos presentes en un gramo de aceite. Al analizar el TBN en aceites usados se determina la cantidad de aditivo neutralizador de ácidos que queda en el aceite. Si alguna cantidad significativa de TBN permanece en el aceite, ningún SAN debe estar presente. El principal valor de los análisis de números de neutralilzación en aceites usados es la comparación con los resultados previamente obtenidos ya que permite establecer los cambios que han ocurrido en el aceite durante su uso.

PUNTO DE FLUIDEZ.- Es la temperatura más baja a la que un aceite fluirá cuando es enfriado bajo condiciones de laboratorio. El punto mínimo de fluidez indica la temperatura abajo de la cual no será posible hacer fluir un aceite de un recipiente, o abajo de la cual puede ser peligroso depender de la fluidez del aceite en un sistema de lubricación. El punto mínimo de fluidez debe ser considerado como un valor aproximado pues existe variaciones entre el punto mínimo de fluidez determinado en el laboratorio y el real, donde el aceite fluirá en condiciones de uso donde los parámetros térmicos, la presión, el tipo y tamaño del depósito y otros factores influyen para que la temperatura sea menor. El punto mínimo de fluidez puede variar entre 7°C para algunos aceites pesados, y -46°C para aceites livianos.

PUNTO DE INFLAMACIÓN (FLASH POINT).- El punto de inflamación de un aceite es la temperatura a la cual una cantidad de vapor liberado, bajo condiciones controladas en copas abiertas o cerradas, forma una mezcla por encima de la superficie del aceite de modo que al aplicarle una llama, se inflama y quema con un resplandor instantáneo. El punto de inflamación es una indicación de la volatilidad de los componentes del lubricante. Un punto de inflamación bajo indica contaminación con un producto más volátil. El punto de inflamación o flash point, varía entre 149°C para aceites livianos y 260°C para los pesados.

GRAVEDAD ESPECIFICA.- Es una medida del peso del lubricante por unidad de volumen comparado con el peso del agua por unidad de volumen.

La gravedad API se determina por medio de un hidrómetro que tiene una escala que puede variar entre 0 y 100 grados API. Cero grados API corresponde a una gravedad específica de 1.076, 10 grados API corresponden a una gravedad específica de 1.0 y 100 grados API a 0.6112. La gravedad específica es la relación del peso de volúmenes iguales de aceite y agua, siendo ambos pesos determinados con el fluido a 15.6°C (60°F). La mayor parte de los aceites derivados del petróleo son más livianos que el agua, por lo que se tienen gravedades API por encima de 10, generalmente entre 20 y 30 grados API.

El análisis de gravedad API puede ser realizado a cualquier temperatura entre -17.8°C y 90.6°C (0°F y 195°F) pero los resultados son siempre corregidos a

15.6°C (60°F). Las gravedades API y específicas están relacionadas a través de la siguiente fórmula:

GRAVEDAD API = (141.5/ GRAVEDAD ESPECIFICA (60/60°F)) -131.5

Las dos gravedades sin embargo dan poca información acerca de las condiciones del aceite usado, a través de ellas se puede determinar la contaminación con otros productos o el uso de un aceite de categoría diferente que ha sido añadido al original, a no ser que el efecto de tales condiciones se anule mutuamente. Esta contaminación puede ser gaseosa y puede ser consecuencia del ambiente o condiciones en donde se usa el aceite. Por ejemplo el Freón 12 disminuye la gravedad API, y los gases derivados del petróleo como el butano la aumentan.

Al comparar aceites básicos sin aditivos, la gravedad API permitirá determinar si un aceite es de base parafínica o naftélica.

ESTABILIDAD FRENTE A LA OXIDACIÓN.- Los aceites cuando se calientan en presencia de oxígeno, reaccionan químicamente y cambian su estructura molecular, deteriorando sus propiedades físicas. Los síntomas de la oxidación de un aceite son: aumento de viscosidad, oscurecimiento y olor a quemado.

La estabilidad a la oxidación es muy importante en aceites que rabajan a altas temperaturas, como en los motores, y depende de la calidad del aceite base y la presencia de agentes inhibidores de la oxidación.

DEMULSIBILIDAD.- Es la habilidad del aceite para separarse del agua. Una buena demulsibilidad permite separar, decantar y drenar el agua, logrando

mantener la resistencia de la película lubricante, reducir el desgaste, y evitar la herrumbre en las partes metálicas.

OLEOSIDAD.- Es la habilidad del aceite de adherirse a las superficies que lubrica, aunque no existe una escala cuantitativa de la misma. Es de notar que la oleosidad no tiene relación con la viscosidad. La oleosidad no es importante cuando se tiene una lubricación perfecta, porque la película de lubricación proviene principalmente de las fuerzas hidrodinámicas. Pero en general se tiene que los aceites con gran oleosidad ocasionan poco desgaste en los elementos

RESISTENCIA DE LA PELÍCULA.- Este es un concepto que refleja el método de prueba y por lo tanto solo se obtienen resultados relativos de acuerdo a la prueba realizada. Las pruebas se hacen usualmente entre superficies de acero con velocidades y temperaturas definidas, y con las cargas en aumento.

COLOR.- El color de los aceites lubricantes establecido en los ensayos de laboratorio se determina por la luz transmitida y no por la reflejada

4.3. Efectos de los depósitos en los motores

4.3.1. Tipos de desgaste

Los tipos de depósitos encontrados en los motores dependen directamente de la temperatura de las partes del motor:

a) TIPO ALTA TEMPERATURA: Se forman en la parte interior de la cámara de combustión, en la cabezas de pistón y en las válvulas de descarga.

b) TIPO TEMPERATURA MEDIA: Son los llamados barnices, lacas o depósitos carbonosos, se concentran en la zona de anillos, paredes de pistón, y en las válvulas de admisión.

C) TIPO BAJA PRESIÓN: Usualmente llamados lodos y están presentes principalmente en el cárter y filtro de aceite.

4.3.2. Desgaste y formación de depósitos en motores a diesel

Una inspección sugerida por la presencia anormal de hierro en el lubricante podrá revelar la existencia de una anomalía que conllevaría a una fractura si no se corrige a tiempo. Las concentraciones normales de hierro varían entre 20 a 200 ppm.

Las concentraciones de aluminio son generalmente bajas en todos los motores, esto es menores a 20 ppm. Las manchas de aleación de cobre/plomo dan un acabado de una fina película de plomo depositada eléctricamente. Esta fina película facilita el asentamiento de los componentes en un motor nuevo

El cobre está asociado al plomo y al estaño, sus concentraciones están dadas en un rango de 30 ppm. El silicio es un tema en particular, ya que su presencia está ligada al aire que ha entrado por la admisión y

de ahí pasa a la cámara de combustión, pasando a través de los rines hacia el cárter.

4.3.3. Identificación de fallas en el sistema de lubricación

Hierro: Un aumento excesivo de hierro nos demuestra un desgaste excesivo de las camisas de los cilindros. La causa puede ser que estén dañados los rines. En general, el hierro cuando es considerado aisladamente no nos da una causa representativa para la detección de desgaste, debido a eso es mejor analizar los diferentes elementos en conjunto. Las concentraciones elevadas de hierro y silicio simultáneamente nos indican un desgaste de camisas debido al exceso de polvo captado en la atmósfera. por falla del filtro.

El aluminio es importante en la prevención de fractura de los pistones, ya que los motores no tienen otras fuentes de este elemento.

La aparición de elevadas concentraciones de plomo no es causa de alarma; aunque un desgaste acelerado de la película de plomo seguido por la aparición de concentraciones de cobre no indica un desgaste total, lo cual implica el desgaste de la película plomo/cobre, surgiendo entonces el riesgo de ruptura debido a las vibraciones tomando en cuenta las precauciones debidas.

Para el caso del cobre, está siempre asociado al plomo y al estaño, sus concentraciones están dadas en rango de 30 ppm, y están asociadas a

estos elementos, simultáneo de las concentraciones de cobre y estaño nos pueden predecir un desgaste excesivo de las chapas de bronce.

Cromo: Una presencia de cromo está ligada al desgaste excesivo de camisas y los rines cromados, o también puede ser el liquido refrigerante, ya que es común la utilización de cromo en el agua de refrigeración como agente inhibidor de corrosión y el agua que eventualmente pasa por el cárter aumentará el cromo en el lubricante.

Silicio: El silicio es un tema en particular, ya que su presencia está ligada al aire que ha entrado por la admisión y de ahí pasa a la cámara de combustión, pasando a través de los rines hacia el cárter.

Otra causa de concentración de silicio, son las aleaciones de que están constituidos algunos tipos de pistones que poseen un 12 % de este elemento en su constitución. Entonces es normal encontrar concentraciones menores a 20 ppm a presión atmosférica.

Recordemos aún que los lubricantes contienen como aditivo antiespuma 10 a 20 ppm de silicona y en este caso las concentraciones de silicio en lubricantes nuevos deben ser consideradas.

Estaño: Normalmente asociado al plomo y cobre, referido anteriormente.

Otros Elementos: Existen otros elementos cuyo control puede ser de interés en casos especiales, tales como plata, níquel, zinc, calcio, etc.

ESPOL 1958 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS" F.I.M.C.P.

4.4. Análisis de lubricantes

El análisis de lubricantes es una herramienta de administración del mantenimiento para todo tipo de motor y equipo.

El análisis de lubricante, involucra tres tipos de prueba y que son:

- análisis de desgaste, vigila el desgaste de componentes en el equipo y mide los elementos de desgaste
- prueba química y física, detecta agua, combustible y anticongelante
- análisis del estado del aceite, determina la cantidad de contaminantes(hollín, azufre oxidación y productos de nitración)

PRUEBAS DE DIAGNOSTICO.- El muestreo de aceite programado (S.O.S Scheduled Oil Sample) de Caterpillar es una serie de pruebas de diagnóstico diseñadas para identificar y medir la contaminación y degradación en una muestra de aceite. Básicamente se compone de tres pruebas:

Análisis del Desgaste: El análisis del desgaste se realiza en un espectrofotómetro de absorción atómica. Esencialmente se monitorea los componentes del desgaste y concentración de los mismos en el aceite. Basados en estándares normales de concentración de elementos, se establecen límites máximos de presencia de elementos de desgaste. Luego se toman tres muestras de aceite y se pueden establecer las líneas de tendencia

para varios elementos del desgaste en el motor particular. De este modo se puede identificar fallas en el motor, cuando los valores de pruebas posteriores se desvían de la norma establecida.

El análisis del desgaste está limitado a detectar los componentes del mismo y la contaminación gradual del lubricante. Fallas debidas a fatiga en los componentes, pérdidas inesperadas de lubricación o ingreso de polvo ocurren muy rápidamente para poder predecirse por este test.

Pruebas físicas y químicas: Estas pruebas detectan agua, combustible y anticongelante en el aceite y sirve para determinar si la concentración de los mismos excede los límites máximos establecidos.

La presencia y cantidad aproximada de agua se determina por la prueba de humedad o chisporroteo, la cual consiste en colocar una porción de aceite en una plancha caliente a 230°F. La presencia de burbujas indica la presencia de agua en el aceite, el rango aceptable se encuentra entre 0.1% y 0.5%.

La presencia de combustible se determina con la prueba del punto de inflamación en la cual se calienta el aceite con una llama hasta que se inflama, este test está calibrado para cuantificar el porcentaje de dilución de combustible, al compararlo con los valores de punto de inflamación que se tiene para el aceite nuevo.

La presencia de anticongelante también se determina por medio de pruebas químicas, un resultado positivo determina que el aceite no sirva.

Análisis de la Condición del aceite: El análisis de la condición del aceite se realiza por medio del análisis infrarrojo, por medio del cual se determina y mide la cantidad de contaminantes como hollín, productos del azufre y de la nitración. Además se puede detectar agua y anticongelante.

El análisis infrarrojo debe siempre realizarse juntamente con el análisis del desgaste, y el físico químico para asegurarse un adecuado diagnóstico. El análisis infrarrojo también se puede usar para controlar el uso de lubricantes, reduciendo manteniendo o aumentando los intervalos de cambio de aceite para condiciones y aplicaciones particulares.

Determinación de las causas de la contaminación y degradación.-

La prueba S.O.S identifica y mide varios contaminantes en el aceite que causan fallas en el motor. Por ejemplo una alta concentración de cobre indica un avance en las arandelas y desgaste, una alta concentración de cromo indica daños en los anillos de los pistones, etc.

Las pruebas antes mencionadas permiten inspeccionar las condiciones de estas partes y tomar acciones para prevenir daño futuro. Algunos de los contaminantes más comunes y su efecto en el motor son:

Contaminante: Silicio

Efecto: Valores superiores a los normales pueden indicar un problema mayor. Aceite cargado con silicio puede llegar a ser un compuesto abrasivo que puede remover metal de las partes por donde circula.

Contaminante: Sodio

Efecto: Un incremento inesperado en la cantidad de sodio indica una fuga de inhibidores desde el sistema de refrigeración, esta fuga puede ser de anticongelante el cual vuelve más espeso al aceite y hace que se vuelva lodoso produciendo que se atasquen los anillos del pistón y se tapone el filtro de aceite.

Contaminante: Silicio, Cromo, Hierro

Efecto: Una combinación de este tipo indica la entrada de suciedad a través del sistema de admisión, causando posiblemente desgaste en los anillos y cilindros.

Contaminante: Silicio, Hierro, Plomo, Aluminio

Efecto: Esta combinación indica la presencia de suciedad en la parte inferior del motor, posiblemente ocasionada por desgaste en el cigüeñal y chumaceras.

Contaminante: Aluminio

Efecto: esto puede ser crítico, ya que concentraciones de aluminio sugieren desgaste en las chumaceras. Incrementos relativamente pequeños en este elemento deben ser atendidos inmediatamente porque una vez que comienza el desgaste en el eje se pueden producir partículas metálicas grandes que taparán el filtro.

Contaminante: Hierro

Efecto: El hierro puede venir de diferentes fuentes, puede aparecer como herrumbre en motores que han estado guardados o si uso mucho tiempo. Frecuentemente cuando se presenta además pérdidas en el control de aceite, el aumento de hierro se debe a un severo desgaste en los cilindros.

Contaminante: Hollín

Efecto: Un alto contenido de hollín no es usualmente una causa directa de falla, pero como partícula insoluble, puede tapar los filtros y terminar con los aditivos dispersantes. Hollín indica un filtro de aire sucio, sobrecarga del motor, consumo excesivo de combustible o aceleración repetida, aunque también puede indicar una baja calidad del combustible usado.

Contaminante: Productos de la oxidación.

Efectos: la tasa de oxidación del aceite se controla por aditivos inhibidores. Sin embargo siempre que el aceite está en contacto con el aire se oxida, agentes oxidantes en los gases de combustión en los motores a diesel, alta temperatura, y ciertos contaminantes como el cobre y el glycol aceleran este proceso. A medida que la oxidación se incrementa, las propiedades lubricantes del aceite disminuyen, dando como resultado el espesamiento del aceite, formación de ácidos orgánicos, taponamiento de filtros, depósitos en los pistones, y atascamiento de los anillos.

Contaminante: Productos de la Nitración.

Efecto: La nitración ocurre en todos los motores, pero solo crea problemas en los motores a gas. Los compuestos de nitrógenos resultantes de los

procesos de combustión ocasionan que el aceite se espese, pierda sus habilidades de lubricación y tapone el filtro, creando depósitos de elementos pesados.

Contaminante: Agua

Efecto: El agua combinada con el aceite crea una emulsión que puede tapar el filtro, además que puede formar un ácido corrosivo. La mayoría de las veces el agua es el resultado de la condensación dentro del motor. La contaminación más grave ocurre cuando un escape en el sistema de refrigeración permite la entrada de agua hacia la máquina.

Contaminante: Combustible

Efecto: La contaminación del aceite por combustible disminuye las propiedades lubricantes, sobre todo en lo que respecta a la resistencia de la película lubricante. Esto puede conducir a una falla en las chumaceras y en las dimensiones de los pistones.

Contaminante: Azufre

Efecto: La presencia de azufre es peligrosa para todas las partes del motor. El tipo de desgaste corrosivo atribuido al alto contenido de azufre puede causar un consumo acelerado de aceite. Mientras el consumo de combustible aumenta en el intervalo de cambio de aceite, se tiene mayor cantidad de óxidos de azufre para la formación de ácidos. Por tal motivo los motores sometidos a cargas grandes deben ser revisados más continuamente sobre todo el nivel de TBN. El azufre del combustible puede causar el

atascamiento de los anillos del pistón, y desgaste corrosivo de las superficies metálicas de las guías de válvulas, anillos de los pistones y cilindros.

Las condiciones de operación del motor, pueden también ser importantes en el tipo y grado de contaminación del aceite. Un ambiente seco va afectar por ejemplo los valores de silicio. Un motor que ha estado parado mucho tiempo, los cilindros en este caso se corroen muy rápidamente por lo que habrá altas cantidades de hierro.

Los factores que influyen en el desgaste y la formación de depósitos en los motores a gasolina, pueden ser también causas potenciales de degradación de los aceites:

Causa: Combustible inadecuado

Efecto: Generalmente la calidad del combustible y una combustión completa van juntas, pues la volatilidad es un factor importante dado que es más fácil quemar combustibles gaseosos que aceites residuales pesados. El motor está sujeto a altas concentraciones de hollín y otros productos de la combustión parcial lo que acelera la formación de depósitos.

Causa: Baja temperatura en las camisas de enfriamiento

Efecto: Las bajas temperaturas del agua de circulación en las camisas de enfriamiento de los cilindros, promueven la condensación de los gases de la combustión. El vapor de agua condensado y ácidos en los gases se combinan para formar soluciones corrosivas que causan herrumbre y desgaste. Aún con combustibles con menos de 0.5% de azufre, cuando la temperatura sube

sobre los 79°C los vapores ácidos se forman fácilmente y ocurre el ataque corrosivo. A bajas temperaturas se incrementa el contenido de agua en el aceite la que puede reaccionar con ciertos aditivos reduciendo la eficacia del aceite. Esto puede causar depósitos, formación de lodos, barnices, y carbones que incrementan el desgaste en los cilindros, y puede hacer que se atasquen los anillos.

Causa: Alta humedad

Efecto: En aplicaciones donde la humedad es del 85% o más, se tienden a formar más ácidos gaseosos por el contenido adicional de agua en el aire, y por lo tanto resultar en un incremento del ataque corrosivo.

Causa: Ventilación Positiva del cárter

Efecto: Controla las emisiones del cárter removiendo los gases que han logrado pasar a través de los pistones. Si la válvula se obstruye, estos gases quedan atrapados en el cárter y se acelera el desgaste y la formación de depósitos.

Causa: Calidad y consumo del aceite lubricante

Efectos: El tipo de aceite que se usa en el motor, influye directamente en el desgaste de los anillos de los pistones y de las camisas de los cilindros debido a la corrosión. El requisito de mayor protección contra la corrosión determinó el desarrollo de aceites con un alto contenido alcalino TBN, que reaccionen con los ácidos de la combustión neutralizándolos. La tasa de consumo de aceite provee de importante información sobre el motor,

cambios graduales o sorpresivos en esta tasa indican desgaste en los cilindros y anillos, o que estos últimos están atascados.

Causa: Mantenimiento y período de cambio del aceite

Efecto: Tiene mucha influencia en el buen desempeño del motor, pues se ha comprobado que mientras más corte sea el período de cambio, más limpio está el motor, y que al aumentarse los intervalos de cambio se hace que los depósitos más pesados no puedan ser removidos por el aceite nuevo. Sin embargo en este punto hay que indicar que el color del aceite no es un indicio del estado del mismo debido sobretodo a los aditivos dispersantes que contiene.

En todo caso es recomendable cambiar el aceite antes que pierda su habilidad para controlar el desgaste corrosivo y la formación de depósitos, lo cual se determina por medio del análisis químico correspondiente.

Causa: Carga incorrecta o razón de velocidad incorrecta.

Efecto: La carga de la máquina es muy importante en la degradación del aceite. Motores funcionando a alta velocidad y gran carga opera eficientemente para los sistemas de enfriamiento y lubricación, a medida que la carga se reduce los sistemas de enfriamiento y lubricación continúan operando eficientemente, pero la máquina puede sobre enfriarse produciendo condensación, lo que puede afectar los cilindros, y anillos.

Fallas típicas relacionadas con el aceite.

La mayoría de las fallas son causadas por el aceite contaminado o degradado que fluye por el motor o por la falta de lubricación de un componente determinado. Sabiendo cómo el sistema de lubricación alimenta al motor se puede simplificar el análisis de fallas. Un ejemplo de esto es la falla de un cojinete por falta de lubricación. Si se descubre con tiempo la falla, los cojinetes más alejados de la toma de aceites mostrarán más averías.

Cojinetes

Las fallas de los cojinetes relacionadas con el aceite se atribuyen por lo general a dos causas: falta de lubricación o polvo en el aceite.

La falta de lubricación o agotamiento del aceite significa que falta aceite entre los muñones del cigüeñal y los cojinetes. Si se continúa operando un motor sin suficiente aceite, el daño a los cojinetes progresará de roce a deterioro y finalmente, al agarrotamiento de los cojinetes. La primera etapa de este tipo de daño es el roce.

En esta etapa se puede ver el corrimiento de la capa plomo-estaño, normalmente en el centro del cojinete.

En la segunda etapa se ven indicios de roce en el aluminio del centro del cojinete. En las etapas finales de fallas el resultado es un agarrotamiento total.

En las tres etapas, el muñón giratorio desgasta algo del material del cojinete, desde la corona hacia la superficie de contacto de cada mitad del cojinete. El desgaste depende de la severidad de la falta de lubricación.

La contaminación del aceite causa abrasión y resulta en deterioro de la superficie del cojinete por las partículas abrasivas incrustadas.

Cigüeñales

El aceite que fluye a los cojinetes forma una película de aceite entre el muñón del cigüeñal y el cojinete.

La rotación del muñón del cigüeñal tiende a forzar aceite entre el muñón y el cojinete y, durante la operación normal, evita roce de metal con metal a medida que se presuriza el aceite.

La falta de lubricación, o falta de aceite, causa el roce de metal con metal, aumenta la fricción y las temperaturas, cosa que lleva el agarrotamiento de cojinetes en el eje.

En casos extremos, la superficie del cojinete se adhiere tanto que destruye completamente la superficie del cigüeñal.

El aceite contaminado causa también el desgaste excesivo del cigüeñal y es casi siempre el resultado de partículas abrasivas incrustadas en los cojinetes.

Pistones, anillos y camisas de cilindro.

Las fallas de pistones relacionadas con el aceite son comúnmente causadas por la acción abrasiva de aceite contaminado, el cual causa el desgaste del faldón de los pistones.

ESPOL
1958
ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
F.I.M.C.P.

Uno de los indicios es un color gris opaco del faldón, desgaste de las superficies cromadas de todos los anillos, bordes desgastados de los anillos de aceite, ranuras de anillo excesivamente desgastadas y algo de desgaste en las camisas de cilindro.

El roce de pistones, el cual se indica como vetas en el faldón del pistón, particularmente en el área del pasador de biela y poco o nada de roce en la corona del pistón, puede ser el resultado de lubricación inadecuada de la camisa del cilindro. La descomposición de la película de aceite puede desarrollar marcas de agarrotamiento.

Los anillos del pistón puede ahora mostrar desgaste en la ranura de resorte. Algo de desgaste es normal en la ranura de resorte, pero si no se hacen los cambios de aceite cuando se deben hacer causará el "atascamiento" de los anillos, cosa que ocurre cuando el resorte se atora en una ranura desgastada y no logra su expansión total.

Las averías de las camisas de cilindro pueden ser por falta de lubricación o por productos abrasivos que causan el pulido del cilindro y dejan una superficie brillante.

Sobreenfriamiento

Aunque el sobreenfriamiento se conozca menos que el recalentamiento, los resultados pueden ser igualmente perjudiciales. Ambos producen desgaste excesivo.

El sobreenfriamiento impide que el aceite y las piezas alcancen la temperatura de operación correcta. Esto se nota especialmente durante el arranque y en aplicaciones a baja temperatura ambiente.

En estas situaciones, el aceite está frío y denso y no fluye correctamente ni con suficiente rapidez, todo lo cual se traduce en escasa lubricación. Además, cuando las piezas no alcanzan la temperatura de operación normal, aquellas no calzan correctamente entre sí, produciéndose desgaste.

Los pistones son un buen ejemplo. Si se produce sobreenfriamiento, los pistones no se expanden para calzar correctamente en el cilindro.

Realmente lo que se tiene es un pistón elíptico que se mueve hacia arriba y hacia abajo en un cilindro redondo. El resultado es desgaste excesivo alrededor del faldón del émbolo del pistón. En vez de una falla inmediata del motor que es común durante el recalentamiento- el sobreenfriamiento produce desgaste progresivo durante un período más largo.

Si un motor funciona normalmente 8000 horas hasta el reacondicionamiento en una aplicación, solo funcionará 6000 horas con sobreenfriamiento.

El sobreenfriamiento es más difícil de detectar, ya que como no hay calor excesivo no hay aumento de oxidación como ocurre durante las condiciones de recalentamiento.

5. RECOMENDACIONES PARA EL OPTIMO MANTENIMIENTO Y CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR.

5.1. Condiciones de Operación

Al revisar el aceite en un motor hay que tomar en cuenta ciertas condiciones, si está o no funcionando, o si ha estado funcionando poco antes. Estas condiciones afectan de dos maneras al nivel de aceite:

El aceite caliente se expande, y el nivel sube cuando el equipo está caliente y tiende a bajar cuando está frío. Cuando el equipo se detiene, el aceite que está en el sistema de distribución se regresa al recipiente y es probable que no se mida el verdadero nivel de aceite. Por lo tanto se debe realizar la medición de aceite cuando el motor está apagado. No es anormal que un motor en buenas condiciones consuma un litro de aceite cada mes o cada 3000Kms, pero si se supone que hay un consumo excesivo se puede realizar el siguiente chequeo:

Para localizar fugas externas, coloque hojas de periódico bajo el carro cuando esté parqueado por la noche, de modo que se pueda ubicar las fugas. Haga la misma prueba con el motor funcionando, pues ciertos escapes ocurren solo cuando aceite circula a presión.

Si hay desgaste en los anillos de los pistones o en las guías de las válvulas el aceite se introduce en la cámara de combustión donde se quema, en tal caso será evidente el humo negro o gris azulado, especialmente al acelerar, la falla

estará en las guías de las válvulas. Mida la compresión en los cilindros para confirmar el daño.

Cambiar a un aceite de una viscosidad mayor puede ayudar a controlar el consumo, siempre y cuando la nueva viscosidad sea apropiada para la temperatura en que opera el vehículo.

Señales de advertencia en el motor

Para efectuar un resumen que nos diera la pauta en la que el sistema de lubricación es lo más importante observemos a continuación los principales problema que se generan en el mismo y que son:

BAJA PRESIÓN DE ACEITE

- manómetro defectuoso
- filtro tapado
- chapas de biela ó bancada desgastadas
- bajo nivel de aceite (varilla inadecuada)
- bomba de aceite defectuosa
- Válvula de alivio defectuosa
- aceite inadecuado
- paso de agua al aceite
- paso de diesel al aceite
- mal toma de presión
- fuga externa (gran cantidad)

- enfriador del aceite tapado
- bocines de barra de levas desgastado
- coladera de la bomba de aceite tapada floja
- RPM demasiado bajas
- temperatura elevada del aceite
- cambio de aceite prolongados
- directores de aceite roto o flojo

ALTA PRESION DE ACEITE

- válvula de aceite se queda pegada en posición cerrada
- manómetro defectuoso
- aceite demasiado pesado (viscosidad elevada)

CONSUMO DE ACEITE EXCESIVO

- medida inadecuada de la bayoneta
- turbo defectuoso(rines)
- guías de válvulas desgastadas
- poca carga en el motor
- retenedores dañados
- rines desgastados y camisas
- aceite muy liviano
- alta temperatura del motor (motor sobrecargado)
- baja temperatura de operación del motor

- respiradero del cárter tapado
- exceso de aceite

PRESION EXCESIVA DE GASES DEL CARTER

- respiradero tapado
- rines y camisas gastadas (rines rotos alineados)
- guías de válvulas gastadas
- Tapón térmico flojo o roto
- camisa fisurada
- cabezote roto
- guía de válvula desgastada
- empaque de cabezote dañado
- compresor de aire (rines desgastados)
- inyectores en motores (teflones defectuosos)
- rines del turbo gastados
- tuberías de descarga de gases muy pequeña o demasiado larga
- diafragma roto en la válvula de relación de aire combustible

EXCESO DE HUMO NEGRO(combustible sin quemar)

- filtro de aire primario o secundario sucio
- exceso de combustible
- sobrecarga del motor
- operación a una velocidad muy alta
- turbocargador defectuoso

HUMO AZUL(consumo de aceite)

- horas en el motor
- camisas o aros desgastados
- sellos del turbocargador desgastados
- guías de válvulas desgastadas

HUMO BLANCO(vapor: agua en la cámara de combustión; al arrancar: combustible sin quemar)

- junta de culata con fugas
- culata o camisas agrietadas
- inyector defectuoso
- procedimiento de arranque incorrecto
- combustible de baja calidad
- sincronización incorrecta de la inyección de combustible

RUIDOS RAROS

- mal funcionamiento de boquillas e inyectores
- bujes desgastados del pasador del pistón
- cojinetes de biela y de bancada desgastados
- mal funcionamiento del turbocargador
- demasiado juego de válvulas

ARRANQUE DURO

- bomba inyectora de combustible desgastada
- técnicas de arranque inapropiado

- combustible de baja calidad (bajo cetanaje, agua)
- mal funcionamiento de boquillas o inyectores
- baja velocidad de arrastre

5.2. Mantenimiento de los diferentes sistemas.

Mantenimiento del sistema de lubricación.

El indicador de nivel de aceite debe ser usado correctamente para obtener una lectura de la cantidad de aceite que tiene una máquina. Puede ser que el aceite se escurra muy rápidamente de la varilla medidora y no se alcance a leer el nivel, esto significa que el aceite está muy caliente o diluido para lubricar bien. La varilla se debe insertar correctamente, ya que puede dar una información errónea, además que puede ser fuente de contaminación por suciedad o polvo, por lo que debe limpiarse con un paño limpio.

Otra operación frecuente es la de añadir aceite a la máquina, por lo que es muy importante asegurarse que elementos contaminantes no entren en el sistema. Para esto hay que limpiar el tapón y el área de entrada del aceite, y evitar derramar aceite al colocarlo.

Mantenimiento del sistema de presión.-

En los sistemas de distribución por presión el indicador de presión del aceite debe ser revisado a menudo, la lectura baja indica varios problemas:

- La presión debe subir rápidamente en cuanto se arranque el motor, caso contrario debe apagarse inmediatamente.
- Debe existir una válvula de retención en alguna parte del circuito de distribución para prevenir que el filtro y los circuitos de distribución drenen el aceite al colector cuando se apaga el equipo. Si la presión tarda en aumentar al encender el equipo es posible que la válvula de retención no esté funcionando como se debe.
- Por lo general la presión llegará al máximo luego de prenderse el equipo, baja un poco cuando el aceite se calienta y será comparativamente baja cuando la máquina opere a velocidades reducidas.
- Si la presión es demasiado baja cuando el equipo ya está caliente y operando a velocidad normal, quizá sea porque el nivel de aceite esté bajo, el aceite esté diluido o muy liviano, la bomba de aceite desgastada, la válvula reguladora de presión abierta o los filtros obstruidos.
- Al instalar un elemento nuevo, llénelo de aceite o por lo menos llene la carcaza, pues si la bomba debe llenarlo la presión se demorará más en llegar a su nivel una vez que se encienda el equipo.
- Los filtros de aceite deben cambiarse cada vez que se cambia el aceite o cuando haya indicios de que está obstruido.

El período de cambio del aceite depende de varios factores, tales como el estilo y la velocidad de manejo, las condiciones de tráfico, la temperatura y

la carga del vehículo, el método ideal para establecer el período de cambio es el análisis del laboratorio del aceite. Sin embargo para un auto particular este puede ser un método muy caro, por lo que por lo general se basa en las recomendaciones de los fabricantes de vehículos. La mayoría recomiendo un período de 10000 Km en condiciones normales o 5000Km en condiciones severas usando aceites convencionales.

Mantenimiento de rutina

Se debe realizar una inspección del motor y el radiador para observar si existe la acumulación de basura, fugas, conexiones, mangueras, alambres y protecciones flojas o mal ajustadas.

Consideraciones importantes diarios:

- Verificar el nivel del aceite en el cárter del motor.
- verificar nivel del refrigerante en el sistema de enfriamiento
- verificar indicador de servicio del filtro de aire
- Verificar nivel de aceite del lubricador del motor de arranque neumático.
- Drenar el agua en los tanques de aire.

Cada 50 horas ó 1900 lt de combustible:

- Limpiar el colector de polvo.

Cada 125 horas ó 4250 t de combustible:

- Lubricación de los ejes principales de la toma de fuerza, palanca de cambios cojinetes guías.

- Embrague, comprobar y ajustar para que trabaje correctamente.

Cada 250 horas ó 8500 lt de combustible:

- análisis de lubricantes (sólo motores turboalimentados)
- sistema de lubricación, reemplazo de aceite y filtro del motor
- filtro de combustible, limpieza del filtro primario y cambio del filtro final
- Sistema de enfriamiento, añadir aditivo suplementario de refrigerante.
- respiradero del cárter, limpiarlo (sólo motores turboalimentados)
- aletas del radiador, mangueras y correas, inspeccionar y comprobar su funcionamiento
- tanque de combustible, drenar el agua
- Luz de válvula, comprobación y ajuste(sólo al primer cambio de aceite)
- Sensores de velocidad del motor (magnéticos), inspección y ajuste(sólo al primer cambio de aceite)

Cada 500 horas ó 17000 lt de combustible:

- análisis de lubricantes (sólo motores de aspiración natural)
- sistema de lubricación, reemplazo de aceite y filtro del motor(sólo motores de aspiración natural)
- respiradero del cárter, limpiarlo (sólo motores de aspiración natural)
- Luz de válvula, comprobación y ajuste(sólo al primer cambio de aceite en motores de aspiración natural)

Cada 1000 horas ó 34000 lt de combustible:

- dispositivos de protección del motor, inspección y compruebe su operación

Cada 2000 horas ó 67000 lt de combustible:

- Luz de válvula, control de relación de combustible y ajuste y sincronización y baja en vacío, compruebe/ ajuste
- inyectores de combustible, comprobar su operación
- turboalimentador, montajes de motor. amortiguador y rotaválvulas, inspeccione/ compruebe su operación

Cada 3000 horas, 91000 lt de combustible ó cada 3 años:

- sistema de enfriamiento, limpie y enjuague
- termostato, reemplácelo
- mangueras del refrigerante, reemplácelas

Cada 4000 horas ó 136000 lt de combustible:

- compresor de aire, bomba de agua, motor de arranque y turboalimentador, Inspeccione, reconstruya o cambie.

Cada 6000 horas ó 204000 lt de combustible:

- alternador, inspeccione, reconstruya o cambie

Cada 10000 horas ó 340000 lt de combustible:

- Culata, bielas, pistones, camisas del cilindro, turboalimentador, bomba de aceite, plancha espaciadora, control de relación de combustible, seguidores de levas, bomba de transferencia y avance de sincronización, inspeccionar construir o reemplácelo

- anillos de pistón, cojinetes de biela y de bancada, rotaválvulas y sellos de cigüeñal,

  reemplazarlos

- cigüeñal, árbol de levas, cojinete del árbol de levas, amortiguador de vibraciones, regulador, árbol de levas de la bomba de combustible y cremallera de combustible inspeccionar

- núcleos del enfriador y del post enfriador de aceite, limpieza y comprobación de su

  funcionamiento

  Los caminos tomados para efectuar los mantenimientos y permitir el óptimo funcionamiento de los equipos deben estar siempre influido por los resultados que dieran los análisis de lubricantes.

6. ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE ACEITES LUBRICANTES

El almacenamiento de lubricantes deberá estar condicionado como reglas esenciales a la limpieza y buen control. Un depósito separado y preparado contra incendios, deberá reservarse específicamente para este propósito, deberá estar localizado en un punto central, bien iluminado, libre de polvo u otro contaminante atmosférico y deberá contar con equipo contra incendio.

Los lubricantes almacenados deberán estar organizados de tal forma que se utilice primero el stock antiguo. Todos los sistemas de control deberán ser mantenidos dentro del depósito, sin embargo se deberá llevar un control central y toda la información antigua almacenada en una oficina separada.

Todos los trasvases de lubricantes de sus recipientes originales a otros portátiles, deberán ser siempre realizados en esta área, mientras más mecanizada y completa se haga estas operaciones de transferencia, tanto mejor.

En el mercado existe una gran variedad de equipos para bombeo y control de medidas de lubricantes. El manipuleo de los mismos con estas facilidades, evita su contaminación y consecuentemente asegura el uso de los lubricantes que estén limpios, y se puede decir sin temor a dudas que estos equipos se pagan a sí mismos varias veces, cuando son operados dentro de labores de rutina.

Si se hace necesario el almacenamiento de aceites o grasas a la imterperie, estas deberán ser colocas en estantes y que descansen en sus costados.

Jamás permita que se almacene un cilindro de lubricantes en posición "parado", debido a que la humedad atmosférica penetra dentro del cilindro contaminando los lubricantes.

Pasos a seguir para el cambio de aceite.-

Previamente se debe verificar en el manual de servicio la cantidad de aceite, el grado API y la viscosidad SAE, luego se procede:

- Se calienta el motor a su temperatura normal de operación. El aceite caliente fluye más rápido y arrastra mayor cantidad de contaminantes sólidos.
- Remueva el tapón del cárter, evitando el contacto con el aceite caliente.
- Mientras el aceite se drena revise el empaque del tapón, para determinar si hay deterioro que pueda generar fugas.
- Una vez drenado todo el aceite coloque y ajuste el tapón.
- Observe el color del aceite, normalmente debe ser negro, si tiene apariencia lechosa probablemente agua ha entrado en el motor, también revise si hay presencia de partículas metálicas.
- Desenrosque el filtro y revise la superficie del motor en contacto con él para asegurarse que no haya ralladuras o daños que puedan originar fugas.
- Antes de instalar el nuevo filtro, aplique aceite nuevo sobre el empaque de caucho para que selle correctamente y coloque el filtro nuevo.

- Llene el motor con el aceite nuevo en la cantidad adecuada.
- Encienda el motor y déjelo funcionar durante un minuto y revise la varilla de nivel para asegurarse que el nivel sea el correcto.

7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Hay que brindar un mantenimiento exhaustivo y las garantías que el equipo necesita para su óptimo funcionamiento.

El análisis de lubricante nos permite verificar que se lleva el programa de mantenimiento correcto, generando un número de horas de producción mucho mayor.

El desgaste ideal de las piezas del motor es menor al que se obtuvo en la realidad, de esta forma se tuvo que utilizar un factor de ajuste para que el desgaste sea similar al real y este factor puede ser entre 1.8 – 2,2 según sea el caso de condición crítica de funcionamiento, pero en nuestro caso particular fue de 2.

No se debe olvidar que muchas de las variables que tomamos son empíricas y han sido determinadas para climas de otros países, y ese ha sido uno de nuestras consideraciones para ajustar la recta.

Uno de los puntos más importantes que debemos entender es que al aplicar las diferentes formulas obtenidas, nuestra recta variaba considerablemente si se tomaba los valores obtenidos entre las tablas.

Lo necesario de este proyecto consiste en que utilizando las variables que tenemos en las tablas y usando el factor de corrección, lograremos poder predecir el desgaste de equipos similares al nuestro y las horas productivas que tendrá nuestro equipo.

8. VOCABULARIO

Acidez: denota la presencia de constituyentes ácidos, cuya concentración se define normalmente en términos de número total de Acidez (T.A.N.).

Basicidad: denota la presencia de constituyentes básicos, cuya concentración se define normalmente en términos de número total de base (T.B.N.).

Ceniza: Algunos aditivos, especialmente los detergentes corriente, dejan un residuo de polvo después de la combustión. A este residuo se lo conoce con el nombre de ceniza y puede causar mal funcionamiento del motor si se permite que se acumule en la cámara de combustión.

Centistoke(cSt): unidad de viscosidad cinemática.

Emulsión: una mezcla mecánica de los líquidos insolubles tales como aceite y agua

Emulsibilidad: La capacidad de un líquido no soluble en agua de formar emulsión con el agua.

Demulsibilidad: Propiedad que posee un lubricante de no formar emulsión con agua, esta propiedad se obtiene por una prueba que mide el tiempo de separación de una muestra bien mezclada de aceite y agua y da como resultado el número de demulsificación.

Inhibidor: una sustancia que se añade en proporciones pequeñas a un lubricante para evitar o retardar cambios perjudiciales que pueden ocurrir en la calidad del lubricante, o en las condiciones del equipo en el que éste se emplee.

Lubricantes: cualquier sustancia interpuesta entre superficies adyacentes con el fin de reducir la fricción entre ambos.

Monogrado (grado único): es un término que se emplea para describir un aceite que tiene un solo grado de viscosidad

Multigrado : término empleado para describir un aceite que tiene varios grados de viscosidad. Esto se logra con la adición de un aditivo mejorador del índice de viscosidad.

Número de cetano: una medida de la calidad de ignición de un combustible diesel, indicando la facilidad relativa con la que el combustible se encenderá al ser inyectado en la cámara de combustión de un motor de encendido por compresión.

ESPOL
1958
ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DEL LITORAL
M.C.

9. BIBLIOGRAFIA

1. CATERPILLAR; Manuales de Operación y funcionamiento de equipos (varias).
2. MOBIL; Folleto de Servicio Técnico, 1986.
3. MOBIL; Lubricación de Industrias.
4. HALLING J; Principles of Tribology; Macmillan Education ltda. 5th edition.
5. METAL HANDBOOK, 9th edition, vol 2
6. MOBIL, Técnicas de Lubricación, 1986.
7. MOBIL; Manual Técnico, 1986
8. KRAGELSKY I. V.; Tribology handbook; Pergamon Press; 1971.
9. OBERT EDUARD F.; Motores de Combustión Interna; 2ND edition, Compañía Editorial Continental S. A., 1992
10. REMLING JOHN; Mecánica Automotriz Básica.
11. SAE HANDBOOK, part 1, 1979
12. SHELL; Publicaciones periódicas; Manual de lubricación (varias).
13. SHELL; Ensayos de laboratorio;1997.
14. SHELL ECUADOR S. A.; Guía de Lubricación; Motores de Combustión Interna, 1989.
15. TEXACO; Publicaciones periódicas; Manual del lubricador (varias);1973.
16. T NEALE M.; Design of Machine Elements; Newner Butter, London, 1973.

17. ZURITA JORGE, ING.MEC.; Modelo de Mantenimiento y Lubricación Computarizado en grupos electrógenos; Tesis de Grado; 1984.

ANEXOS

TABLA 1 (Ref 5)*

BABBITT BASE PLOMO
80Pb - 15 Sb - 5 Sn

Especificaciones	ASTM B23, Aleación 9	
Composición Química	Sn	4.5 - 5.5
	Sb	1.4 - 1.6
	As	0.3 - 0.6
	Cu	0.5 máx
	Fe	0.10 máx
	Bi	0.10 máx
	Zn	0.005 máx
	Al	0.005 máx
	Cd	0.05 máx
	Pb	resto
Usos Típicos	ejes y chapas de carros trabajando a mínima carga y moderada velocidad	
	Precaución : plomo representa un peligro para la salud	
Propiedades mecánicas		
Módulo Elasticidad	29 Gpa (4.2e6 psi)	
Esfuerzo Fatiga	27 Mpa (3.9 ksi) a 20e6 ciclos	

Temperatura		Esfuerzo de tensión		Elongación	Dureza
°C	°F	Mpa	Ksi	%	HB
25	77	69	10.0	5	20
100	212	38	5.4	27	10
150	302	20	2.9	55	7.3

Característica Masa	
Densidad (ρ)	9.96 Mg/m3 (0.36 Lb/m3) a 20 °C (68 °F)
Variación vol. congelarse	aprox. 2 %
Propiedades Térmicas	
Temp Líquido	272 ° C (522 °F)
Temp. Sólido	240 ° C (464 °F)
Coef. Expansión térmica	
Lineal	24 μm / m K (13.3 μ in / m ° F) de 20 - 100 ° C (68 - 212 ° F)
Calor Específico	150 J / Kg K (0.036 BTU / lb °F) de 20 - 100 ° C (68 - 212 ° F)
Calor Latene de Fusión	110 KJ / Kg
Propiedades Eléctricas	
Conductividad Eléctrica Vol.	6.1 % IACS
Resistividad Eléctrica	282 nΩ .m

TABLA 2 (Ref 5)*

BABBITT BASE PLOMO
85Pb - 10 Sb - 5 Sn

Especificaciones	ASTM B23, Aleación 13; SAE J460, # 13	
Composición Química	Sn	5.5 - 6.5
	Sb	9.5 - 10.5
	As	0.25 Máx
	Cu	0.5 máx
	Fe	0.10 máx
	Zn	0.005 máx
	Al	0.005 máx
	Cd	0.05 máx
	Pb	resto
Usos Típicos	ejes y chapas de carros trabajando a mínima carga y moderada velocidad	
	Precaución : plomo representa un peligro para la salud	
Propiedades mecánicas		
Módulo Elasticidad	29 Gpa (4.2e6 psi)	
Esfuerzo Fatiga	26 Mpa (3.7 ksi) a 20e6 ciclos	

Temperatura		Esfuerzo de tensión		Elongación	Dureza
°C	°F	Mpa	Ksi	%	HB
25	77	69	10.0	5	19
100	212	34	4.9	30	8.5

Característica Masa	
Densidad (ρ)	10.5 Mg/m3 (0.38 Lb/m3) a 20 °C (68 °F)
Variación vol. congelarse	aprox. 2 %
Propiedades Térmicas	
Temp Líquido	256 ° C (493 °F)
Temp. Sólido	240 ° C (464 °F)
Calor Específico	150 J / Kg K (0.036 BTU / lb °F) de 20 - 100 ° C (68 - 212 ° F)
Calor Latene de Fusión	900 J / Kg
Propiedades Eléctricas	
Conductividad Eléctrica Vol.	6.0 % IACS
Resistividad Eléctrica	287 nΩ .m

TABLA 3 (Ref. 5)*

BABBITT BASE PLOMO
83Pb - 15 Sb - 1 Sn -1 As

Especificaciones	ASTM B23, Aleación 15; SAE J460, # 15	
Composición Química	Sn	0.8 - 1.2
	Sb	14.5 - 17.5
	As	0.8 - 1.4
	Cu	0.6 máx
	Fe	0.10 máx
	Bi	0.10 máx
	Zn	0.005 máx
	Al	0.005 máx
	Cd	0.05 máx
	Pb	resto
Usos Típicos	ejes y chapas de carros trabajando a elevada carga y altas velocidad como motores a diesel y otros	
	Precaución : plomo representa un peligro para la salud	
Propiedades mecánicas		
Módulo Elasticidad	29 Gpa (1.2e6 psi)	
Esfuerzo Fatiga	30 Mpa (4.2 ksi) a 20e6 ciclos	

Temperatura		Esfuerzo de tensión		Elongación	Dureza
°C	°F	Mpa	Ksi	%	HB
25	77	71	10.4	2	20
100	212	41	6.4	9	13.7
150	302	26	3.7	26	10

Característica Masa	
Densidad (ρ)	10.1 Mg/m3 (0.365 Lb/m3) a 20 °C (68 °F)
Variación vol. congelarse	aprox. 2.5 %
Propiedades Térmicas	
Temp Líquido	353 ° C (667 °F)
Temp. Sólido	247 ° C (595 °F)

TABLA 4 (Ref. 5)*

BABBITT BASE ESTAÑO
91 Sn - 4.5 Sb - 4.5 Cu

Especificaciones	ASTM B23, Aleació1.	
	SAE 10	
Composición Química	Sn	90 - 92
	Sb	4.0 - 5.2
	As	0.10 máx
	Cu	4.0 - 5.0
	Fe	0.10 máx
	Zn	0.005 máx
	Pb	0.35 máx
Usos Típicos	chapas, fundiciones	
Propiedades mecánicas		
Esfuerzo de tensión	64 Mpa (9.3 ksi); elongación 2 %	
Módulo Elasticidad	50 Gpa (7.3e6 psi)	
Esfuerzo Fatiga	26 Mpa (3.8 ksi) a 20e6 ciclos	
Dureza	17 HB	

Temperatura		Esfuerzo de compresión Al 0.125 %		al 0.3 %		Energía de Impacto	
°C	°F	Mpa	Ksi	Mpa	Ksi	J	Ft.lb
20(a)	68(a)	30.3	4.4	43.4	6.3	3.4	2.5
60	140			35.8	5.2		
100(b)	212(b)	17.9	2.6			4.1	3.0
150	302					4.5	3.3
200	392			6.9	1.0	3.1	2.3

Característica Masa	
Densidad (ρ)	7.34 Mg/m3 (0.265 Lb/m3)
Propiedades Térmicas	
Temp Líquido	371 ° C (700 °F)
Temp. Sólido	223 ° C (433 °F)

TABLA 5 (Ref. 5)*

BABBITT BASE ESTAÑO
89 Sn - 7.5 Sb - 3.5 Cu

Especificaciones	ASTM B23, Aleación 2	
Composición Química	Sn	88 - 90
	Sb	7.0 - 8.0
	As	0.10 máx
	Cu	3.0 - 4.0
	Fe	0.08 máx
	Bi	0.08 máx
	Zn	0.005 máx
	Al	0.005 máx
	Cd	0.05 máx
	Pb	0.08 máx
Usos Típicos	chapas y bocines	
Propiedades mecánicas		
Módulo Elasticidad	52 Gpa (7.6e6 psi)	
Esfuerzo Fatiga	33 Mpa (4.8 ksi) a 20e6 ciclos	
Dureza	24 HB	

Temperatura		Esfuerzo de tensión		Elongación	Reducción area
°C	°F	Mpa	Ksi	%	%
20	68	77	11.2	18	25
49	120	63	9.2	24	27
100	212	45	6.5	23	28
149	300	28	4.0	32	38
175	345	20	2.9	38	44

Característica Masa	
Densidad (ρ)	7.39 Mg/m3 (0.267 Lb/m3)
Propiedades Térmicas	
Temp Líquido	354 ° C (669 °F)
Temp. Sólido	241 ° C (466 °F)

TABLA 6 (Ref. 5)*

BABBITT BASE ESTAÑO
84 Sn - 8 Sb - 8 Cu

Especificaciones	ASTM B23, Aleación 3	
Composición Química	Sn	83 - 85
	Sb	7.5 - 8.5
	As	0.10 máx
	Cu	7.5 - 8.5
	Fe	0.08 máx
	Bi	0.08 máx
	Zn	0.005 máx
	Al	0.005 máx
	Cd	0.05 máx
Usos Típicos	chapas y bocines	
Propiedades mecánicas		
Esfuerzo Tensión	69 Mpa (10 ksi) , Elongación 1 %	
Dureza	27 HB a 20 °C (68 °F); 14 HB a 100 °C (212°F)	

Temperatura		Esfuerzo de compresión Al 0.125 %		al 0.3 %		Energía de Impacto	
°C	°F	Mpa	Ksi	Mpa	Ksi	J	Ft.lb
20	68	46	6.6	55	8	1.2	0.9
60	140			47	6.8	1.3	1
100	212	21	3.1	35	5.1	1.3	1
150	302					1.5	1.1
200	392			7	1.0	0.9	0.7

Característica Masa	
Densidad (ρ)	7.45 Mg/m3 (0.269 Lb/m3)
Propiedades Térmicas	
Temp Líquido	422 ° C (792 °F)
Temp. Sólido	240 ° C (464 ° F)

TABLA 7 (ref. 5)*

COMPONENTE EXAMINADO	TIPO RUGOSIDAD	$R_{máx}$, μm	r, μm	b	ν	R_a, μm	Δ
Superficie acero en contacto con banda de Empaque.	9	0.72	180	3.1	3	0.13	2.70E-10
Manga de eje (chapa de acero grado 2X13)	9	0.84	58	1.8	2	0.15	1.10E-02
Anillos de pistón de hierro fundido	11	0.15	85	1.8	2.3	0.03	1.04E-03
Manga de eje lisa (bocín metal- cerámico MoS2)	7	5.4	77	3.5	1.8	0.09	3.50E-02
Disco de Embrague	10	0.6	46	1.4	2.1	0.1	1.10E-02
Ranura circular en engranaje	7	7.3	35	1.6	1.4	1.27	1.50E-01
Anillos de los pistones (rines)	10-11	0.48	270		0.4	0.02	1.70E-03
Cigüeñal (conector de biela y piston)	9	1.6	500		1.2	0.056	3.10E-03
Chapas del cigüeñal	8-9	2.6	300		2	0.42	8.60E-02
Pasador conector de biela	11	6.7	300			0.11	2.20E-02
Piston(pasador- agujero)	9	1.1	220			0.18	5.00E-03
injectores a diesel		0.6	35	3.8	1.9	0.1	1.70E-02

TABLA 8 (ref. 5)*

TIPO DE DEFORMACIÓN	SUPERFICIES	ω	α
Elástica	superficies metálicas	0.5	0.5
Plástica	superficies metálicas	0	1

TABLA 9 (Ref. 8)*

MATERIAL	σ_0 (Mpa)	t_f	MATERIAL	σ_0 (Mpa)	t_f
Acero Grado	70	7.9	Aleaciones Babbitt		
Hierro Fundic	66	4.1	base plomo	70	5.0 - 5.5
Grafito	250	2.6	base estaño	60	5.0 - 5.6
Gomas					
E(módulo elasticidad)kg/cm2			Fluoroplásticos	0.6	5
22	21.1	3	Resina epóxica	18	4.6
28	14.3	3.4	Retinax	118	12.6
32.5	85	3.6			

TABLA 10 (Ref. 8)*

ALEACIONES ANTIFRICCION	HB	Límite de fatiga Mpa	
		ϕ = 52.7 mm , L = 29.5	ϕ = 52.7 mm , L = 29.5
Babbitt estaño SAE 12, e = 0.25mm	28-33	3.5	
babbitt plomo SAE 15, e = 0.25mm	17-22	3.5	
aleaciones de aluminio			
20 Sn - 1Cu	38-43	9.1-10.5	10.5
10Pb - 4 Si	42-47	9.1-10.5	
6Sn - 1Cu - 1 Ni combinada con		9.8-10.5	
aleación Pb + 10 % Sn, e= 0.025 mm	40-50	11.2-12.6	11.9
aleacion de aluminio(11Si-1Cu-1Mg-1Ni)			
comb. con aleac. Pb+10% Sn e=0.025 mm	55-65	>12.6	

TABLA 11 (Ref. 8)*-

Aleaciones	desgaste relativo	Aleaciones	desgaste relativo
Babbitt Grado B83	1	Aleación aluminio Grado	
Estaño	4	A092, recubierto con	
Aleación.aluminio		capa 10Sn-90Pb	1.95
GradoA09-2	3.5	recubierto con disulfuro de	
		molibdeno	1.45

TABLA 12 (Ref. 8)*

Desgasten de chapas en motores en Rusia

CARACTERISTICAS	I x e4 (mm/km)	
	Gorky	Moscú
Desgaste promedio		
cigüeñal en chapa de aluminio	4.03	2.1
chapa superior de acero-aluminio	0.78	0.8
chapa inferior de acero aluminio	0.37	0.3
Incremento global del diametro en chapa Al	5.18	3.2
Desgaste promedio		
cigüeñal en chapa standard COC 6-6	3.24	1.5
chapa superior standard COC 6-6	2.34	2.2
chapa inferior standard COC 6-6	1.34	2
Incremento global del diametro	6.92	5.7

TABLA 13 (REF 16)*

Aleaciones de Bronce			
Material	Lubricación	γ_r	μ
Be-Cu	Seca	0.2	0.78
	A	0.54	0.29
	B	0.2	0.15
	C	0.54	0.29
	D	0.54	0.35
Sn-Cu	Seca	0.2	1.23
	A	0.21	0.29
	B	0.54	0.15
	C	0.54	0.26
	D	0.54	0.1

FIG. 11.1 (ref. 14)*
ESPESOR MINIMO DE PELICULA

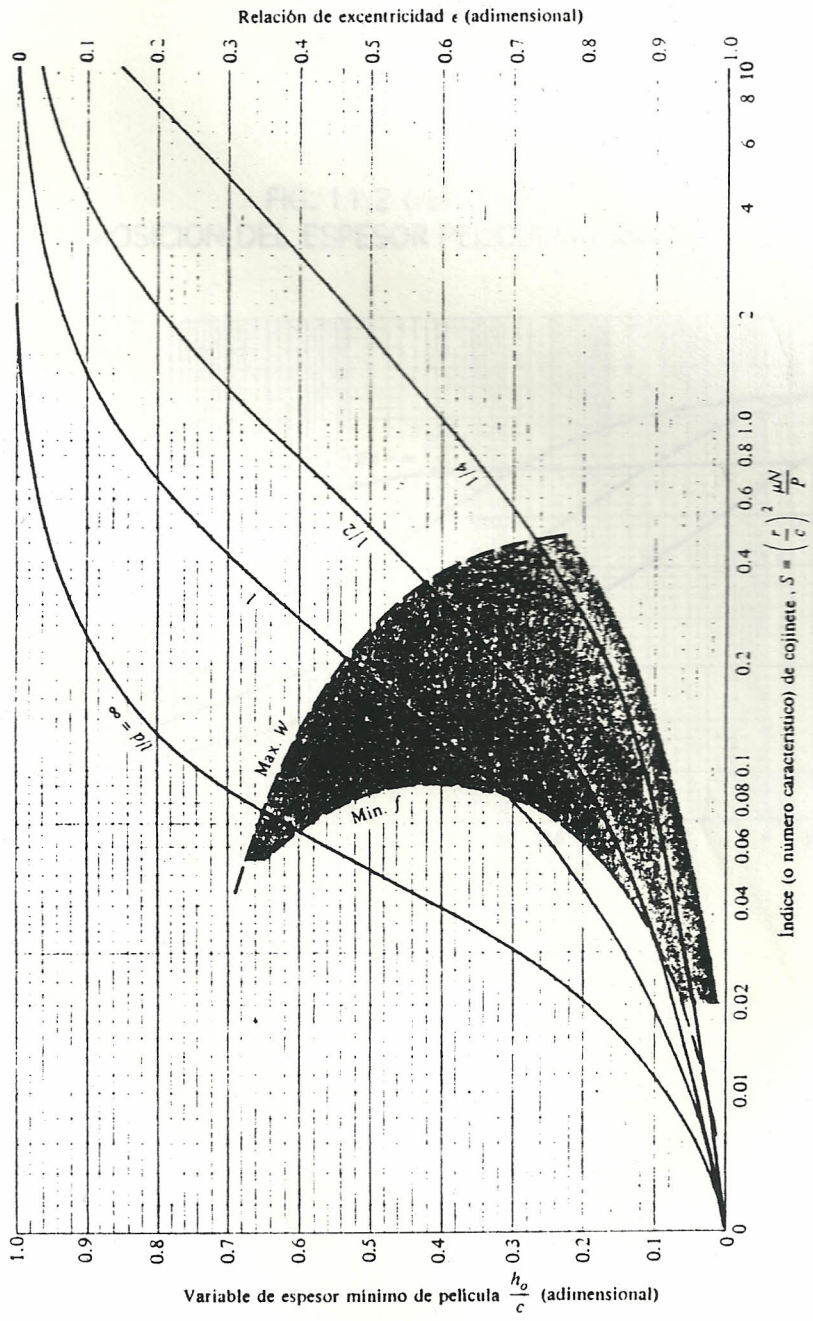


FIG. 11.2 (ref. 14)*
POSICION DEL ESPESOR PELICULIAR MINIMO

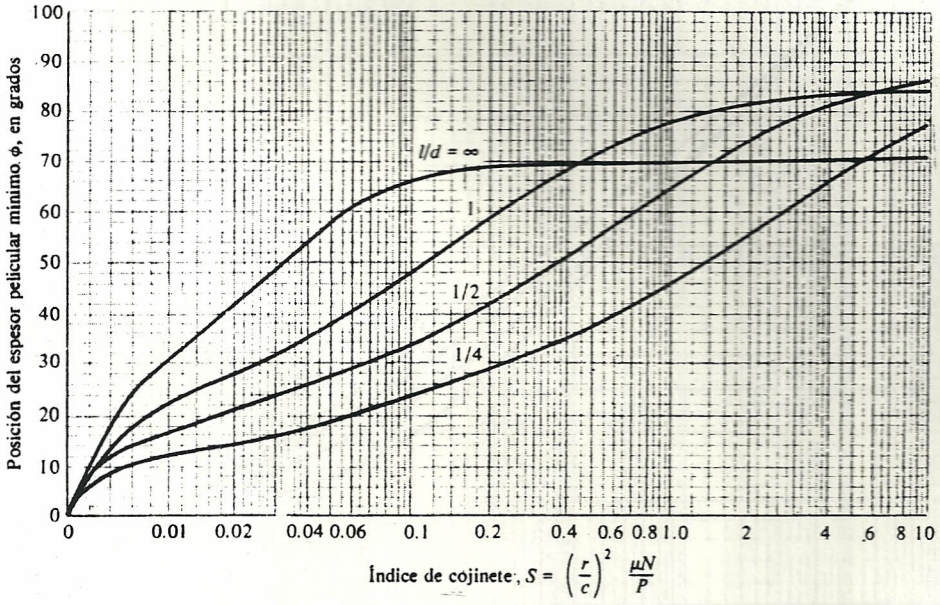


FIG. 11.3 (ref. 14)*
COEFICIENTE DE FRICCION

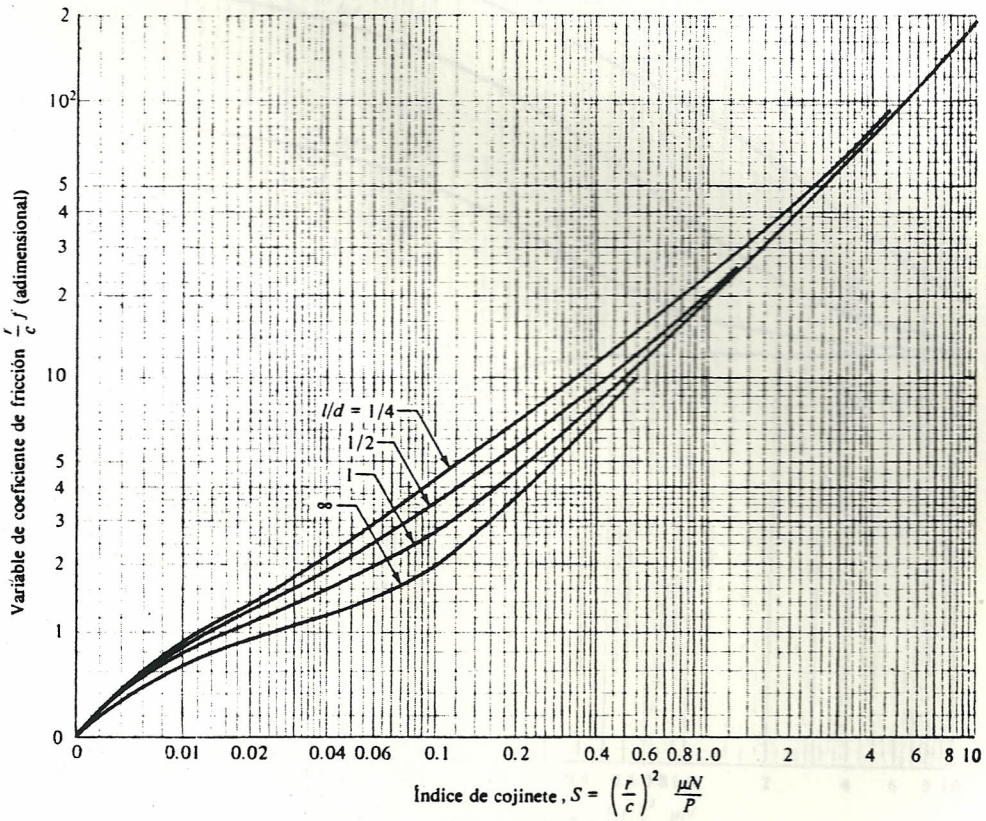
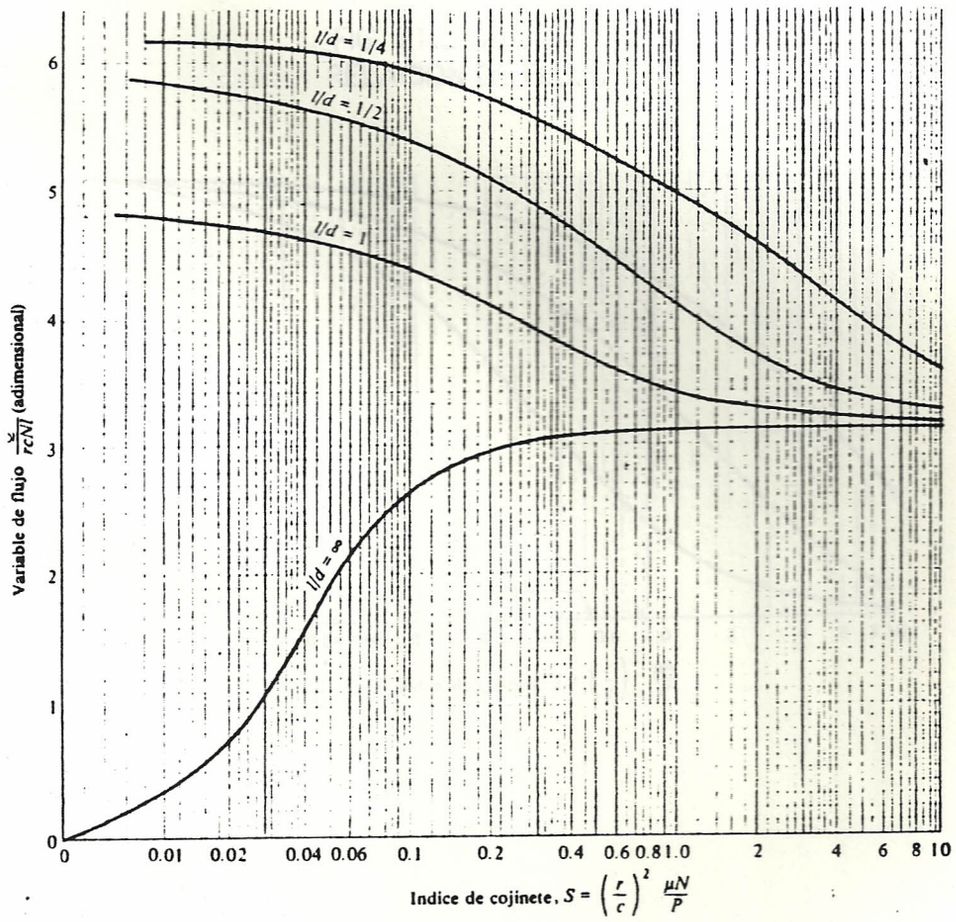


FIG. 11.4 (ref. 14)*
VARIABLE DE FLUJO



ESPOL
1958
ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
F.I.M.C.P.

FIG. 11.5 (ref. 14)*
RELACION DE FLUJO

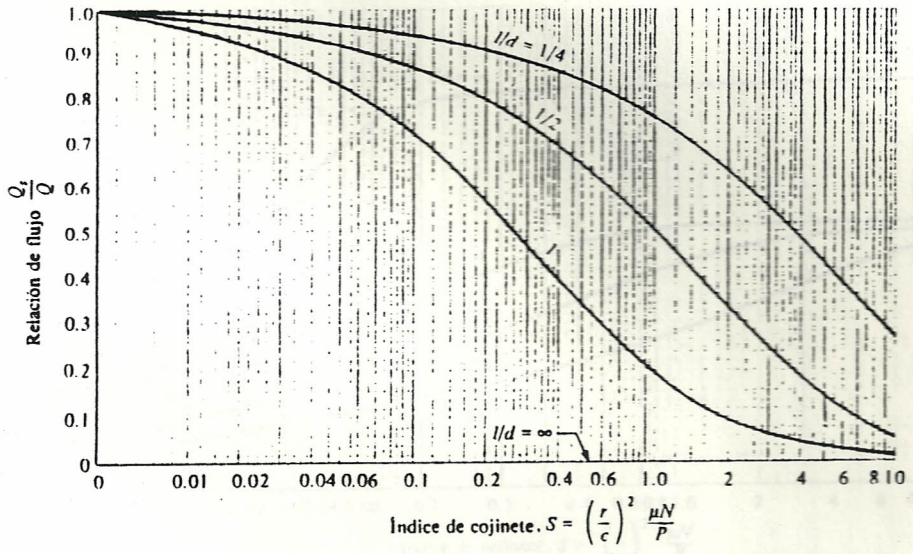


FIG. 11.6 (ref. 14)*
RELACION DE PRESION MAXIMA PECULIAR

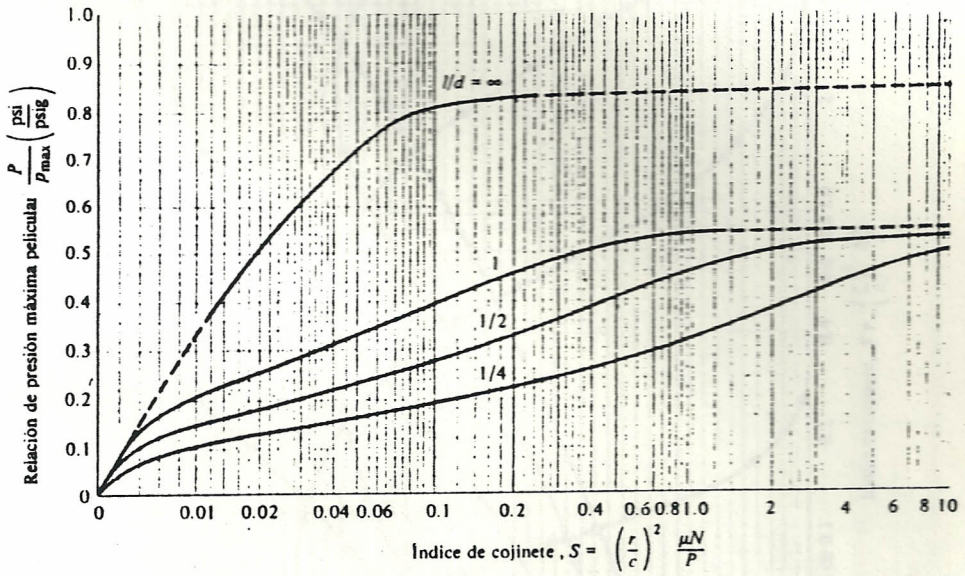


FIG. 11.7 (ref. 14)*
POSICION TERMINAL DE PELICULA

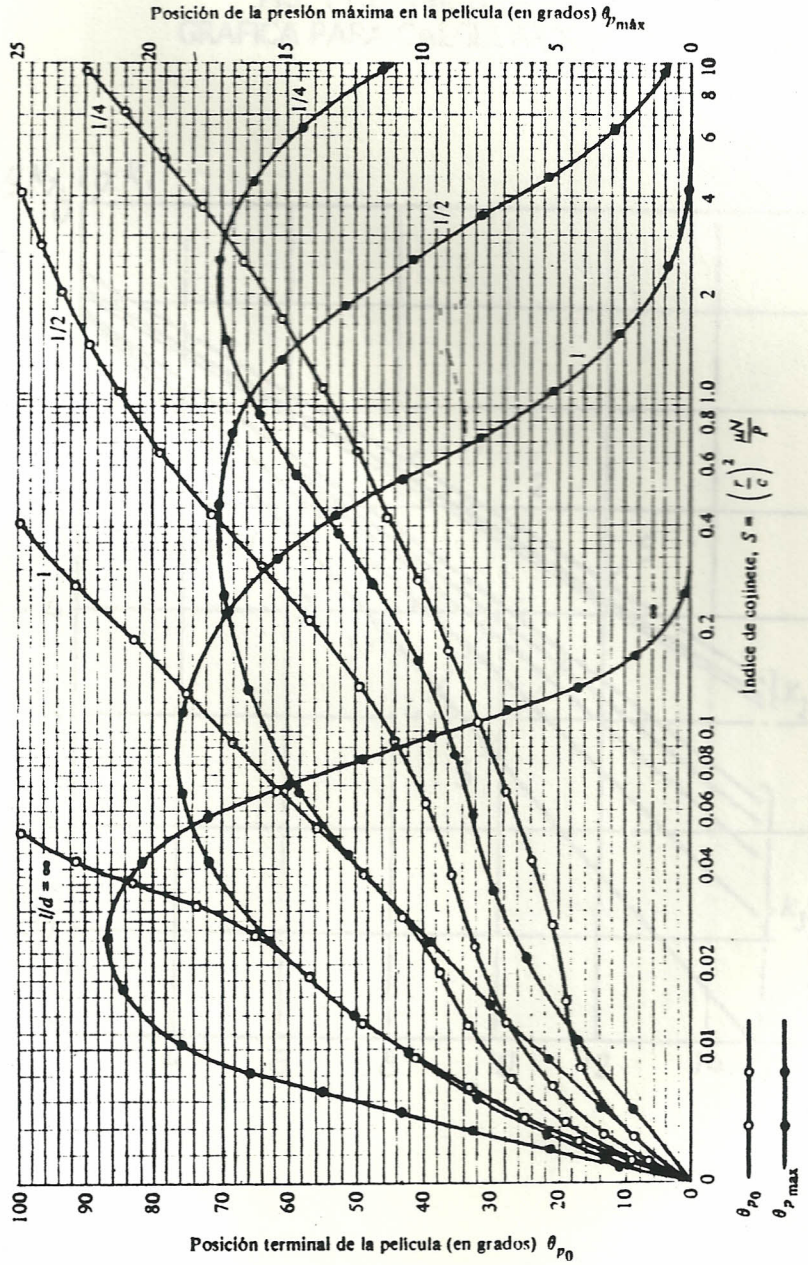


FIG. 11.8 (ref. 8)*
GRAFICA PARA CALCULAR K_2

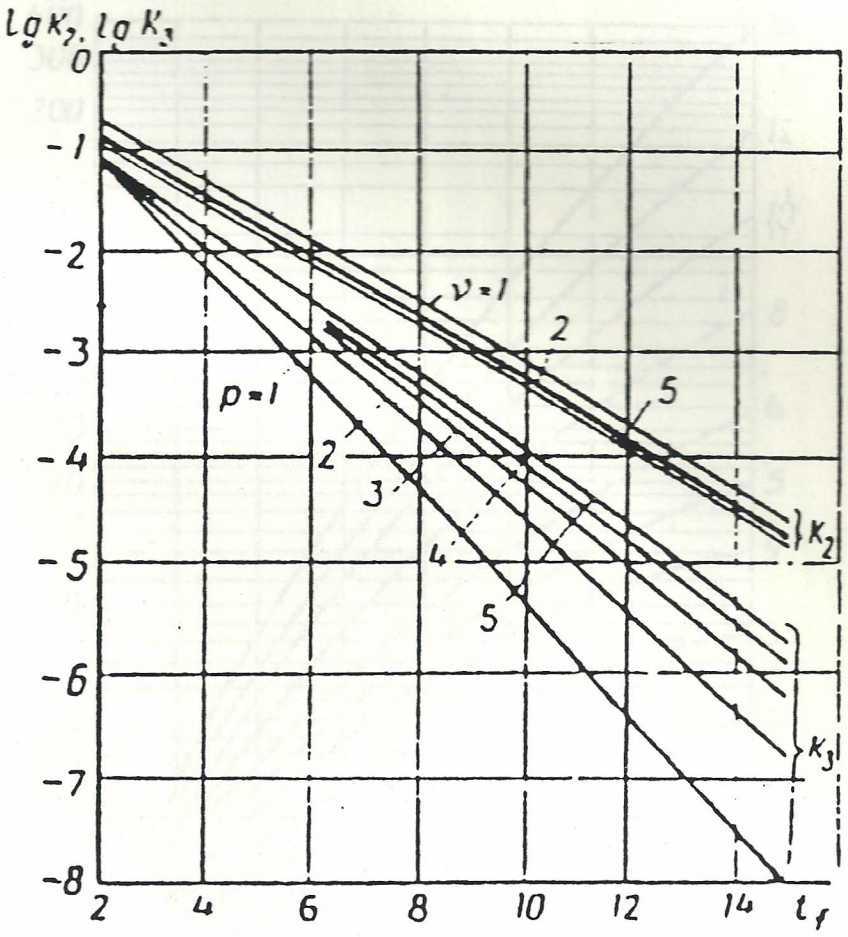


FIG. 11.9 (ref. 8)*
GRAFICA PARA CALCULAR K_{tv}

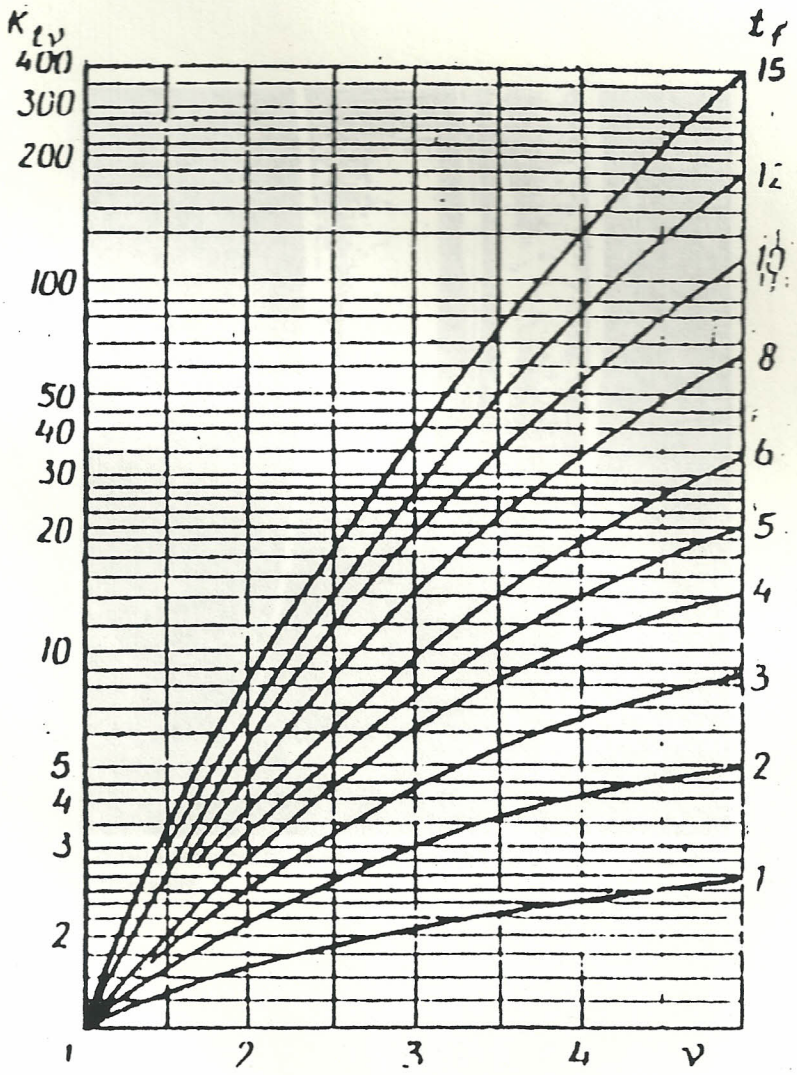


FIG. 11.10
CHAPA DESGASTADA



Cojinete deteriorado. Note las pequeñas partículas de basura incrustadas.

FIG. 11.11
CIGUEÑAL RAYADO



Deterioro y desgaste de la superficie del muñón.

FIG. 11.12
FALDON DEL PISTON DESGASTADO



Daños al faldón del pistón por desgaste abrasivo.

FIG. 11.13
PISTON RAYADO



Las marcas de agarrotamiento de arriba hacia abajo pueden ser una indicación de fallas del sistema de enfriamiento o del sistema de lubricación.