

134
2 es.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**ANALISIS DE ADITIVOS PARA LUBRICANTES DE
MOTORES DE COMBUSTION INTERNA**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**EN EL AREA MECANICA
P R E S E N T A :**

RAMIREZ VARGAS, ALFREDO



DIRECTOR DE TESIS: ING. ARMANDO MALDONADO SUSANO.

CIUDAD UNIVERSITARIA.

1998.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central

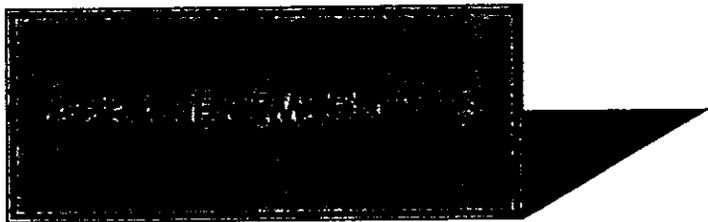


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



*Creo que el haber concluido esta meta no fue esfuerzo de una sola persona, agradezco con todo el cariño y respeto a mis padres **Rosendo Ramírez** y **Natalia Vargas** todo el apoyo incondicional que siempre me han brindado, por lo que es para mí, motivo de eterno reconocimiento para esas dos personas, que merecen mucho más que unas simples palabras por todo lo que han luchado por mí y al igual que por mis hermanos. Ojalá siempre estén juntos por que los necesito y por que los quiero.*

A todos y cada uno de mis hermanos que sin duda alguna de una u otra forma siempre me han apoyado. Gracias a todos ellos. Espero sigan siendo las mismas personas que siempre he conocido.

Para Adelita Trejo A. quien fue la persona que siempre me acompañó por este camino y que en nuestra etapa como estudiantes Universitarios siempre estuvimos compartiendo nuestra felicidad y también nuestra tristeza y quiero decir que no cabe duda, mucho de este objetivo logrado fue gracias a ella, y quiero que sepa que la admiro por la excelente persona que siempre ha sido, que la respeto por la gran profesionalista que es y que la amo por lo que ha sido y seguirá siendo para mí.. Dios te bendiga, porque tu virtud es ser buena.

Te quiero Adelita

Al Ing. Armando Maldonado Susano por todas sus atenciones y apoyo, no solo en la revisión de este trabajo, sino en la elaboración de las pruebas de laboratorio que fueron el motivo del mismo. Muchas gracias Ingeniero.

Agradezco también al Ing. Salvador Gutierrez Gómez, Gerente de Ventas de LEAR CORPORATION CHRYSLER DIVISION NAUCALPAN por todas sus atenciones y consejos que sin duda alguna me han motivado para seguir adelante.

Al Ing. David Barber Barber, Asesor Técnico de la COMPAÑÍA ELEVADORES KONE SABIEM S.A DE C.V por sus consejos, por apoyarme y por impulsarme a nuevos retos en la vida.

A Fernando Montes de Oca Casanova, por su tiempo dedicado y por el apoyo prestado en la elaboración de este trabajo. Gracias.

También quiero agradecer a todas y cada una de las siguientes personas así como a las prestigiadas Empresas que tan dignamente representan por su fina atención y por su tiempo que me dedicaron para poder obtener información que fue importantísima para la elaboración de este trabajo:

Ing. Javier Ramírez Barajas. BARDAHL DE MÉXICO S.A DE C.V.

Ing. Sergio Escobar Boo. COMPAÑÍA GENERAL DE LUBRICANTES (ESSO MÉXICO S.A DE C.V).

Sr. Gabriel Zárate Gómez. MOBIL OIL S.A DE C.V.

Téc. Antonio Palacios Sánchez. CASTROL MÉXICO S.A DE C.V.

Ing. Jorge Alvarez. COMPAÑÍA COMERCIAL IMPORTADORA S.A DE C.V. GRUPO QUAKER STATE.

Srita. Cecilia Hernández. CORPORATIVO DE QUAKER STATE.

A todos y cada uno de los arriba mencionados, gracias, muchas gracias.

ALFREDO RAMIREZ VARGAS.

ÍNDICE

Resumen.	i
Introducción.	1
Objetivos.	3

CAP. I FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS.

1.1 El motor de Combustión Interna.	4
1.2 Funcionamiento de las válvulas.....	5
1.3 Funcionamiento del motor de cuatro tiempos.....	9
1.4 Anillos o aros.....	12
1.5 Regulación de las válvulas.	13

CAP. II SISTEMA DE LUBRICACIÓN

2.1 Sistema de lubricación.	16
2.1.1 El cárter.	16

2.1.2 Bomba de aceite.	17
2.1.3 Filtro de aceite.	18
2.1.4 Filtro colador de aceite.	19
2.1.5 Galerías de aceite.	19
2.1.6 Distribución del aceite.	20
2.2 Sistema de enfriamiento del motor.	21
2.2.1 Sistema de ventilación del cárter.	22
2.2.2 Filtros de aire.....	23
2.3 La presión del aceite en el motor.	25

CAP. III CLASIFICACIÓN DE LOS ACEITES AUTOMOTRICES.

3.1 Organizaciones que intervienen en la calidad del lubricante.	29
3.2 Viscosidad.	34
3.2.1 Índice de viscosidad.	37

3.2.2 Variación de la viscosidad con respecto a la temperatura.	38
3.3 Tipos de aceites lubricantes para la industria automotriz.	40
3.3.1 Aceites monogrados.	40
3.3.2 Aceites multigrado.	40
3.3.3 Ventajas de los aceites multigrado sobre los monogrado.	41
3.4 Lubricantes sintéticos.	41
3.4.1 Tipos de lubricantes sintéticos.	42

CAP. IV ADITIVOS PARA ACEITES LUBRICANTES.

4.1 Aditivos para lubricantes de motores de combustión interna.	45
4.2 Clasificación de los aditivos.	47
4.3 Aditivos inhibidores de oxidación y corrosión.	50
4.4 Aditivos antidesgaste y de presión extrema.	51

4.5 Aditivos detergentes-dispersantes.	52
4.6 Agentes alcalinos (TBN).	54
4.7 Aditivos antiherrumbrantes.	55
4.8 Agentes reductores de la temperatura de congelación.	56
4.9 Mejoradores de viscosidad.	57
4.10 Aditivos antiespumantes.	58
4.11 Aditivos colorantes.	58

CAP. V PRUEBAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LABORATORIO APLICADAS A LOS LUBRICANTES DE MOTORES A GASOLINA.

Pruebas de viscosidad a 40 y 100°C.	63
Prueba de Flash Point (punto de inflamación en copa abierta).	67
Prueba del Número de base Total (TBN).	68
Prueba del Punto de Fluidéz (Pour Point).	70
Prueba de temperatura mínima de bombeo.	70

Prueba de formación de espuma.	71
Prueba de análisis de metales.	73

CAP. VI PRUEBAS REALIZADAS EN EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.

6.1 Introducción.	74
6.1.1 Ciclo Otto.	75
6.1.2 Objetivo.	78
6.1.3 Metodología.	79
6.2 Condiciones de operación.	82
6.2.1 Ecuaciones Básicas.	83
6.2.2 Potencia al freno.	83
6.2.3 Potencia perdida por rozamiento o fricción.	85
6.2.4 Ajuste de la Línea Willans por el Método de Mínimos Cuadrados.	85
6.2.5 Potencia indicada.	88

6.2.6 Gasto de combustible.	89
6.2.7 Gasto específico de combustible.	90
6.2.8 Energía suministrada.	90
6.2.9 Presión media efectiva indicada.	91
6.3.0 Eficiencia mecánica del motor.	92
6.3.1 Eficiencia interna. (Eficiencia térmica indicada).	92
6.3.2 Eficiencia del Ciclo Otto.	93
6.3.3 Eficiencia total. (Eficiencia térmica al freno).	93
6.4 Conjunto de pruebas.	94
6.5 Presentación de las pruebas.	94
Resultados y comentarios de las pruebas realizadas con aceite SAE 40 SF, y la mezcla aceite SAE 40 SF + aditivo Bardahl 1.	96
Resultados y comentarios de las pruebas realizadas con aceite SAE 40 SF, y la mezcla aceite SAE 40 SF + aditivo STP 14.	104

Resultados y comentarios de las pruebas realizadas con aceite SAE 40 SF, y la mezcla aceite SAE 40 SF + aditivo Bardahl 2.	112
Resultados y comentarios de las pruebas realizadas con aceite SAE 40 SF, y la mezcla aceite SAE 40 SF + aditivo STP 12.	120
Resultados y comentarios de las pruebas realizadas con aceite SAE 40 SF, y la mezcla aceite SAE 40 SF + aditivo Mobil Oil Economizer.	128
Conclusiones y recomendaciones.	136
Anexo A.	139
Bibliografía.	140

RESUMEN

La lubricación en cualquier sistema mecánico es fundamental para mantener el sistema en una operación correcta y con las menores pérdidas de energía que por fricción se pudieran tener.

En el primer capítulo se estudia el funcionamiento del motor de combustión interna con sus partes fundamentales así como las cuatro fases que hacen posible obtener la potencia necesaria en el motor. Estas fases o carreras son: admisión, compresión, potencia o expansión y escape.

En el segundo capítulo se explica el sistema de lubricación del motor, así como también el sistema de enfriamiento. Los sistemas de enfriamiento son dos: uno emplea como medio refrigerante el agua, puesta en circulación constante por medios apropiados. El otro sistema emplea el aire ya sea por corriente natural, establecida por las diferencia de densidad entre el aire frío del ambiente y el aire caliente que se encuentra en contacto con las superficies radiadoras de calor, ya sea por circulación natural o corriente forzada del mismo.

En el capítulo tres se mencionan a las organizaciones más importantes a nivel internacional que participan en el desarrollo de las pruebas y métodos que se aplican a los lubricantes de motores a gasolina. También se menciona a la organización que aprueba la clasificación y calidad del lubricante como lo es la API (American Petroleum Institute) y la sociedad que clasifica y determina el rango de operación de la viscosidad de los diferentes tipos de lubricantes ya sean monogrado o multigrado.

Se menciona también la importancia que tiene la viscosidad en un lubricante así como los factores que afectan a la misma como son la presión y la temperatura.

Hablamos también de lo que es un lubricante sintético y de sus ventajas y desventajas que presenta ante un lubricante ya sea monogrado o multigrado, así como también de las aplicaciones que tienen los dichos lubricantes.

En el capítulo cuatro se analizan los diferentes tipos de aditivos que se utilizan en los lubricantes para motor de combustión interna. Existen una gran variedad de aditivos no solo para motores, sino también para otros sistemas. En este trabajo sólo se analizarán los aditivos para lubricantes de motores a gasolina.

Un aditivo es un compuesto químico o natural que al ser agregado a un lubricante mejora sus propiedades de éste y ayuda así a tener un mejor rendimiento.

Una vez extraído el petróleo de las reservas o yacimientos, se lleva a cabo una refinación en la cual se obtienen muchos productos de los cuales uno de ellos es el aceite básico, el cual por sí solo no podría garantizar un trabajo confiable en el sistema de lubricación en un motor o sistema cualquiera que fuese su operación. Es por ello que a estos aceites básicos se les agrega un paquete de aditivos los cuales, como ya se dijo, mejoran las propiedades del aceite y garantizan un mejor trabajo a operaciones aún más pesadas.

En el capítulo cinco se mencionan las cinco pruebas de las cuales algunas son físicas y otras son químicas y que se aplican a un lubricante para motores de gasolina para poder determinar la calidad de éste y son pruebas que internacionalmente son determinadas por la ASTM (American Society for Testing Materials).

En el capítulo seis se explica el desarrollo, las características y los resultados de las pruebas realizadas en el motor de combustión interna del Laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería y se presentan gráficas de cada una de las pruebas en donde

se pueden apreciar en forma más clara los resultados de las pruebas antes mencionadas.

Para estas pruebas se utilizaron cinco aditivos para lubricantes de motor a gasolina que se mezclaron con el aceite básico para poder determinar el rendimiento de aquellos con respecto a este último. Los aditivos mencionados son los siguientes:

Bardahl 1
STP 14
Bardahl 2
STP 12
Mobil Oil Economizer

El aceite básico utilizado para estas pruebas fue SAE 40 SF Mexlub. Al término de cada prueba se hace un comentario de los resultados obtenidos.

INTRODUCCIÓN

El aceite crudo o petróleo es una mezcla de átomos de hidrógeno y carbono o hidrocarburos. Generalmente se clasifica como parafínico, nafténico, asfáltico o de base mixta. La mayoría de los aceites para motor de alta calidad se formulan a partir de aceites básicos parafínicos¹, los cuales son menos volátiles y tienen más estabilidad de oxidación que los aceites nafténicos.

Cualquiera que sea su clasificación, el petróleo crudo debe extraerse de la tierra, transportarse a una refinería y refinarse antes de poder usarse. Los depósitos subterráneos de petróleo crudo se llaman también yacimientos, y pueden constituir una reserva. Estos depósitos frecuentemente están mezclados o cubiertos por gas, el cual se separa del petróleo antes de llegar a la refinería.

El rendimiento de un barril de petróleo depende del tipo de crudo procesado. La mayor parte de éste se usa para fabricar aceites y fluidos de alta calidad para motores.

Los aceites lubricantes son fluidos cuya función es la reducción de la fricción y el desgaste entre superficies sólidas (generalmente metales) en movimiento relativo.

Los aceites lubricantes suelen tener pequeñas cantidades de aditivos para darles propiedades especiales, tales como índice de viscosidad, detergencia, etc. Varían en consistencia desde líquidos claros hasta sustancias semejantes a grasas (las cuales no serán tratadas en el presente trabajo). A diferencia de las grasas lubricantes, los aceites no deben contener materias sólidas o fibrosas.

La función de un aceite lubricante se efectúa de dos maneras:

- a) Por formación de películas adsorbativas en las dos superficies opuestas, las cuales se pueden desgarrar más fácilmente que el sustrato sólido.
- b) Por interposición de una película fluida entre las dos caras opuestas.

¹ A pesar que las palabras parafina y cera se usan indistintamente, no es lo mismo parafina que cera el nombre de parafina se usa para designar a una familia de hidrocarburos que muestran reactividad limitada.

La resistencia al cizalleo de la película, en el primer caso, y en el segundo, la viscosidad del fluido, determinan la magnitud del trabajo que se debe hacer para mantener las superficies opuestas en movimiento relativo.

Los aceites lubricantes son hidrocarburos de alto peso molecular y complejas estructuras que se obtienen de la refinación del petróleo. Las propiedades de los lubricantes dependen fundamentalmente de la fuente del crudo base y de los aditivos que se hayan agregado al lubricante.

Los lubricantes líquidos de petróleo son los de uso más extenso, debido a su adaptabilidad general a la mayoría de los equipos existentes y/o por su disponibilidad a un costo moderado.

Las pruebas físicas que se aplican a los lubricantes son útiles y necesarias ya que se utilizan con frecuencia para caracterizar a los lubricantes de petróleo debido a que el rendimiento del lubricante depende o está relacionado con esas propiedades físicas. Las pruebas físicas usuales en los lubricantes para la rama automotriz incluyen medición de la viscosidad a 40 y 100°C, prueba del límite de bombeo, prueba de punto de inflamación en copa abierta, temperatura de punto de escurrimiento y prueba de características de formación (antiespumantes). Las pruebas químicas incluyen la del número de base total (TBN).²

La viscosidad es indudablemente la propiedad más importante de un aceite lubricante, la viscosidad determina la fricción fluida (la resistencia interna al desplazamiento que ofrece el líquido) en el caso del aceite determina, además, la capacidad de soportar una carga.

Algo que se debe tener en cuenta es la variación de la viscosidad con respecto a la presión, temperatura y composición del mismo aceite, pero la dependencia de la viscosidad para con la temperatura es mucho mayor.³

² Estas pruebas serán descritas en el capítulo V.

³ Ver capítulo "Clasificación de los aceites automotrices".

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es analizar algunos de los numerosos aditivos para aceites lubricantes que existen en el mercado, además, estudiar el comportamiento de éstos cuando se han combinado con un aceite básico y observar, cual de ellos mejora el consumo de combustible.

Otro de los objetivos es observar en cual de las pruebas realizadas se tiene una mejor operación del motor y cual de ellos presenta una mejoría en cuanto a eficiencia total se refiere.

CAPÍTULO I

*Funcionamiento del motor de
cuatro tiempos.*

1.1 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.

El motor de cuatro tiempos es muy similar al de dos tiempos. En ambos, el pistón sube y baja en el cilindro y está articulado al muñón del cigüeñal por una biela. También el sistema de encendido de la mezcla aire-gasolina es muy similar y el proceso de combustión en que se genera la presión que impele al pistón y hace girar el cigüeñal.

Hasta aquí el funcionamiento es similar en ambos motores. Sin embargo, en los motores de dos tiempos, la mezcla entra al cilindro y los gases salen de él a través de aberturas o lumbreras existentes en la pared del cilindro. En los motores de dos tiempos, se comprime la mezcla en el cilindro cada vez que el pistón asciende y, cada vez que el pistón se aproxima al PMS se produce una combustión y como resultado se produce una alta presión sobre el pistón que lo hace regresar hacia abajo.

El motor de cuatro tiempos no posee lumbreras de carga y escape en la pared del cilindro ni comprime la mezcla de combustible cada vez que el pistón sube, como es el caso del motor de dos tiempos. En vez de lumbreras en la pared del cilindro posee aberturas en su parte superior, equipadas con tapones metálicos llamados válvulas. Estas válvulas son accionadas por un árbol de levas accionado, en unos motores a través de engranajes y en otros por una transmisión por polea y correa.

La válvula llamada de admisión, regula la entrada de la mezcla (aire-combustible) en el cilindro; la otra, controla la salida de los gases de combustión, por lo que recibe el nombre de válvula de escape. En la figura 1.1 se pueden observar las dos válvulas antes descritas.

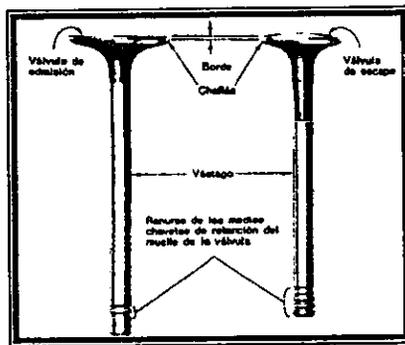


Fig. 1.1 Válvulas típicas de motor.

1.2 FUNCIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS

En la figura 1.2 se muestra un mecanismo típico de accionamiento de una válvula de motor. Está equipada con un muelle o resorte, cuya tensión la mantiene cerrada, es decir, apoyada en un asiento. El resorte se halla comprimido entre el bloque del cilindro y un platillo; dicho platillo se halla montado en el vástago o cola de la válvula por un fijador. Debajo de la cola de la válvula hay un taqué o empujador, que sube y baja en un orificio del bloque del motor y se apoya en una leva que tiene un punto alto o lóbulo. La leva está incorporada en un árbol de levas y gira con el cigüeñal, al que está acoplado por un engranaje.

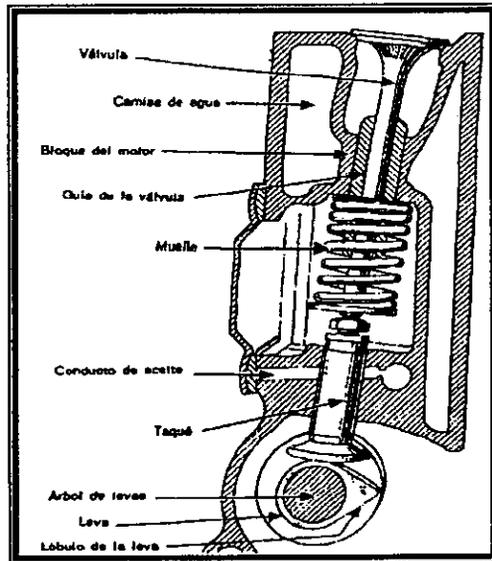


Fig 1.2. Mecanismo de válvula usado en un motor. La válvula es levantada de su asiento con cada rotación del árbol de levas.

La figura 1.3 muestra un mecanismo de distribución de un motor de cuatro tiempos; a medida que el árbol de levas gira, el lóbulo de la leva se desliza debajo del taqué.

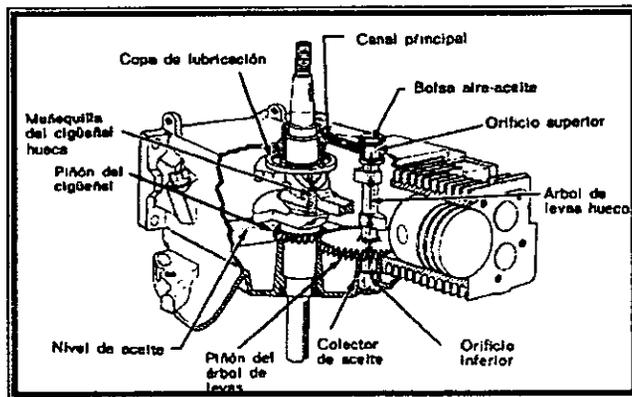


Fig. 1.3. Engranaje de distribución de un motor de cuatro tiempos. De cigüeñal horizontal. Se muestra también el flujo de aceite para el engrase del árbol de levas, el cigüeñal y los cojinetes de la biela.

Este empuje hacia arriba vence la resistencia del resorte, por lo que ésta es levantada de su asiento; si se trata de una válvula de admisión, la mezcla de aire y combustible pasa entonces a través de la abertura dejada entre la válvula y su asiento y penetra en el cilindro; si es una válvula de escape, su abertura permite el flujo de los gases de combustión hacia el exterior.

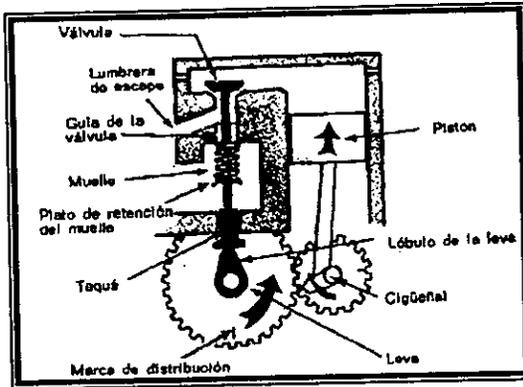


Fig. 1.4. A medida que el árbol de levas es arrastrado por el cigüeñal, el lóbulo de la leva gira debajo del taqué de la válvula, levantando a ésta de su asiento.

A medida que el pistón sigue su movimiento y el cigüeñal su giro, el engranaje de mando del cigüeñal arrastra el árbol de levas, haciendo que el lóbulo de la leva rebase el taqué; eso permite la distensión del resorte de la válvula y ésta vuelve a apoyarse sobre su asiento, quedando cerrada. Esto se puede apreciar en la figura 1.5.

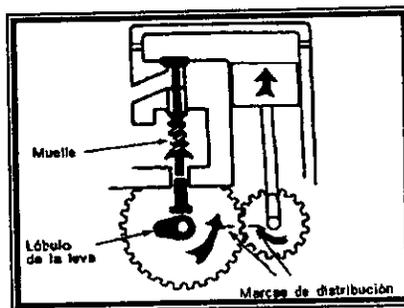


Fig. 1.5. Al proseguir la rotación del cigüeñal y del árbol de levas, el lóbulo de la leva abandona su posición debajo del taqué, con lo que el muelle de la válvula restituye a esta sobre su asiento.

El engrane conducido del árbol de levas tiene el doble de diámetro que el piñón de mando del cigüeñal. La razón de ello es que el árbol de levas debe girar exactamente a la mitad de la velocidad que el cigüeñal; es decir, describe un giro completo por cada dos revoluciones del cigüeñal. Esto lo explicaremos más adelante.

1.3 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE CUATRO TIEMPOS

El funcionamiento del motor de cuatro tiempos se muestra en las figuras 1.6 a 1.9. En un principio, la válvula de admisión es levantada de su asiento por la acción del lóbulo de una leva del árbol de levas, durante el descenso del pistón; una mezcla de aire y combustible fluye por la válvula de admisión hacia el interior del cilindro. Esta fase del ciclo se denomina carrera de admisión y se representa en la figura 1.6.

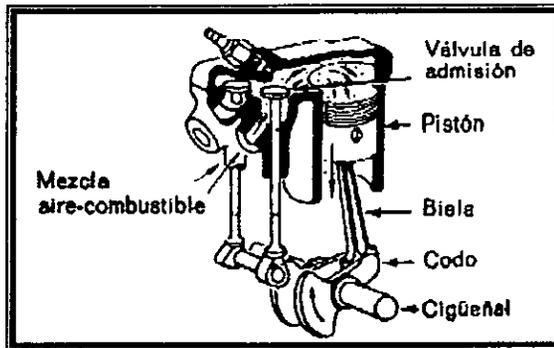


Fig 1.6. Carrera de admisión de un motor de cuatro tiempos. La válvula de admisión se ha abierto y el pistón desciende, aspirando una carga de aire-combustible.

Cuando el pistón llega al PMI, la válvula de admisión se cierra. El pistón empieza a ascender en la carrera de compresión, comprimiendo la mezcla aire-combustible en la parte superior del cilindro o cámara de combustión. Ver figura 1.7.

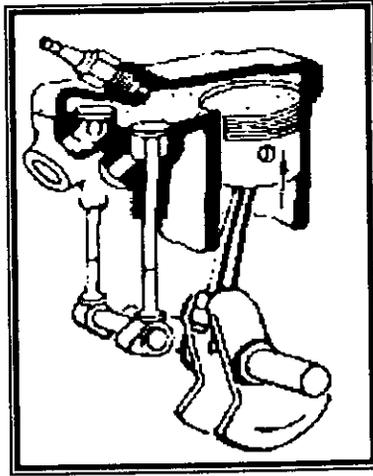


Fig. 1.7. Carrera de compresión.
El pistón asciende comprimiendo la mezcla, las dos válvulas permanecen cerradas y la bujía produce una chispa para producir la combustión.

Cuando el pistón se acerca al PMS en la carrera de compresión, se produce una chispa eléctrica en la bujía. De este modo se enciende la mezcla de aire y combustible. La combustión genera una elevada presión, que empuja al pistón hacia abajo en la carrera de expansión, o trabajo; este potente empuje transmitido mediante la biela hace girar el cigüeñal. Ver fig. 1.8.

Cuando el pistón se aproxima al PMS en la carrera de escape, se abre la válvula de admisión. Después del PMS, se cierra la válvula de escape y empieza nuevamente otro ciclo de operaciones, que se repite en tanto el motor funciona.

El engrane del árbol de levas es el doble de grande - tiene el doble de dientes- que el piñón del cigüeñal, como se puede apreciar en las figuras 1.3 a 1.5. Cada válvula debe abrirse sólo una vez por cada dos revoluciones del cigüeñal; es decir, cada válvula permanece abierta sólo durante una carrera del pistón; dado que hay cuatro carreras de pistón en un ciclo completo, cada válvula está abierta sólo durante una cuarta parte del tiempo requerido para completarse un ciclo.

1.4 ANILLOS O AROS

Los motores de cuatro tiempos emplean tres o más anillos. Los anillos o aros superiores -los segmentos de compresión- tienen como función el mantenimiento de la presión en la cámara de combustión. En el motor de dos tiempos se añade aceite a la gasolina para asegurar la lubricación de los segmentos y del pistón.

En los motores de cuatro tiempos se usa un procedimiento diferente para el engrase de la pared del cilindro, del pistón y de los anillos. Cierta cantidad de aceite se mantiene en reserva en el fondo del depósito (cárter) del motor, desde donde el lubricante es extraído por la acción de un barboteo o de una bomba y alimentado a la pared del cilindro; dicho lubricante llega también a las válvulas y sus vástagos, haciendo que se deslicen sobre películas de aceite. El aceite cubre también todos los cojinetes internos del motor asegurando un perfecto engrase.

La cantidad de aceite que se alimenta a la pared del cilindro es considerable y excedería la capacidad de contención de los dos anillos de compresión; el aceite penetraría así en la cámara de combustión, donde se quemaría al encenderse la mezcla aire-combustible. El aceite quemado generaría depósitos de carbón, que en poco tiempo acuñarían las válvulas en sus guías y ensuciarían la bujía, impidiendo el

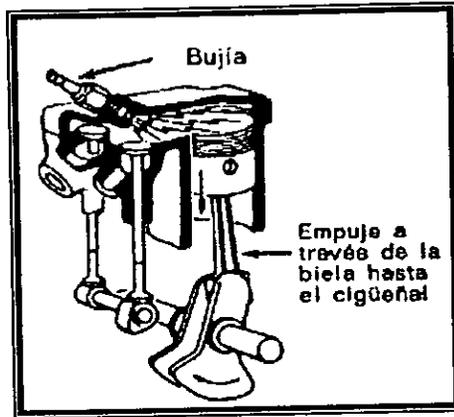


Fig. 1.8

Finalmente se produce el cuarto tiempo, o carrera de escape; cuando el pistón se aproxima al PMI en la carrera de expansión o potencia, la válvula de escape se abre; los gases quemados en la combustión son expulsados del cilindro por la acción del pistón ascendente. Ver figura 1.9.

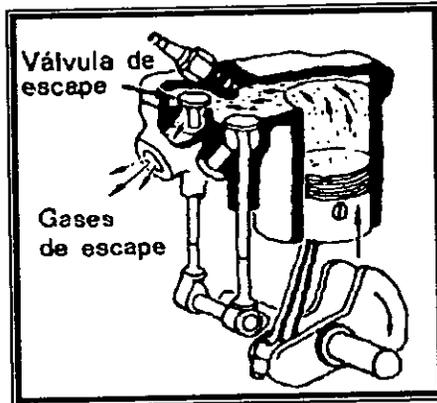


Fig. 1.9. Carrera de escape. Se ha abierto la válvula de escape y el pistón asciende en el cilindro, expulsando los gases quemados como lo indican las flechas.

funcionamiento normal del motor. El motor empezaría a perder potencia y en poco tiempo dejaría de funcionar. Para evitar esto, el pistón de los motores de cuatro tiempos está equipado con un tercer segmento, llamado rascador o de control de aceite (ver fig. 1.10). Su finalidad es rascar el exceso de aceite de la pared del cilindro en cada carrera descendente del pistón. El aceite removido cae otra vez al cárter, en vez de penetrar en la cámara de combustión.

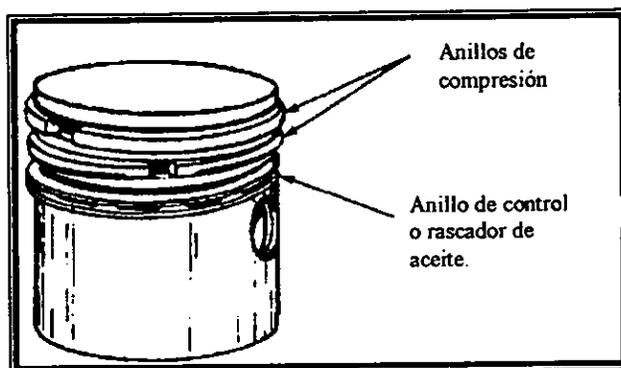


Fig. 1.10. Pistón de un motor de cuatro tiempos. Note que tiene tres anillos o segmentos: dos de compresión y un rascador o de control de aceite.

1.5 REGULACION DE LAS VÁLVULAS (Reglaje de distribución)

Las válvulas no se abren y cierran exactamente en el PMS y el PMI, sino algo antes y después de llegar a esos límites del recorrido del pistón. Hay una razón para ello. La válvula de admisión se abre varios grados de rotación del cigüeñal antes del PMS en la carrera de escape, es decir, la válvula de admisión empieza a abrirse antes de que termine la carrera de escape; esto da a la válvula suficiente tiempo para alcanzar la posición completamente abierta antes de que el pistón empiece la carrera de admisión; de este modo, al iniciarse ésta, la mezcla de aire y combustible puede empezar a fluir inmediatamente hacia

el cilindro. La válvula de admisión permanece abierta unos cuantos grados de rotación del cigüeñal después del PMI del pistón, al final de la carrera de admisión; durante este tiempo adicional, la mezcla aire-combustible sigue fluyendo hacia el cilindro; el que el pistón empiece ya a ascender en el tiempo de compresión antes de que la válvula de admisión se cierre, no invierte el sentido de flujo de la mezcla; en realidad ésta sigue fluyendo hacia el cilindro, hasta que la válvula se cierra. La razón de esta aparente contradicción se halla en que la fuerzas de inercia de la mezcla; es decir, la mezcla trata de seguir su curso una vez que ha surgido del carburador y ha empezado a penetrar en el cilindro; esta inercia hace que continúe la admisión de combustible a pesar de ascender ya el pistón en la carrera de compresión. Ello incrementa la carga de combustible, con el consiguiente aumento de la potencia del motor; es decir, mejora el rendimiento volumétrico.

Por la misma razón, la válvula de escape se abre bastante antes de que el pistón llegue al PMI en el tiempo de expansión (o explosión). Cuando el pistón se aproxima al PMI, la mayor parte del empuje recibido por la combustión de la mezcla ha terminado ya, y con abrir la válvula de escape no se pierde ninguna potencia. Ello ofrece en cambio la ventaja de dar tiempo adicional a los gases de escape para fluir hacia el exterior, con lo que el escape empieza antes de que el pistón concluya la carrera de expansión. Luego la válvula de escape permanece abierta algunos grados de rotación del cigüeñal después de que el pistón ha rebasado el PMS y ha iniciado su carrera de admisión. De este modo se vuelve a utilizar la fuerza de inercia para obtener una mayor salida de gases quemados, lo que facilita la penetración de la nueva mezcla de aire-combustible en la carrera de admisión, favoreciéndose nuevamente el rendimiento volumétrico del motor.

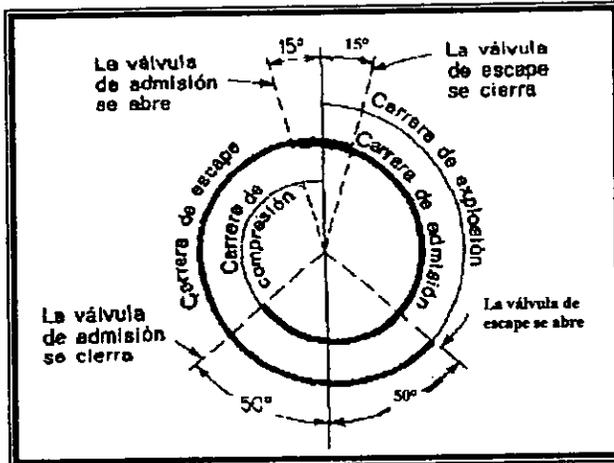


Fig. 1.11. Distribución de las válvulas de admisión y escape de un motor típico. El ciclo completo se representa en una espiral de 720°, con la que se reproducen las dos revoluciones del cigüeñal requeridas. El reglaje de las válvulas difiere de un motor a otro.

El reglaje de la distribución varía de un motor a otro, pero un ejemplo típico en un motor de cuatro tiempos se observa en la figura 1.11. Hay que observar cómo la válvula de admisión se abre 15° de rotación del cigüeñal antes del PMS en la carrera de escape y que permanece abierta hasta 50° después del PMI en la carrera de compresión. La válvula de escape se abre 50° antes del PMI en la carrera de explosión y permanece abierta 15° después del PMS en la carrera de admisión. Esto confiere a ambas válvulas un solapamiento de 30° al final de la carrera de escape y al principio de la de compresión.

CAPÍTULO II

Sistema de lubricación.

2.1 SISTEMA DE LUBRICACIÓN

La función del sistema de lubricación es proporcionar aceite lubricante limpio y a presión a todas las partes móviles del motor, reduciendo de ésta manera la fricción entre éstas y ayudando al enfriamiento de las partes calientes del motor así como amortiguando los ruidos producidos por las partes móviles del mismo.

Los vehiculos, ya sea que usen gasolina o combustible diesel, emplean básicamente el mismo sistema de lubricación de motor. Este sistema consiste en un depósito de aceite o cárter, que contiene al aceite, una bomba que lo circula y un sistema de distribución, o sea los pasajes, tubos, ranuras y orificios a través de los cuales se bombea el aceite. Una válvula para aligerar la presión controla la presión en el sistema de distribución, un filtro de aceite atrapa las impurezas y un indicador o luz de advertencia en el tablero de instrumentos le indica al automovilista cuando la presión o la cantidad de aceite caen por debajo de los niveles requeridos.

2.1.1 EL CÁRTER (DEPÓSITO DE ACEITE)

Es importante mantener el aceite del cárter a un nivel apropiado. Los niveles bajos de aceite pueden permitir que se tengan temperaturas de operación excesivamente altas, en tanto que el sobrellenar el cárter, puede ocasionar la entrada de aire en el aceite teniendo como consecuencia el debilitamiento del aceite o la pérdida en su capacidad de lubricación.

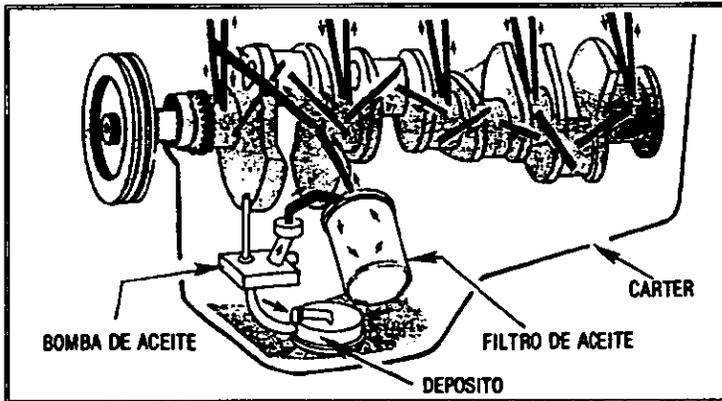


Figura 2.1

2.1.2 BOMBA DE ACEITE

La bomba de aceite se localiza en el depósito de aceite y generalmente es impulsado por un eje engranado al eje de levas o al distribuidor. Una malla que se encuentra a la entrada de la bomba atrapa las partículas extrañas y les impide circular a través del motor.

Una válvula para aliviar la presión --un aparato a base de resorte y bola o resorte y émbolo, colocado ya sea en la bomba de aceite o en la línea principal de abastecimiento--, limita la máxima presión a cerca de 65 libras por pulgada cuadrada (psi). La presión normal es de 15 a 60 psi y varía con la velocidad del motor, la temperatura del aceite y los espacios libres del cojinete. La bomba debe suministrar presión adecuada a altas temperaturas.

El funcionar a altas velocidades o encender el motor con el aceite frío y viscoso, activará el interruptor de presión para impedir la formación de una presión anormalmente alta, en este caso la válvula se abre y parte del aceite es desviado hacia otro depósito que se encuentra a la entrada de la bomba.

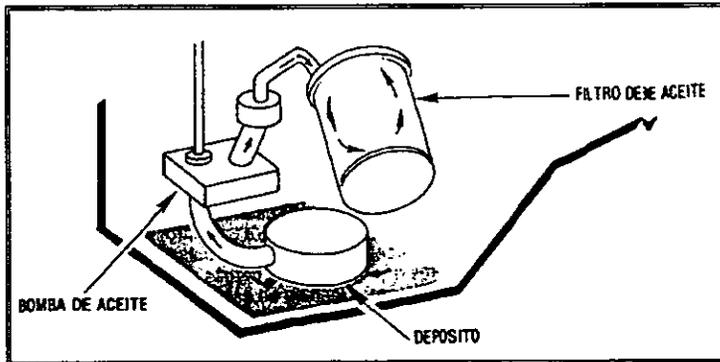


Figura 2.2

2.1.3 FILTRO DE ACEITE

Los sistemas de filtrado de flujo completo se usan en la mayoría de los motores actuales. Están diseñados para pasar todo el flujo de la bomba de aceite a través del filtro antes de que éste circule en el motor.

A pesar de que un filtro de flujo completo teóricamente limpia todo el aceite durante todo el tiempo, en situaciones reales esto no siempre sucede. Por ejemplo, el aceite que incrementa su viscosidad por el clima frío puede no fluir fácilmente a través del filtro, o el filtro mismo puede llegar a contaminarse, perdiendo su efectividad u obstruyéndose completamente. Cuando esto sucede, se abre la válvula de paso del filtro, permitiendo que la potencia de la bomba vaya directamente al motor. A pesar de que tal acción evita la falla del motor, el aceite que estaba bastante sucio como para obstruir el filtro, ahora lleva al motor partículas abrasivas y otros contaminantes. El motor puede no fallar pero se dañará. Además, los filtros no pueden filtrar líquidos tales como agua, combustible no quemado o ácidos, de modo que no pueden impedir la dilución del aceite o el desarrollo de herrumbre o corrosión.

En este filtro las partículas pequeñas de polvo, carbón y piezas metálicas son depositadas, con lo que se logra obtener aceite limpio de partículas extrañas, para ser distribuido a todas las partes del motor que así lo requieran.

2.1.4 FILTRO COLADOR DE ACEITE

Compuesto por una malla de alambre que detiene las partículas grandes que se encuentran en la parte baja del depósito de aceite.

2.1.5 GALERÍAS DE ACEITE

Son conductos por donde circula el aceite y están localizados en el interior del motor, el cigüeñal y demás elementos del motor.



Figura 2.3. Fotografía que muestra las partes internas de un motor y parte del sistema de lubricación del mismo. Este motor se encuentra en el Laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M.

2.1.6 DISTRIBUCIÓN DEL ACEITE

A partir del filtro, el aceite es bombeado dentro de los pasajes que se encuentran en el bloque del motor. El aceite se mueve a través de ellos hacia los puntos de apoyo del eje de levas y del cigüeñal.

Los pernos del pistón se lubrican en diversas formas. En un método, un pasaje de aceite dentro de las bielas lleva el aceite bajo presión directamente a los pernos para la lubricación y a las partes inferiores de los pistones para enfriamiento. Otros métodos pueden hacer que el aceite fluya por un pequeño orificio que se encuentra a un lado de la biela hacia las paredes del cilindro y hacia los pernos del pistón. El método más común de lubricar los pernos del pistón es por medio de la salpicadura de aceite del desagüe de los anillos de control del aceite.

Las superficies de la leva, el distribuidor y los engranes de los ejes de la flecha de la bomba de aceite, el engranaje de distribución y las cadenas son lubricadas por el aceite. Generalmente los mecanismos de transmisión de la leva se lubrican por medio de la salpicadura. Los engranes o cadenas y las poleas pueden rociarse por medio de una boquilla de aceite alimentada a presión con el aceite transportado entre las partes móviles por medio de la rotación del sistema del mecanismo de transmisión de la leva.

El mecanismo de la válvula se lubrica a través de un pasaje que restringe la cantidad de aceite suministrado para impedir que el exceso de aceite sea aspirado fuera de las varillas de la válvula hacia adentro de la cámara de combustión. Con frecuencia las varillas de la válvula desgastadas permiten que el aceite entre a la cámara de combustión y los sellos del aceite de la varilla de la válvula ayuden a regular la cantidad de aceite, dentro de las correderas de la válvula.

Los elevadores de la válvula hidráulica en la mayoría de los motores modernos ajustan automáticamente el espacio de la válvula, de modo que el émbolo que está en el cuerpo del elevador de la válvula hidráulica debe ser capaz de moverse cuando no está descargado. Es normal un poco de goteo de aceite pero el excesivo deterioro o la corrosión pueden causar demasiado goteo. También esto

puede ser causa de que el émbolo se pegue, lo cual interferirá con el proceso de ajuste automático. Los indicadores operados a presión y las luces de advertencia alertan al automovilista para apagar el motor cuando alcanza una presión de aceite anormal.⁴

2.2 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL MOTOR

Los sistemas de enfriamiento del motor deben poder enfriarlo adecuadamente bajo condiciones tan severas. La pequeña área frontal de la mayoría de los autos modernos permite que haya poca circulación de aire y coloca la mayor carga de enfriamiento sobre el sistema de enfriamiento. Los sistemas de enfriamiento sellados operan a presiones de 15 a 21 psi y la temperatura del sistema puede estar muy por encima del punto normal de ebullición del agua. Tales sistemas también provocan temperaturas del aceite más altas en clima caliente.

Debido a que el motor de explosión cuando está en operación le transmite a los cilindros, émbolos, válvulas y a la cabeza de los cilindros una cantidad excesiva de calor, se hace necesario retirarlo rápidamente, siendo la función del sistema de enfriamiento lo siguiente:

- 1.- Mantener una temperatura adecuada en la cámara de combustión para realizar el buen encendido de la mezcla aire-combustible.
- 2.- Tener un buen sello entre los anillos del émbolo y el cilindro, debido a la dilatación térmica de los metales.
- 3.- Evitar que el aceite lubricante se queme, por lo que mantiene sus propiedades físicas y químicas durante tiempos más prolongados, por lo que obviamente, alargará la vida útil del motor.
- 4.- Se disminuye la dilatación de la mezcla aire-combustible a la entrada de los cilindros, evitando así una baja en el rendimiento del motor, por el llenado insuficiente de los cilindros.

⁴ Ver el tema de la presión del aceite en el motor.

2.2.1 SISTEMA DE VENTILACIÓN DEL CÁRTER

Antes de 1961, la mayoría de los sistemas de ventilación del cárter empleaban el movimiento hacia adelante del auto para jalar aire fresco a través del cárter para extraer los contaminantes que pudieran introducirse en el aceite, ésta medida, llamada sistema de tubo de succión en carretera, operaba eficientemente sólo a velocidades de más de 40 km/h. Había poca ventilación a velocidades bajas y ninguna cuando el auto estaba en reposo. Una escena común en clima caliente eran los autos sobrecalentados en áreas de tráfico pesado y lento. Otra desventaja menos visible de este esquema de ventilación era que los contaminantes del cárter sencillamente eran arrojados al aire.

En 1961 se introdujo el sistema de ventilación positiva del cárter (PCV), el cual eliminaba las dos fallas principales del sistema de tubo de succión en carretera, al emplear el vacío del múltiple del motor para extraer el aire a través del cárter y regresar el aire contaminado del cárter al carburador o al múltiple de admisión para reducir la contaminación.

Los primeros diseños PCV aspiraban el aire fresco directamente de la atmósfera a través de la tapa de llenado del aceite, filtrándolo en parte al pasarlo a través de un filtro empapado de aceite. A esto se le llama sistema abierto PCV. Los diseños posteriores aspiraban el aire fresco del lado limpio del purificador de aire, pasándolo por el cárter y enviándolo al múltiple de admisión o a la base del carburador. Estos sistemas PCV cerrados proporcionan aire más limpio al cárter debido a que el purificador de aire del motor es más eficiente.

Ya sea que el sistema PCV sea abierto o cerrado, el orificio restrictivo o válvula PCV y sus partes relacionadas son susceptibles a los sedimentos que causan el mal funcionamiento. Si estas partes críticas no están operando adecuadamente, la eficiencia del motor se ve afectada y los contaminantes se acumulan rápidamente. Para impedir este mal funcionamiento es necesaria una limpieza completa y la renovación, así como un aceite con aditivo detergente-dispersante de alta calidad.

2.2.2 FILTROS DE AIRE

Los motores necesitan cantidades considerables de aire para quemar el combustible.

Suspendidos en este aire se encuentran polvo y suciedad. Debido a la abrasividad del polvo y de las partículas de la suciedad se necesitan los filtros de aire para mantener éstos fuera del motor. Existen tres tipos básicos de filtros de aire:

Los filtros de papel o de tipo seco, emplean una tira angosta de papel filtro grueso y perforado con agujeros extremadamente pequeños. Estos agujeros no atraviesan el papel completamente, sino que siguen una trayectoria tortuosa para atrapar la suciedad y el polvo. El elemento de papel está plegado en forma de acordeón y contenido en un marco circular colocado en el filtro de aire, de manera que todo el aire que entra fluye a través de él antes de llegar al múltiple de admisión (carburador). Este eficiente purificador de aire tiene una gran capacidad y larga vida; requiere un servicio completo y su sustitución es menos frecuente que los filtros de tipo húmedo. Las variaciones sobre este sistema incluyen una tira gruesa de poliuretano ligeramente aceitada en lugar del papel y un filtro de papel encerrado en una envoltura porosa que debe quitarse, limpiarse y reemplazarse periódicamente.

Los filtros de aire de baño de aceite que se encuentran en algunos autos, vehículos de servicio público y camiones ligeros, usan el aceite para atrapar la suciedad y el polvo. El aire que entra fluye hacia abajo a un receptor de aceite que se encuentra en la parte inferior de la unidad, donde el flujo de aire se invierte. Las partículas más grandes caen dentro del aceite y el aire pasa a través de un colador de alambre empapado de aceite para atrapar la mayor parte de las partículas restantes. El servicio de estos filtros de aire requiere el quitar el aceite sucio, limpiar y volver a aceitar el colador. Los purificadores de baño de aceite deben ser suficientemente grandes como para proporcionar una capacidad adecuada y el espacio vertical que se requiere para esos filtros generalmente no existe en los autos modernos.

Los purificadores de aire de gasa de alambre empapada en aceite consisten en un alojamiento circular con una gruesa malla de alambre empapada en aceite. A medida que el aire pasa a través del alojamiento, los alambres recogen las partículas de polvo y suciedad y el aire limpio se mueve hacia el carburador. A medida que el filtro se satura con las partículas reduce su eficiencia y el aire que llega al carburador y al motor se ensucia. El colador debe quitarse y volverse a colocar para devolverle su efectividad.

Obviamente que el mejor purificador de aire no puede ser 100% efectivo. Las partículas se acumulan dentro del filtro y con el tiempo reducen el flujo de aire, el cual a su vez enriquece la mezcla de aire-combustible y aumenta el consumo de gasolina. Algo de suciedad y polvo llegará a la máquina y se asentará en las paredes del cilindro, donde raspará las superficies y causará desgaste.

El funcionamiento del sistema de lubricación se puede resumir en los siguientes puntos:

- La bomba de aceite absorbe el lubricante del cárter a través del colador.
- El aceite colado, pero sin filtrar, pasa al filtro de donde sale ya limpio hacia la galería principal de lubricación.
- Desde la galería principal se envía directamente el aceite a los apoyos del cigüeñal, a los conductos de lubricación del árbol de levas, eje de balancines y engranes de sincronización.
- A través de los orificios del cigüeñal el aceite llega a los cojinetes de la biela y de allí pasa a lubricar los pistones y el cojinete del perno del pistón.
- Terminado el ciclo, el aceite retorna al cárter goteando desde cada punto de engrase y escurriéndose por las paredes y canales de retorno del bloque de cilindros.

2.3 LA PRESIÓN DEL ACEITE EN EL MOTOR

Como en cualquier sistema fluido, la presión es una medida de la acción de una fuerza sobre una superficie, en los sistemas hidráulicos, es una medida de la energía que se ha dado al fluido para ponerlo en movimiento.

En los motores modernos sean a diesel o a gasolina, el funcionamiento del sistema de lubricación empuja el aceite a presión por los conductos y componentes críticos del motor.

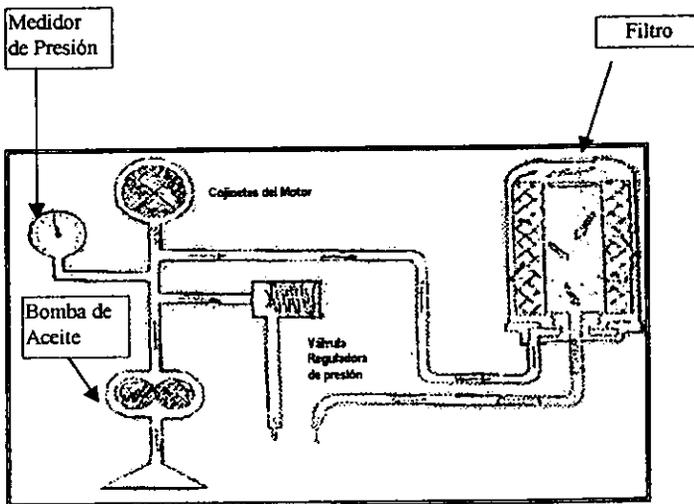


Figura 2.4

La presión del aceite debe ser tal que el lubricante fluya con facilidad hasta los puntos más alejados, y como en los diseños de los fabricantes de motores las dimensiones y conformación del sistema de lubricación no solo varían de una marca a otra sino hasta de un modelo a otro, los valores de la presión del aceite también varían.

¿ CUAL ES LA PRESIÓN ADECUADA ?

En nuestros días, aún existe la falsa creencia que entre más alta sea la presión del aceite será mejor el funcionamiento y rendimiento del motor, es decir, que en realidad desconocen que la presión del aceite debe ser la mínima presión que permita al aceite fluir con facilidad a las partes que requieren lubricación, durante todas las condiciones de operación del motor.

Por tanto la presión del aceite no es un valor único, fijo y universal, sino que existe un rango especificado por el fabricante.

Presiones típicas del aceite a la temperatura normal de operación del motor.⁵

VELOCIDAD DEL MOTOR (rpm)	PRESIÓN DEL ACEITE (psi)
600	6 - 15
1000	20 - 25
2100 - 2400	35 - 70

Las grandes caídas de presión (> 10 psi) en un sistema de lubricación pueden ser síntomas de otros problemas como:

- * Taponamiento de filtros y conductos.
- * Dilución del aceite con combustible.
- * Motor muy gastado.
- * Aceite inadecuado o bajo nivel del mismo.
- * Válvula de alivio trabada.
- * Bomba de aceite defectuosa.
- * Excesivas tolerancias entre cojinetes y ejes.
- * Aspiración obstruida de la bomba de aceite.
- * Manómetro defectuoso, etc.

⁵ Fuente: Comercial Importadora S.A de C.V. Grupo Quaker State.

El problema de la caída de presión en el sistema de lubricación, no tiene que ver con la calidad del lubricante. El aceite por sí solo difícilmente es el causante del problema. Solo se le podría atribuir si se verificase una diferencia realmente importante en la viscosidad, como resultaría de comparar un aceite SAE 50 y otro SAE 10W. Pero esto no llegaría a provocar una disminución en la presión del aceite para alarmar al usuario.

Se ha demostrado que un alto porcentaje de causas que ocasionan baja presión de aceite en un motor son de origen mecánico, es por ello que se recomienda una revisión y/o mantenimiento de las unidades en periodos más cortos.

Otro factor puede ser la dilución del aceite con combustible, que es consecuencia directa del mal mantenimiento del sistema de combustión (mezcla aire/combustible demasiado rica en motores a gasolina o inyección defectuosa para motores a diesel).

Por otro lado, una alta presión de aceite no indica buena lubricación, sino alto esfuerzo de la bomba. Un aceite multigrado proporciona un gran caudal de aceite con baja presión, porque tiene baja fricción interna (alto caudal de aceite significa buena lubricación).

Para entender un poco más lo que significa la presión del aceite en un motor, se deben contestar las siguientes preguntas:

1.- ¿Se baja la presión en el motor al cambiar de marca de aceite?

Podría existir una diferencia mínima en la presión del aceite. Pero debemos tener en cuenta que una elevada presión de aceite no indica una mejor lubricación, lo que se necesita es un alto caudal de aceite a presión adecuada, que esta limitada en el diseño del motor por una válvula de alivio; con ello, el fabricante de motores evita las altas presiones del aceite. Los aceites multigrado aseguran un alto caudal a la presión adecuada.

Normalmente, cuando se cambia de marca de aceite, se comienzan a observar en detalle las condiciones del aceite y del motor,

las cuales serán diferentes. No es de alarmarse, siempre que las nuevas condiciones estén dentro de los rangos establecidos por el fabricante del motor.

2.- Al cambiar de un aceite SAE 40 a un aceite multigrado ¿se cae la presión del aceite en el motor?

Si cambia de un aceite SAE 40 a un multigrado va a observar un pequeño cambio por las condiciones de fluidez de un aceite menos viscoso que cuando usaba el monogrado SAE 40 y la razón es que los multigrados tienen la fluidez correcta en todos los regímenes de trabajo del motor. Esa apropiada fluidez deja al aceite circular sin ejercer resistencia y sin demoras sobre todo en el momento del arranque. Se tiene demostrado bajo pruebas que han hecho las empresas del gremio de los lubricantes que el 70 % del desgaste del motor se presenta en el arranque del mismo.

La presión del aceite es de naturaleza variable, los principales factores que la afectan son:

- * Temperatura del aceite y del motor.
- * Velocidad del motor.
- * Viscosidad del aceite (multigrado o monogrado).
- * Tipo y condiciones del filtro.
- * Condiciones mecánicas del motor.

A temperatura ambiente en el momento del arranque:

- * Un aceite 15W- 40 tiene menor viscosidad que un SAE 40
 - Menor resistencia al flujo.
 - El aceite llega más rápido a las partes del motor.
- * Menor viscosidad a temperatura ambiente causa menor resistencia, es decir, menor presión del aceite
 - Diferencia normal entre 2 y 4 psi.
 - Presión normal dentro del rango permitido por el fabricante del motor.

CAPÍTULO III

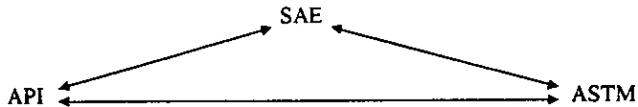
***Clasificación de los aceites
automotrices.***

3.1 ORGANIZACIONES QUE INTERVIENEN EN LA CALIDAD DEL LUBRICANTE

Las organizaciones que intervienen en la calidad del lubricante son:

- a) SAE.
- b) API.
- c) ASTM.

Las tres organizaciones se relacionan entre sí para dar a los lubricantes las propiedades necesarias para cumplir con su objetivo que es la lubricación.



El significado y objetivo principal de cada organización se muestra en los siguientes renglones:

SAE.- Sociedad de Ingenieros Automotrices
VISCOSIDAD.

API.- Instituto Americano del Petróleo
CALIDAD.

ASTM.- Sociedad Americana de Pruebas y Materiales
EMITE MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS.

SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices)

A través de los años, la Sociedad de Ingenieros Automotrices desarrolló un sistema de clasificación (clasificación de viscosidad del aceite de cárter SAE J300) basado en la medida de la viscosidad. A los aceites “esposos” de flujo lento se les asignan números altos; los aceites más “delgados” que fluyen más libremente se les asignan números más bajos. El sistema que ha sido modificado varias veces, establece diversos grados de viscosidad en los aceites para motor. Esto se puede ver en la tabla 3.1.

Como se puede ver en la tabla, existen grados SAE que tienen una “W”, la cual significa winter (invierno). Estos aceites han sido probados para asegurar que tienen las características adecuadas de flujo y son recomendados para usarse en climas y temporadas de frío. A estos aceites se les denomina multigrados. Los aceites que no tienen la “W” son llamados monogrados.

Estos grados de aceites se refieren únicamente a la viscosidad y no proporcionan información del tipo o calidad de un aceite o la finalidad para la que fue creada. Por esta razón, fue necesario crear un sistema que tomara en cuenta otros factores. El Instituto Americano del Petróleo (API), desarrolló un primer sistema de clasificación que catalogaba los aceites para motor como regular, premium y de trabajo pesado. Un esfuerzo posterior de la API, junto con la SAE y ASTM, describió y clasificó las diversas condiciones de operación servicio-motor como una base para seleccionar el aceite adecuado para motor.

Cabe mencionar que las empresas que pertenecen al gremio de lubricantes, deben cumplir con estas especificaciones de viscosidad que clasifica la SAE y también con la calidad del aceite lubricante, como lo determina la API e inclusive con los métodos y pruebas que la ASTM especifica; para poder lanzar al mercado sus productos.

La SAE también ha establecido límites de viscosidad y grados para los lubricantes de transmisión.

Tabla 3.1

CLASIFICACIÓN SAE

GRADOS DE VISCOSIDAD DE ACEITES AUTOMOTRICES

GRADO DE VISCOSIDAD SAE	VISCOSIDAD DE ARRANQUE A BAJA TEMP. MAX. (cP)	VISCOSIDAD DE BOMBEO A BAJA TEMPERATURA MAX. (cP)	VISCOSIDAD CINEMÁTICA cSt. A 100°C MIN.	VISCOSIDAD CINEMÁTICA cSt. A 100°C MAX.	VISCOSIDAD DE ELEVADO REGIMEN DE CORTE A TEMPERATURA ALTA MIN (cP)
0W	3250 A -30	30000 A -35	3.8	-	-
5W	3500 A -25	30000 A -30	3.8	-	-
10W	3500 A -20	30000 A -25	4.1	-	-
15W	3500 A -15	30000 A -20	5.6	-	-
20W	4500 A -10	30000 A -15	5.6	-	-
25W	6000 A -5	30000 A -10	9.3	-	-
30	-	-	5.6	< 9.3	2.8
30	-	-	9.3	< 12.5	2.9
40	-	-	12.5	< 16.3	2.9 *
40	-	-	12.5	< 16.3	3.7 **
50	-	-	16.3	< 21.9	3.7
60	-	-	21.9	< 26.1	3.7

* (GRADOS: 0W-40, 5W-40, 10W-40)
 ** (GRADOS: 15W-40, 20W-40, 25W-40, 40)

Fuente: Compañía General de Lubricantes S.A de C.V (ESSO MÉXICO).

Como sucede con los aceites para motor, los aceites lubricantes para engranes⁶ contienen aditivos que inhiben la corrosión, la oxidación, la herrumbre, reducen la fricción, retrasan el desgaste, resisten la presión, la formación de espuma y reducen el impacto y la vibración.

En las transmisiones manuales, los lubricantes de engranes deben asegurar un cambio fácil en clima frío. En las transmisiones automáticas deben asegurar un funcionamiento rápido, libre y suave. Al igual que los aceites para motor, los lubricantes para engranes se vuelven demasiado viscosos a temperaturas bajas y si se vuelven demasiado viscosos, dificultan los cambios.

API (Instituto Americano del Petróleo)

Los cambiantes requerimientos de la industria automotriz, juntamente con la necesidad de una más efectiva comunicación entre los fabricantes de motores, la industria del aceite y el consumidor, llevó a un nuevo sistema de clasificación API de servicio al motor. Este sistema, desarrollado por la API, ASTM y SAE, permite que los aceites para motor se definan sobre la base de las características de funcionamiento y los tipos de servicio al que han sido destinados. Los sistemas API y SAE juntos definen las características de un aceite para motor y así ayudar al consumidor a elegir los productos apropiados para cada aplicación. Los fabricantes de aceites son los responsables de garantizar que un determinado aceite tenga las características de funcionamiento indispensables para las clasificaciones de servicio recomendadas.

Los fabricantes de motores, por otra parte, son responsables de evaluar la clase de servicio aplicable al diseño del motor y del uso para el que fue creado y de recomendar la clasificación apropiada de aceite para el motor. La responsabilidad del consumidor es estar enterado de la recomendación del fabricante del motor y comprar el aceite adecuado a sus necesidades.

⁶ Estos lubricantes no serán tratados en este trabajo.

En la tablas 3.2 y 3.3 se muestra el Sistema de Clasificación API para servicio de motores de gasolina.

ASTM (Sociedad Americana de Pruebas y Materiales)

Esta organización tiene el propósito, al igual que la API, de controlar los procedimientos de pruebas y estandarizaciones de uso internacional en cada una de las compañías y laboratorios existentes.

La ASTM indica en cada uno de los métodos de prueba, los reactivos a utilizar, métodos compatibles, equipos utilizados y lo más importante de todo, la precisión que se debe lograr en cada prueba. Indica además el rango de repetibilidad y reproductibilidad en el cual deben estar los resultados de pruebas de cada uno de los laboratorios. Esta precisión es realizada a nivel laboratorios y es la que se indica en cada uno de los métodos de prueba.

Existen pruebas de laboratorio⁷ realizadas a los aceites lubricantes que son estandarizadas por la ASTM y las cuales son necesarias para clasificar el desempeño y aplicación en un ramo específico para cada lubricante.

Estas pruebas realizadas a los aceites automotrices se pueden observar en la siguiente tabla.

Las siete pruebas típicas de laboratorio⁸ realizadas a los lubricantes para motor a gasolina son las que se mencionan en la tabla 3.1 a.

⁷ Estas pruebas serán analizadas en el capítulo V.

⁸ Compañía Comercial Importadora S.A de C.V. Grupo Quaker State.
Cía. General de Lubricantes S.A de C.V. Esso México. Filial de EXXON CORPORATION.
Castrol México S.A de C.V (antes Veedol S.A de C.V).

PRUEBA	MÉTODO DE PRUEBA
Viscosidad cinemática a 40 y 100 °C.	ASTM D445
Punto de inflamación en copa abierta.	ASTM D92
Número de base total (T.B.N)	ASTM D2896
Punto Mínimo de Fluidéz.	ASTM D97
Temperatura mínima de bombeo.	ASTM D2684
Formación de Espuma.	ASTM D892
Análisis de metales	ASTM D 4628-86

Tabla 3.1 a

3.2 VISCOSIDAD

La viscosidad de un aceite se basa en su resistencia al movimiento, el cual ha sido considerado como una de las características más importantes del aceite. Los viscosímetros miden esta cualidad en términos del tiempo requerido por una cierta cantidad de lubricante a una temperatura específica para pasar a través de un pequeño orificio. En los primeros tiempos de los automóviles los aceites para motor se clasificaban como ligero, mediano o pesado, dependiendo de su viscosidad o espesor. El proceso de refinación por sí mismo dicta la viscosidad inicial del aceite, la cual se determina por los compuestos específicos y los productos químicos eliminados.

A medida que la industria automotriz maduró, también hubo la necesidad de viscosidades adicionales en los aceites para motor que operarían eficientemente a diversas temperaturas.

Tabla 3.2

Sistema de Clasificación API para Servicio de motores a gasolina.

TIPO DE MOTOR	AÑO DE FABRICACIÓN	CALIDAD DE SERVICIO API	DESCRIPCIÓN
Gasolina	Aceite mineral sin aditivos, se usa en motores muy antiguos (1950 y anteriores).	SA *	Aceite sin aditivos.
Gasolina.	Para automóviles de modelos de 1930 a 1963 y anteriores.	SB *	Aceite con antioxidantes y antidesgaste, sin detergentes
Gasolina.	Para automóviles de modelos de 1964 a 1967 y anteriores.	SC *	Protección contra lodos, desgaste y corrosión.
Gasolina.	Para automóviles de modelos de 1968 a 1971 y anteriores.	SD *	Mejor protección que SC.
Gasolina.	Para automóviles de modelos de 1972 a 1979 y anteriores.	SE *	Mejor protección que SD.
Gasolina.	Para automóviles de modelos de 1980 a 1988 y anteriores.	SF	Mejor protección contra la oxidación y lodos.
Gasolina.	Para automóviles de modelos de 1989 a 1993 y anteriores.	SG	Mejor control de depósitos y lodos.
Gasolina.	Para automóviles de modelos de 1994 a 1997 y anteriores.	SH	Estricto control de desempeño y mayor rendimiento que SG.
Gasolina.	Para automóviles de modelos de 1997 en adelante y anteriores.	SJ **	Aceite de óptimo rendimiento para multigrados. Mayor protección de los catalizadores para vehículos 1997. Anteriores y posteriores.

* Clasificaciones obsoletas. No usar a menos que lo especifique el fabricante.

** Aprobado en octubre de 1996.

Fuente: Bardahl de México S.A de C.V

Tabla 3.3

Clasificación por Servicio y Condiciones de Operación.

DESIGNACION POR LETRA	DESCRIPCION API DE SERVICIO AL MOTOR
SA	Servicio de motores muy antiguos operados bajo condiciones ligeras, donde la protección ofrecida por aceites con aditivos no es requerida. Estos aceites no deberán usarse en ningún motor a menos que sea específicamente recomendado por el fabricante del equipo.
SB	Servicio para motor de gasolina de trabajo mínimo. Para motores operando bajo condiciones suficientemente moderadas como para requerir únicamente protección mínima a través de mezclas. Estos aceites ofrecen sólo capacidad antidesgaste y resistencia a la oxidación del aceite y la corrosión del cojinete.
SC	Servicio de garantía de mantenimiento para motores de gasolina 1964. Para autos de pasajeros y algunos modelos de camión operando bajo las garantías vigentes de los fabricantes de motores para modelos de los años 1964 a 1967, estos aceites ayudan a controlar los sedimentos en los motores de alta y baja temperatura, el desgaste, herrumbre y corrosión.
SD	Garantía de servicio de mantenimiento para motor de gasolina 1968. Para autos de pasajeros y algunos modelos de camiones que operen bajo las garantías vigentes de los fabricantes de motores para modelos de los años 1968 a 1970, además de algunos modelos 1971 o posteriores. Estos aceites proporcionan una mejor protección que los aceites clasificados SC contra sedimentos en el motor de alta y baja temperatura, desgaste, herrumbre y corrosión y pueden usarse en su lugar.
SE	Garantía de servicio de mantenimiento de motor de gasolina 1972. Para automóviles de pasajeros y algunos camiones de reparto empezando con los modelos 1972 (y algunos 1971) operando bajo las garantías de los fabricantes de motores. Estos aceites que proporcionan una mejor protección que los aceites clasificados SC y SD contra la oxidación, los depósitos del motor de alta y baja temperatura, herrumbre y corrosión, pueden usarse cuando se recomiendan ya sea al SC o el SD.
SF	Garantía de servicio de mantenimiento para motor de gasolina 1980. Para automóviles de pasajeros y algunos camiones de reparto, empezando con modelos 1980 operando bajo las garantías de los fabricantes de motores. Estos aceites proporcionan una mayor estabilidad de oxidación y una mejor acción antidesgaste que los aceites que reúnen los requerimientos mínimos para la clasificación SE; también ofrecen protección contra los sedimentos de los motores, herrumbre, corrosión y pueden emplearse cuando se recomienda un aceite clasificado SC, SD o SE.
SG	Garantía de servicio de mantenimiento para motores de gasolina 1989. Para servicio típico de motores a gasolina actuales de automóviles, vans, camiones de reparto, operando bajo las garantías de los fabricantes de motores. Estos aceites proporcionan un control mejorado sobre los depósitos en el motor, oxidación del aceite y desgaste del motor, con relación a aceites desarrollados para categorías previas. Estos aceites también proporcionan protección contra la herrumbre y corrosión, y pueden ser usados cuando se recomienda un aceite SF, SE, SF/CC ó SE/CC.
SH	Servicio de motores a gasolina de automóviles, camionetas y camiones ligeros de modelos de 1994 y anteriores, operando bajo los procedimientos de mantenimiento del fabricante. Estos aceites proporcionan mejor control de depósitos, oxidación del aceite, desgaste y mayor protección contra herrumbre y corrosión que los clasificados como SG.
SJ	Servicio de motores a gasolina para modelos de 1997 y anteriores. Estos aceites reducen la emisión de azufre y fósforo para evitar el ataque al catalizador y reducir el gasto de combustible. Esta nueva clasificación fue aprobada en octubre de 1998.

Nota: La clasificación SI no existe para no confundir las iniciales con las del Sistema Internacional de Unidades (SI).

Fuente: Compañía Comercial Importadora S.A de C.V. Grupo Quaker State.

El añadir productos químicos a los aceites aumentó los niveles de viscosidad y trajo otras mejoras en el funcionamiento. En las refinerías actuales los aceites se diseñan y formulan para un amplio margen de usos y condiciones de operación. La selección cuidadosa de materiales, la moderna tecnología de refinación y los nuevos aditivos permiten la producción de varios pesos moleculares y viscosidades adecuadas para los automóviles y camiones actuales.

3.2.1 INDICE DE VISCOSIDAD

El índice de viscosidad es la medida del cambio en viscosidad con relación a las temperaturas de operación; entre más alto es el número, el cambio es menor. El índice de viscosidad (IV) es una escala arbitraria. Estos números no tienen relación con la viscosidad del aceite o a su número SAE. A los aceites de motor que se usan en un amplio rango de temperatura se les agrega un aditivo llamado “mejorador del índice de viscosidad”, que generalmente son polímeros de alto peso molecular; estos aditivos hacen posibles los aceites multigrados, aceites llamados para todo clima.

El índice de viscosidad de un aceite lubricante es de primordial importancia, ya que un aceite de alto índice de viscosidad (más de 95.1 IV) es un aceite de buena calidad y un aceite de bajo índice de viscosidad (a menos de 60 IV) es un aceite inferior.

El índice de viscosidad se calcula como sigue:

$$IV = \frac{L - U}{L - H} \times 100$$

de donde:

U = Viscosidad a 37.8 °C del aceite al que se le va a calcular el índice de viscosidad.

L = Viscosidad a 37.8 °C de un aceite con 0 índice de viscosidad, que tiene la misma viscosidad a 98.9 °C que el aceite al que se le va a calcular el índice de viscosidad.

H = Viscosidad a 37.8 °C de un aceite con 100 de índice de viscosidad, que tiene la misma viscosidad a 98.9 °C que el aceite al que se le va a calcular el índice de viscosidad.

Los modificadores de viscosidad son polimeros solubles en aceite que reducen la proporción de cambio de la viscosidad por efecto de la temperatura. Se les conoce con el nombre de:

- * Mejoradores de la viscosidad.
- * Mejoradores del índice de viscosidad.
- * Modificadores de la viscosidad.

Los mejoradores del índice de viscosidad se añaden para reducir la velocidad de cambio de viscosidad.

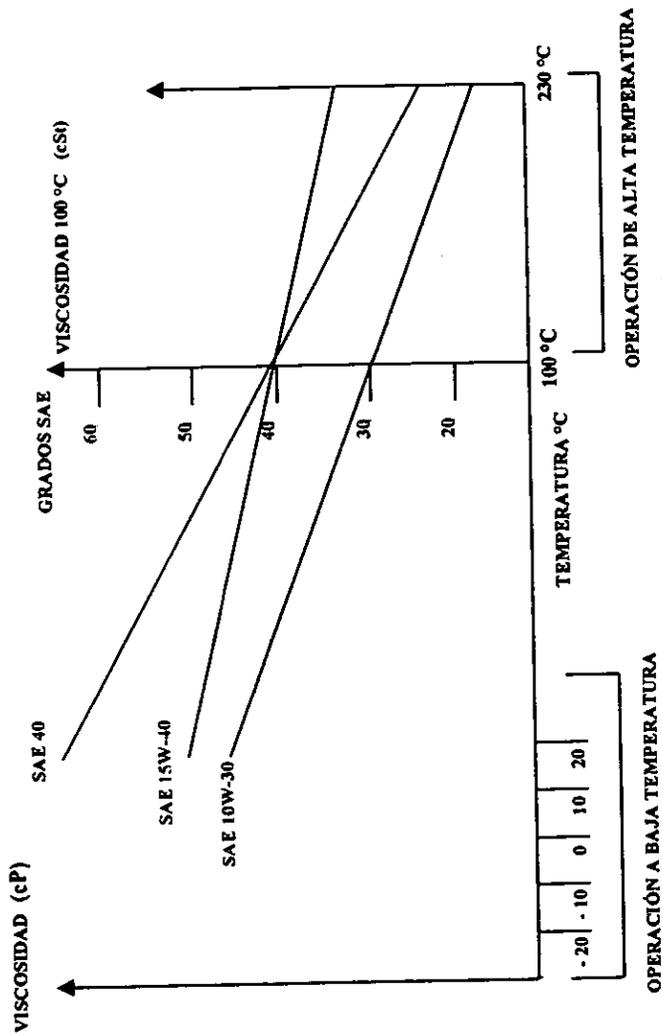
ASPECTOS IMPORTANTES

- * Los aceites lubricantes disminuyen su viscosidad cuando son calentados.
- * El índice de viscosidad se desarrolló para comparar ejemplos prácticos de la variación de la viscosidad por efecto de la temperatura.
- * Se escogió una escala arbitraria de 0 - 100.
- * El I.V depende de la composición química.
- * El I.V puede ser mejorado adicionando aditivos.

3.2.2 VARIACION DE LA VISCOSIDAD CON RESPECTO A LA TEMPERATURA

En la gráfica 3.1 se muestra el comportamiento de un aceite monogrado y un multigrado cuando son sometidos a diferentes temperaturas, existiendo una diferencia importante entre ambos lubricantes. Es este tipo de pruebas lo que hace determinar que tipo de lubricante se debe usar, cuando y porqué.

Gráfica 3.1
CAMBIO DE VISCOSIDAD DEL ACEITE CON RESPECTO
AL CAMBIO DE TEMPERATURA
(ACEITE MONOGRADO VS MULTIGRADO)



Fuente: Cia. General de Lubrificantes S.A de C.V (ESSO MEXICO).

3.3 TIPOS DE ACEITES LUBRICANTES PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

3.3.1 ACEITES MONOGRADOS

REQUERIMIENTOS FÍSICOS PARA ACEITES DE MOTOR

Los aceites monogrado son los lubricantes para motor a gasolina y/o diesel que cubren los requerimientos de un solo grado de viscosidad de clasificación SAE. O un solo grado para invierno o un solo grado para verano, por ejemplo 30 o 40.

SAE ha establecido que 12 grados de viscosidad son los adecuados para los aceites lubricantes de motor. Los requerimientos físicos para esos grados de viscosidad están descritos en el documento SAE J300 ⁹, el cual se emitió para ser usado por los fabricantes en la determinación de los grados de viscosidad adecuados de los lubricantes a usarse en sus motores. Los requerimientos vigentes para baja y alta temperatura para esos 12 grados de viscosidad se observan en la tabla 3.1 mostrada anteriormente.

3.3.2 ACEITES MULTIGRADOS

Son los lubricantes para motor a gasolina y/o a diesel que cubren los requerimientos de más de un grado de viscosidad de clasificación SAE, y que pueden ser usados en un rango más amplio de temperaturas.

Un aceite multigrado se identifica por dos grados SAE.

Así, un grado SAE 15W-40, indica que a bajas temperaturas se comporta como un 15W, y a temperaturas normales como un aceite grado SAE 40.

⁹ SAE INTERNATIONAL. Sección México.

3.3.3 VENTAJAS DE LOS ACEITES MULTIGRADO SOBRE LOS MONOGRADO

Los aceites multigrados pueden ofrecer ventajas significativas sobre los monogrados:

- a) Arranque más rápido del motor en frío. Por consecuencia, se obtiene mayor vida del motor en el arranque. Esto se advierte no solamente en climas fríos, sino también a temperatura ambiente. La diferencia entre un multigrado y un monogrado en estos casos es notoria.
- b) Mejores características para trabajos a bajas temperaturas, y debido a las tolerancias menores en los motores modernos, el aceite debe fluir más rápidamente para llegar y proteger las piezas vitales del motor.
- c) También se comportan muy bien a altas temperaturas con una película más resistente a altas temperaturas que la de los aceites monogrado, lográndose con esto una disminución en el desgaste del motor.
- d) Existe un ahorro importante de lubricante, ya que se logra un excelente sellado en la zona entre anillos y pistón, evitando el paso de aceite a la cámara de combustión, en donde se quemaría.
- e) Proporciona la ventaja de ahorro de combustible por su mayor fluidez a temperaturas bajas, lo cual reduce las pérdidas de energía en el arranque y además, reduce la fricción en las zonas calientes y críticas del motor (anillos de pistón, camisas, y levas de válvulas), gracias al aditivo mejorador del índice de viscosidad.

3.4 LUBRICANTES SINTÉTICOS

Los lubricantes sintéticos son un amplio rango de compuestos derivados de síntesis químicas y no derivados del petróleo o aceites de origen animal o vegetal. Son aceites elaborados con productos químicos

orgánicos para obtener propiedades especiales en un proceso de lubricación. Los aceites sintéticos se obtienen por procesos que transforman su molécula mejorando sus propiedades lubricantes. Los productos lubricantes a base de aceites derivados del petróleo o de aceites de animales o vegetales por otro lado, son mezclas de compuestos mismos que pueden variar en su composición dependiendo de la fuente donde se obtuvieron y del grado de refinamiento.

Los lubricantes sintéticos fueron inicialmente desarrollados como un resultado del descubrimiento de las propiedades lubricantes de fluidos no derivados del petróleo. Un trabajo más avanzado en este tipo de lubricantes y en los de base ésteres fue llevado a Alemania antes y durante la Segunda Guerra Mundial para sobrellevar la escasez del petróleo y sus derivados, específicamente, los lubricantes necesarios en los motores de alto desempeño de nuevos aviones de la época y los lubricantes para automóviles de uso en las operaciones militares de invierno.

3.4.1 TIPOS DE LUBRICANTES SINTÉTICOS

Varios tipos de fluidos sintéticos producidos para ser usados como lubricantes son hidrocarburos sintéticos, silicones, poliésteres, fosfatos, silicatos, componentes altamente fluorinados y poliaromáticos.

Los fluidos con base sintética son usualmente compuestos con aditivos para mejorar o modificar una o más de sus propiedades. Algunos tipos de fluidos son más sensibles al tratamiento con aditivos que otros y su comportamiento puede ser altamente mejorado.

Adicionalmente, agentes gelificantes ya sean jabones y colorantes o inorgánicos (arcillas y silicatos), pueden ser usados con sintéticos para producir grasas, los que generalmente reflejan las propiedades de sus fluidos básicos.

APLICACIONES

Los lubricantes sintéticos fueron originalmente producidos para ser usados en situaciones muy severas donde los lubricantes normales son incapaces de funcionar y considerados como el último recurso; primero por su alto costo comparado con los lubricantes comunes. En algunos casos, se justifican, especialmente cuando se esperan condiciones muy extremas en temperatura o expuestas a ambientes muy difíciles con fuentes oxidantes o con radiaciones nucleares. Sin embargo hay un creciente reconocimiento de que ciertos tipos pueden desde el punto de vista económico reemplazar a los lubricantes derivados del petróleo (aunque se requiera una cantidad mayor de inversión) con el objeto de conseguir una mayor vida útil de los equipos, reducir los tiempos de mantenimiento y menor costo de lubricación a largo plazo. En muchas aplicaciones para equipos nuevos, cambiar a lubricantes sintéticos puede incrementar el costo inicial de los productos, pero como resultado, los menores costos de operación para los consumidores y menos quejas de garantía para el fabricante.

Un uso mayor de los lubricantes sintéticos han sido en los motores de autopropulsión. Estos motores necesitan lubricantes con buena relación de temperatura y viscosidad, baja volatilidad y una buena capacidad de carga. Los lubricantes a base de petróleo se comportan muy diferente bajo estas condiciones. Los motores de turbojets usan aceite ya sea diester que cumplen con las especificaciones MIL-L-7808G o neopentil-ester que cumple con la norma MIL-L-23699. Los dos son formulados para dar lubricación a temperaturas de aceite de 150 a 200 °C. el neopentil-ester provee mejores capacidades para altas temperaturas y cargas.

Ahora los lubricantes sintéticos están siendo usados como reemplazos directos de los derivados del petróleo. En donde los lubricantes derivados del petróleo ofrecen un buen desempeño, los lubricantes sintéticos se comportan mejor. Un ejemplo de su reciente introducción como lubricantes ha sido para compresores recíprocos. En un tipo de unidad, el intervalo de cambio de lubricantes a base de petróleo se hacía cada 500 hrs. para prevenir daños al equipo. Aún con este ciclo de cambios, se hacía necesario detener el equipo para

mantenimiento cada 2000 hrs., con un lubricante sintético la misma unidad trabaja un ciclo de 4000 hrs. y aún en este mayor periodo se mostraba muy poca evidencia de desgaste, otras ventajas sobre los aceites derivados del petróleo son mayores temperaturas de operación y menores promedios de consumo de lubricante.

Otros fluidos sintéticos con una amplia variedad de aplicaciones incluye los fosfato-ésteres para uso en fluidos hidráulicos resistentes al fuego, glicoles para uso en líquidos de freno, fluorosilicatos para uso en compresores de gas y polifeniles para resistencia a la radiación.

Hay que agregar que la calidad no necesariamente queda definida por ser un lubricante sintético, la calidad queda definida por el paquete de aditivos que debe balancearse con las bases sintéticas.

Los aceites sintéticos que están adecuadamente formulados otorgan ventajas para los automovilistas actuales como:

- a.- Mínimo desgaste porque en el arranque se obtiene instantáneamente la lubricación en todo el motor, tomando menos de un segundo, de tal manera que contrarresta el desgaste común inicial; el 70% del desgaste total del motor se produce durante el arranque.
- b.- Mínimo consumo de aceite. Por su baja volatilidad no tiene la tendencia a evaporarse con las altas temperaturas de la zona del tren de válvulas y además por su mayor viscosidad en la zona de anillos del pistón optimiza el sellado, con lo que menos aceite pasará a la cámara de combustión donde se quemaría.
- c.- Economía de combustible. Por sus exclusivos aditivos modificadores de fricción minimiza la resistencia interna del motor.
- d.- El desempeño general permite garantizar protección total y mayor vida útil del motor.

CAPÍTULO IV

*Aditivos para aceites
lubricantes.*

4.1 ADITIVOS PARA LUBRICANTES DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.

Un aditivo es un compuesto químico que se añade a los aceites básicos que se emplean como lubricantes, a fin de brindarles nuevas propiedades o mejorar las ya existentes.

Los aditivos son normalmente agrupados por los efectos que ellos producen como antioxidantes, antidesgaste y aditivos para presiones extremas, inhibidores de corrosión y herrumbre, para mejorar el índice de viscosidad.

Los aditivos para lubricantes son compuestos esenciales que aumentan las propiedades de los aceites para reunir los requisitos de trabajo o desempeño en equipos automotrices. Los avances de la ingeniería automotriz de los últimos 50 años no pudieron haber sido logrados sin ellos.

Los aditivos para lubricantes son químicos o naturales los cuales han probado que al ser incorporados a fluidos lubricantes básicos mejoran sus propiedades. La calidad se obtiene no solo a través de su purificación y proceso de obtención, sino también por la adición de ciertos componentes químicos o agentes aditivos, los cuales se agregan a los lubricantes para una variedad de propósitos dando como resultado la mejora sustancial de los aceites.

ANTECEDENTES ¹⁰

Hasta cerca de 1930, los aceites lubricantes sin aditivo tenían ciertas características las cuales eran satisfactorias para el desempeño en los automotores y máquinas industriales. Sin embargo, en los 40's y principios de los años 50's, el diseño de nuevo equipo automotriz e industrial crea la necesidad de una mejor lubricación. Las altas temperaturas y los factores de carga aumentaron; así para 1950 los lubricantes junto con los aditivos tuvieron la necesidad de reunir ciertas características.

¹⁰ Additives for lubricants a time change. No. de revista: 54605. Instituto Mexicano del Petróleo.

La idea de adicionar algo a los aceites de petróleo para mejorar sus propiedades y comportamiento fue primeramente usada en las plantas generadoras y para lubricantes industriales y de ferrocarril. De hecho, el aceite para cilindros de vapor adicionados con grasa animal como cebo o manteca, fue algunos de los primeros aditivos usados en los aceites lubricantes de petróleo. Resina y mica en la grasa para ejes fue la primera de esta clase de lubricantes. Aceite de pescado fue usado en los motores de la mayoría de las locomotoras de principios de los años 20's.

Las primeras aplicaciones de aditivos se dieron para solucionar problemas mecánicos y los primeros aditivos para aceites lubricantes hechos en 1925 fueron desarrollados para solucionar los problemas de zumbido en el planetario de la transmisión del modelo Ford T. Este fue el primer uso comercial de aditivos químicos para mejorar las características de los aceites básicos de las transmisiones automotrices. Los desarrollos a gran escala resultaron en un nuevo tipo de lubricante con aditivos de plomo-detergentes-azufre en aceites para engrane que se conoce como lubricante de Extrema Presión (EP). Este aditivo ha evolucionado en un rango muy amplio de aditivos también llamados combinaciones de aditivo EP. Tipos diferentes de aditivos EP han permitido a los ingenieros de muchos campos incrementar las cargas y velocidades de giro de los componentes internos de las máquinas sin incurrir en daños por fallas en las superficies lubricadas.

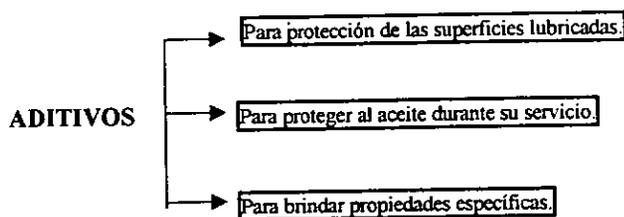
En 1936 el primer aceite lubricante de tipo detergente fue desarrollado para cumplir con condiciones de trabajo severas que acompañaron la adopción de motores diesel en tractores y camiones, siendo éste el primer aditivo que tiene una vida útil de servicio más marcada por la prevención de formación de depósitos de aceite degradado en el interior del motor. Subsecuentemente por los componentes de los aceites bases, ciertos aditivos y los aditivos detergentes combinados con las nuevas aleaciones de baleros formaban ácidos corrosivos. El desarrollo de nuevos aditivos llevó al uso de aceites no corrosivos con importantes características inhibitorias de la detergencia. La segunda guerra mundial obligó a acelerar el desarrollo de los aditivos para cumplir con las especificaciones cada vez más severas, que después fueron aplicadas a la práctica comercial con

un énfasis mayor en su comportamiento en el campo que en las pruebas de laboratorio.

Algunos de los aditivos más comúnmente usados en los lubricantes industriales son iguales a aquellos usados dentro de las clasificaciones automotrices, pero están diseñados para diferentes temperaturas y cargas. Los fabricantes de maquinaria industrial y de construcción a menudo usan la clasificación de viscosidad SAE, la clasificación API para servicio, o la lista del Instituto Internacional de Motores de Combustión. La última lista es la de marcas de aceites industriales y de motores automotrices de trabajo pesado para tres niveles de desempeño. Así, el progreso en los lubricantes específicos para un campo de aplicación ha ayudado de manera directa a aplicaciones en otros campos.

El desarrollo de las especificaciones son totalmente diferentes en los sectores industrial y automotriz. Para los aceites automotrices son desarrolladas sus especificaciones en EE.UU por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), Sociedad Americana de Pruebas en Materiales (ASTM) y por el Instituto Americano del Petróleo (API).

4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS



Existen numerosos aditivos para diferentes aplicaciones. Los aditivos pueden ser divididos en dos clasificaciones generales:

1.- Los que afectan algunas características físicas de los lubricantes tales como el punto de condensación, la propiedad

antiespumante o la relación viscosidad-temperatura.

2.- Aquellos cuyo efecto final es de naturaleza química, cuyo efecto generalmente es a través de características de desempeño como la detergencia, oxidación-corrosión, antiherrumbre, extrema presión, etc.

Cada una de estas clases de aditivos pueden ser mezclados en aditivos de propósito múltiple para usarse en compuestos lubricantes terminados.

Las principales características de las dos clases de aditivos para la industria automotriz son:

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

- * Antioxidantes.
- * Anticorrosión.
- * Antidesgaste.
- * Detergentes.
- * Dispersantes.
- * Agentes alcalinos (TBN).
- * Antiherrumbrantes.
- * Extrema presión.

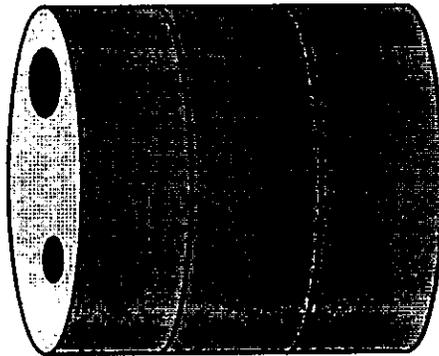
CARATERÍSTICAS FÍSICAS

- * Agentes para disminuir la temperatura de congelación.
- * Mejoradores de viscosidad.
- * Antiespumantes.
- * Colorantes.

La composición de un aceite lubricante en general está formado por tres elementos como se muestra en la figura 4.1.

Cabe mencionar que los aditivos que se le agregan a un lubricante en el proceso de formulación se les conoce como “paquete de aditivos”.

Fig. 4.1 Composición típica de un lubricante



- * ACEITE BÁSICO: 70 - 98 %
- * PAQUETE DE ADITIVOS: 2 - 30 %
- * MEJORADOR DE I.V.: 0 - 7 %

4.3 ADITIVOS INHIBIDORES DE OXIDACIÓN Y CORROSIÓN

La oxidación del aceite causada por un excesivo calor del motor engrosa permanentemente el aceite. Además, los productos de la oxidación pueden atacar algunos metales del cojinete. Existen productos químicos solubles en aceite que se utilizan para retardar la oxidación. Los inhibidores de la corrosión retrasan el deterioro del aceite a alta temperatura. Los inhibidores de la corrosión forman una cubierta protectora sobre los metales sensibles que se usan en los cojinetes.

La corrosión es un ataque químico a menudo asociado con metales amarillos (cobre, bronce, aleaciones).

Son aditivos que disminuyen la oxidación del aceite con el efecto secundario de reducir la corrosión. También disminuyen la degradación oxidante y térmica catalizada por los metales de los aceites que originan lodos y depósitos carbonáceos insolubles y lacas. La degradación oxidante de un aceite incrementa su número de neutralización, oscurece el color, eleva la viscosidad, etc. Los inhibidores contienen uno o más elementos activos tales como azufre (S), fósforo (P), selenio (Se) o estaño (Sn), combinados con alcoholes, fenoles o hidrocarburos insaturados.

La oxidación parcial de las moléculas de aceite y el combustible escapado de la cámara de combustión incrementan la presencia de los tipos de moléculas pro-oxidantes que actúan como promotores de cadena en los procesos de oxidación, éstas moléculas son desactivadas por los aditivos antioxidantes, evitando el mecanismo de oxidación. Los metales como Hierro (Fe), aluminio (Al), cobre (Cu), plomo (Pb), cadmio (Cd), forman jabones pro-oxidantes y oleosolubles con los ácidos carboxílicos producidos en la oxidación del aceite. Estos jabones se desactivan por ciertos tipos de inhibidores tales como compuestos de azufre, fósforo y selenio que dan derivados metálicos oleoinsolubles. Se puede verificar la pasivación de partes del motor contra la corrosión por productos ácidos originados en la oxidación del aceite por el empleo de ciertos inhibidores que forman sobre la superficie

metálica películas delgadas de sulfuros, fósforos, etc. y metálicos que no sufren ataque apreciable.

Los inhibidores de oxidación están compuestos de materiales aditivos que combinan químicamente con las superficies aleadas impartiendo un grado de inmunidad al ataque de los ácidos.

En resumen:

- * Reducen la oxidación del lubricante (aumentan la viscosidad y el número de ácidos total, TAN).
- * Reducen la formación de barniz.
- * Reducen la corrosión de cojinetes de cobre/plomo.

4.4 ADITIVOS ANTIDESGASTE Y DE PRESIÓN EXTREMA

La mayor unidad de carga y las velocidades de los motores modernos, junto con el tamaño reducido de muchas partes del motor, han dado como resultado condiciones de lubricación límite o de presión extrema. Conocidos indistintamente como modificadores de la fricción, agentes reductores de la fricción, compuestos antidesgaste o aditivos de extrema presión (EP), ciertos aditivos del aceite para motor que generalmente contienen azufre, fósforo y materiales grasos, reaccionan con las superficies metálicas bajo condiciones de alta carga y alta temperatura para establecer un revestimiento de una película resistente que reduce la fricción, el calor y el contacto de metal contra metal. Estos revestimientos impiden la soldadura de las superficies metálicas y la aspereza de las superficies tersas. La reducción en la fricción también reduce el consumo de combustible.

El desgaste es la pérdida de metal con el subsecuente cambio en las tolerancias de los equipos.

Entre los principales factores que causan el desgaste se pueden mencionar: el contacto entre metal-metal, la presencia de partículas abrasivas y el ataque de ácidos corrosivos.

El contacto de metal-metal puede evitarse agregando compuestos que tienden a formar una película protectora en la superficie de los metales por adsorción física o por reacción química. Los ditiofosfatos de zinc se usan ampliamente para este propósito y son particularmente efectivos en la reducción del desgaste en los mecanismos de válvulas.

Otros compuestos igualmente efectivos contienen fósforo, azufre ó combinaciones de estos elementos.

El desgaste, por lo general, es el resultado del ataque de los productos ácidos formados durante la combustión que pasan al cárter. Este tipo de desgaste se puede controlar mediante el uso de aditivos alcalinos, tales como los sulfonatos y fenatos físicos.

4.5 ADITIVOS DETERGENTES-DISPERSANTES

El término detergente, ampliamente usado en el campo de los aceites lubricantes, está mal usado. Un término correcto para la acción de este tipo de aditivos es el de dispersante, dado que mantiene insolubles los productos de la combustión y oxidación dispersos en el aceite.

El aceite mineral por puro o fino que sea, no puede evitar la formación de lodo y barniz, los cuales provienen de la combustión incompleta de la gasolina y que pueden llegar a taponear las venas o conductos por donde el aceite fluye para lubricar.

La formación de lodo y barniz en los motores es un problema que existe desde hace mucho tiempo, especialmente entre los vehículos de mucho uso y que efectúan recorridos breves, tales como los taxis,

camiones de reparto locales, entre otros. Los detergentes de aceite producidos originalmente para tratar problemas de motores diesel han sido adaptados para usarse en motores de gasolina. A pesar de que se les relaciona químicamente a los detergentes domésticos, los detergentes/dispersantes no tienen el mismo tipo de poder limpiador. Pueden ayudar a impedir la formación de lodo y barniz pero no pueden eliminarlo una vez que se ha formado. Estos aditivos no obstruyen los filtros o sistemas de lubricación cuando desalojan lodo y barniz.

Los detergentes y los dispersantes funcionan desechando los contaminantes e impiden su formación en partículas más grandes y dañinas. A pesar de que los detergentes/dispersantes se oscurecen rápidamente, esto indica que están desempeñando su función de mantener en suspensión los contaminantes relacionados con el combustible y no que sea necesario un cambio inmediato del aceite. Deberá notarse que al igual que otros aditivos, los detergentes/dispersantes se agotan y se recomienda sacar y reemplazar el aceite para motor.

Esta clase de aditivos se compone de sustancias organometálicas oleosolubles, sales de ácidos orgánicos o fenoles. Los metales utilizados son generalmente: Calcio (Ca), bario (Ba) y, menos frecuentemente, aluminio (Al), magnesio (Mg), estaño (Sn), cobalto (Co), zinc (Zn) y sodio (Na). Las características básicas de estos aditivos sirven para neutralizar los productos ácidos formados en la oxidación del aceite.

También funcionan para abatir el punto de congelación y mejorar el índice de viscosidad. El exceso de agua en el aceite, puede originar agotamiento de aditivo detergente por hidrólisis de los mismos y formación de carbonatos y sulfatos metálicos; a través de la aereación o de la reacción con los gases que se escapan de la cámara de combustión. En estas condiciones, la parte ácida orgánica del aditivo puede dar lugar a la corrosión excesiva.

LOS ADITIVOS DETERGENTES SE CARACTERIZAN POR:

- a) Reducir depósitos de lacas, carbón y barniz, sobre los pistones del motor.

b) Prevenir el atascamiento de los anillos bajo severas condiciones de operación a alta temperatura.

*LOS ADITIVOS DISPERSANTES TIENEN LAS SIGUIENTES
CARACTERÍSTICAS*

- a) Poner en suspensión el hollín (partículas de carbón) que se forman principalmente en los motores diesel.
- b) Inhiben y dispersan lodos que se forman especialmente en motores a gasolina operando en condiciones de paradas y arranques sucesivos.
- c) Reducen la formación de depósitos de barniz encontrados en los motores a gasolina.
- d) Suspenden lodos.
- e) Reducen notablemente el tamaño de las partículas de lodo.
- f) Minimizan los depósitos de barniz.
- g) Neutralizan los ácidos de la combustión.

se componen principalmente de poliésteres de estireno.

4.6 AGENTES ALCALINOS (TBN)

El término “básico” aplica a cualquier aditivo detergente que tiene alcalinidad disponible para neutralizar los materiales ácidos formados a partir del aceite oxidado, combustible parcialmente quemado, azufre en el aceite, etc.

La alcalinidad para combatir el desgaste está asociada con la corrosión en la parte superior de los cilindros de motores donde los productos de la combustión son los agentes de las gasolinas. El azufre contenido en los combustibles diesel también controla los requerimientos básicos o alcalinos.

4.7 ADITIVOS ANTIHERRUMBRANTES

El agua y los ácidos producidos por la combustión pueden causar problemas de herrumbre y corrosión. Los productos químicos solubles en aceite con una mayor afinidad por el metal que por el agua, protegen contra la herrumbre al formar una película impermeable y continua sobre las partes del motor. Otros aditivos químicos limitan el agua o las moléculas de los ácidos para impedir el contacto con las partes del motor.

La herrumbre es una forma de oxidación catalizada por agua y ácidos.

La humedad debida a las condiciones de operación de las máquinas está presente en los lubricantes circulantes tanto como agua del ambiente como contenida en el lubricante. Un inhibidor de herrumbre previene que el agua entre en las películas protectoras de el aceite. Esto se cumple mejorando la habilidad del aceite a adherirse tenazmente a las superficies metálicas.

En otras aplicaciones, algunos aditivos antiherrumbre también actúan como emulsificantes mientras esta propiedad se requiere desde el punto de vista de la protección contra la herrumbre, esto puede ser objetable en aceites donde excelentes características de demulsificación y separación de agua son necesarias. Con agentes para prevención de herrumbre, algunas veces se obtiene también protección contra corrosión.

Entre los aditivos antiherrumbrantes, se puede mencionar a los sulfonatos, y ácidos succínicos.

4.8 AGENTES REDUCTORES DE LA TEMPERATURA DE CONGELACIÓN

Cuando existen temperaturas muy bajas, algunos aceites tienden a solidificarse, causando problemas como: a) el no poder vaciar el aceite al cárter y b) no poder usar los aceites al no penetrar en la malla y en la bomba del aceite, pudiendo provocar deterioros en toda la maquinaria al no existir película de aceite para la lubricación.

Para evitar esto, se agregan compuestos químicos llamados depresores de la temperatura de congelación que tienen como función bajar la temperatura a la cual los aceites todavía no solidifican.

La repentina solidificación se debe a que en la refinación de los aceites la gran mayoría de las parafinas se eliminan, pero la poca cantidad que aún queda sobre todo en las fracciones pesadas del aceite mineral, tienden a cristalizarse.

Se ha demostrado que estos inhibidores no evitan que la parafina cristalice en el aceite, sino que absorben los cristales de parafina y reducen así la cantidad de aceite ocluido en el cristal. La reducción en volumen de estos cristales permite que el aceite fluya con mucha mayor facilidad.

Algunos de los elementos utilizados para este propósito son:

1. Parafinas alquiladas.
2. Naftalenos.
3. Polimetacrilatos.
4. Alquil-fenol-parafínico.

4.9 MEJORADORES DE VISCOSIDAD

Los aceites para automóvil que se usan bajo temperaturas de operación muy variables implican números de alta viscosidad con un cambio dado en la temperatura. Los números más altos reflejan proporciones menores; los números más bajos indican proporciones mayores. Los compuestos poliméricos que se añaden a los aceites para motor pueden disminuir la proporción y de ese modo aumentar el número de índice de viscosidad.

La consideración más importante para seleccionar un aceite para una aplicación específica es la viscosidad y su variación dependiendo de la temperatura. La relación entre la viscosidad-temperatura en aceites se designa como índice de viscosidad (I.V).

Todo aceite a altas temperaturas baja su viscosidad y a bajas temperaturas se incrementa.

Cuando un aceite tiene un índice de viscosidad alto nos indica que su viscosidad varía muy poco en una amplia escala de temperaturas.

Existen aditivos mejoradores del índice de viscosidad como algunos polímeros orgánicos solubles en aceite. La molécula del polímero en solución, aumenta su volumen por la acción disolvente del hidrocarburo.

El volumen de esta molécula determina el grado en el cual el polímero aumenta la viscosidad.

A mayor temperatura el volumen de la molécula del polímero es mayor y mayor será su efecto en el aumento de la viscosidad, por lo tanto menor será la tendencia del aceite a adelgazarse debido al aumento de la temperatura.

Además de la característica de mejorar la viscosidad con la temperatura, la actuación de los mejoradores de índice de viscosidad, depende de su comportamiento al esfuerzo cortante y de su estabilidad química y térmica.

Entre los compuestos mejoradores del índice de viscosidad se encuentran los metacrilatos y los poliisobutílicos. Estos compuestos son materias primas sin las cuales no fuese posible la elaboración de aceites multigrado o multiviscosos que existen en la actualidad.

4.10 ADITIVOS ANTIESPUMANTES

Cuando los aceites lubricantes son sometidos a un movimiento brusco con la presencia de aire, burbujas pequeñas aparecen a menos que esas burbujas se rompan rápidamente. El aire que llega a penetrar en el cárter sufre un proceso de batido debido al movimiento de las partes del motor. Se forma una gran cantidad de burbujas que quedan atrapadas en el aceite formando espuma, la cual en muchas ocasiones no ofrece esa película irrompible entre las partes móviles del motor, lo cual no permite un enfriamiento normal de estas mismas partes.

Aditivos detergentes incrementan la tendencia de formación de espuma en los aceites. Los problemas de formación de espuma pueden ser remediados por la adición de cantidades mínimas de agentes antiespumantes (0.0001 a 0.005%). Los más conocidos y usados agentes antiespumantes son los polímeros de silicón de peso molecular intermedio como los llamados aceites de silicón e hidrógeno. La cantidad de agentes antiespumantes dependerá de las demás propiedades del lubricante y de las condiciones de operación y diseño.

4.11 ADITIVOS COLORANTES

Los aceites y grasas lubricantes algunas veces utilizan estabilizadores de color para controlar la uniformidad del color o para prevenir que el producto se vuelva oscuro cuando se someta a la

acción de la luz, el calor o la oxidación. En algunas aplicaciones es deseable que los lubricantes tengan colores distintivos tanto para propósitos de identificación como para dar la apariencia de ser más valiosos. La identificación de los lubricantes por su color es importante cuando un sistema de lubricación de varios lubricantes tiene alguna fuga.

Algunos colorantes químicos son solubles en aceite y tienen gran poder de coloración, Estos colorantes son del mismo tipo de los usados en la gasolina, pero para aceites se requieren en mucha mayor cantidad. También son utilizados colorantes fluorescentes que obscurecen el aceite dándole una apariencia muy agradable.

Cuando es deseable dar a los lubricantes un olor distintivo, se utilizan perfumes sintéticos o químicos altamente oloríficos para cubrir olores desagradables provocados por algún otro aditivo. Por ejemplo los compuestos de azufre en los lubricantes de alta presión.

En la tabla 4.1 se muestran los diferentes aditivos utilizados en las distintas industrias como son: la automotriz y la industrial.

En la tabla 4.2 se describe el tipo de aditivo, sus propiedades más importantes y los compuestos básicos de cada uno de ellos, con lo cual se logra el objetivo de mejorar los lubricantes necesarios en la industria.

En la tabla 4.3 se presenta a manera de resumen los problemas más comunes debido a los tipos de contaminantes presentes en los lubricantes para motores de combustión interna.

Tabla 4.1

Composición típica de los paquetes de aditivos.

NOMBRE	PCMO	HDD	ATF	IGO
Detergente metálico.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Dispersante libre de cenizas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Antioxidante.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Agente antidesgaste.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Agente de extrema presión.				<input type="checkbox"/>
Inhibidor de herrumbre.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Inhibidor de la corrosión.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Modificador de fricción.			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Agente antiespumante.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Agentes reductores del punto de escurrimiento.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Mejorador de índice de viscosidad.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Demulsificante.		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

PCMO: Motores a gasolina.

HDD: Motores a diesel.

ATF: Transmisiones automáticas.

IGO: Engranajes industriales.

Fuente: SAE International, Sección México.

Tabla 4.2

Tipos de aditivos, propiedades y composición de cada uno.

NOMBRE	PROPIEDADES QUE DEBEN IMPARTIR AL LUBRICANTE	COMPUESTOS TÍPICOS
Detergente metálico	Limpieza a altas temperaturas.	Compuestos metalorgánicos de fenolatos, fosfonatos y sulfonatos de Na, Ca y Mg.
Antioxidante.	Minimizar el deterioro del aceite base debido al ataque del oxígeno.	Ditiofosfatos de zinc, fenoles sulfurizados, aminas aromáticas.
Agente antidesgaste.	Reducir el desgaste debido al rozamiento de las superficies metálicas.	Fosfitos, fosfatos, tiofosfatos.
Agente de extrema presión.	Evitar la destrucción de los engranes sometidos a severas condiciones de operación.	Compuestos orgánicos de azufre y cloro, fosfatos, ácidos orgánicos, grasas sulfurizadas.
Inhibidor de herrumbre.	Proteger las partes en contacto contra el herrumbre.	Aminas, ácidos carboxílicos y succinicos, sulfonatos de Ca, Mg y Ba.
Inhibidor de la corrosión.	Evitar el ataque químico de los metales amarillos.	Ditiofosfatos de Zn, ácidos grasos y aminas.
Modificador de fricción.	Evitar la vibración a baja velocidad típicamente involucrada con el clutch y freno húmedo.	Ácidos grasos y aminas. Manteca de puerco. Esteres orgánicos fosforosos y fosfónicos.
Agente antespumante.	Evitar la formación de espuma, pérdida del aceite y "escases" de lubricante.	Polímeros de silicón. Copolímeros orgánicos.
Agente reductor del punto de escurrimiento.	Evitar la solidificación del aceite a bajas temperaturas.	Polímeros fenólicos Polimetacrilatos.
Mejoradores del índice de viscosidad.	Minimizar el efecto de la temperatura sobre la viscosidad.	Polímeros y copolímeros de: metacrilatos, butadieno, oleofinas, estirenos alquilados.
Demulsificante.	Facilitar la separación del agua contaminante.	Polioxolatos de alcoholes, fenoles y aminas.

Tabla 4.3

PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN EN EL DESEMPEÑO DEL ACEITE

EFFECTOS POTENCIALES

	OPERACION RUIDOSA	ATASCAMIENTO DE LA BOMBA DE ACEITE	ATASCAMIENTO DE LOS ANILLOS	BLOQUEO DE LOS CONDUCTOS DE ACEITE	ALTO CONSUMO DE ACEITE	PERDIDA DE POTENCIA	ALTA EMISION DE GASES	BAJA ECONOMIA DE COMBUSTIBLE	FALLAS MECANICAS MAYORES	REDUCCION EN LA VIDA UTIL DEL MOTOR
METRUMBRE	*	*				*	*	*	*	*
BAJAZ	*	*	*			*	*	*		*
LODO				*					*	*
INCREMENTO DE VISCOSIDAD				*					*	*
DESGASTE	*				*	*	*	*	*	*
CARBON			*		*	*	*	*	*	*
RAYADO					*	*	*	*	*	*

Fuente: SAE Internacional, Sección México.

CAPÍTULO V

Pruebas físicas y químicas de laboratorio aplicadas a los lubricantes de motores a gasolina.

PRUEBAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

MÉTODOS DE PRUEBA Y ORGANIZACIONES QUE INTERVIENEN PARA DEFINIR LA CALIDAD DEL LUBRICANTE

En cualquier proceso de fabricación es indispensable disponer de algún medio para controlar las características del producto que se está elaborando, esto también ocurre con los lubricantes.

En este capítulo se dan a conocer las propiedades más importantes de un aceite lubricante, los métodos de pruebas que intervienen en su análisis y aquellas organizaciones que rigen los parámetros máximos y mínimos que se deben cumplir.

Cabe mencionar que existen diversas pruebas a las que se somete una muestra en los laboratorios de las diferentes compañías, pero las que se tratarán en este trabajo corresponden únicamente a las de los lubricantes para motores de combustión interna o para la industria automotriz.

Las propiedades físicas y químicas más importantes que sirven para aprobar un aceite lubricante son las siguientes:

a) Viscosidad a 40 y 100 °C.

Es la propiedad más importante de un lubricante. Se define como la resistencia interna al desplazamiento que ofrece un líquido y en el caso del aceite determina su capacidad para soportar una carga.

También regula la formación de la película de aceite entre las paredes del cilindro y los anillos del pistón e influye en el consumo de aceite.

Para cualquier tipo de motor lo más importante en el aspecto de lubricación es la viscosidad correcta. De ahí que es esencial comprender que es la viscosidad, cómo se mide y por qué influye en el rendimiento.

Las viscosidades se determinan en viscosímetros cinemáticos a 40 y 100 °C. La viscosidad cinemática es determinada midiendo el tiempo que se necesita para que un volumen fijo de aceite pase de un aforo a otro a través de un tubo de vidrio llamado viscosímetro. Los resultados son reportados en unidades de centiestokes (cSt).

MÉTODO ASTM D445

Método de prueba estándar para determinar la viscosidad cinemática de líquidos transparentes y opacos.

La viscosidad cinemática es la propiedad de un aceite cuando de éste se mide una cantidad fija y fluye a través de un tubo capilar bajo la acción de la fuerza de gravedad.

La viscosidad cinemática se calcula de la siguiente manera:

$$v = Ct$$

de donde:

v = Viscosidad cinemática.

C = Constante del viscosímetro.

t = Tiempo de flujo, en segundos.

La unidad de la viscosidad cinemática es el “stoke” o “centistoke”. Esta prueba es importante porque es una medida exacta de la viscosidad de un fluido.

La constante del viscosímetro dependerá de sus características propias.

La Viscosidad Absoluta es la viscosidad cinemática corregida para contrarrestar las variaciones causadas por diferencias en peso específico. El "centipoise" es la unidad de viscosidad absoluta comúnmente usada. La relación entre viscosidad absoluta y cinemática es la siguiente:

$$\frac{\mu}{\rho} = \nu$$

De donde:

$$\mu = \text{Viscosidad absoluta } [\text{kg/m} \cdot \text{s}] \text{ ó } [\text{cP}]$$

$$\rho = \text{Densidad } [\text{kg/m}^3]$$

$$\nu = \text{Viscosidad cinemática } [\text{m}^2/\text{s}] \text{ ó } [\text{cSt}]$$

PROCEDIMIENTO:

Se mide el tiempo para que una cantidad fija de la muestra contenida en un viscosímetro fluya a través de un tubo capilar calibrado a una temperatura bien controlada. El viscosímetro seleccionado debe dar un tiempo mayor de 200 s, si el viscosímetro seleccionado no proporciona el tiempo mencionado, se debe cambiar por otro.

En la figura 5.1¹¹ se muestra un viscosímetro con los parámetros necesarios para calcular la viscosidad cinemática, ya sea a 40 ° C ó 100 ° C.

En la figura 5.2 se observa paso a paso el procedimiento para obtener la viscosidad cinemática.

¹¹ Castrol México S.A de C.V (antes Veedol S.A de C.V)

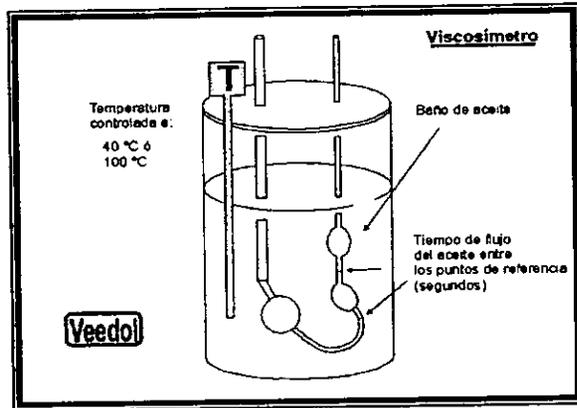


Figura 5.1

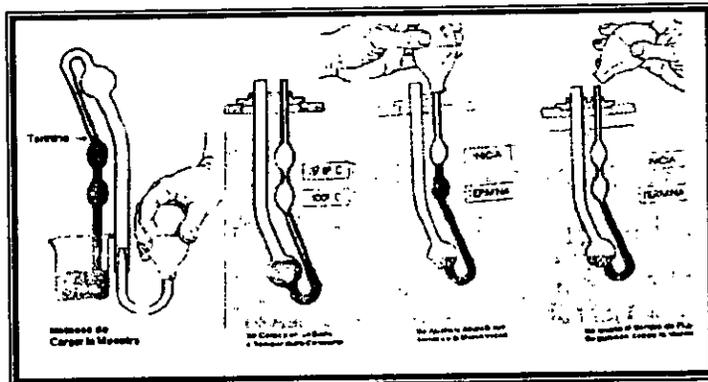


Figura 5.2

b) Flash Point (Punto de inflamación en copa abierta).

Es aquella temperatura mínima en la que los componentes más volátiles del aceite presentan instantáneamente una inflamación. El resultado se reporta en unidades de °C.

MÉTODO ASTM D92

Método de prueba estándar para determinar el Punto de Inflamación (Flash point) y Punto de Ignición (Fire point) por copa abierta.

La temperatura de inflamación se define como aquella que al calentarse un aceite desprende vapores suficientes que se inflaman instantáneamente al pasar una flama sobre la superficie.

La temperatura de ignición se determina cuando al pasarse la citada flama continúa ardiendo por lo menos durante 5 segundos.

El conocimiento de las temperaturas de inflamación e ignición de un aceite es importante para determinar las medidas de precaución para evitar que esto ocurra en la lubricación de una máquina sujeta a altas temperaturas. También son importantes estas pruebas ya que indican las pérdidas de evaporación del aceite.

PROCEDIMIENTO:

La Copa Cleveland se llena con la muestra de aceite, hasta la marca de llenado, y se introduce el bulbo del termómetro en la muestra (figura 5.3) . El aceite se calienta a una velocidad de 2 a 3 °C por minuto y cada vez que aumente la temperatura 2 °C se pasa una pequeña flama por la superficie de aceite. Cuando ocurre un pequeño destello, se lee la temperatura y se registra como temperatura

de inflamación de la muestra. Se continúa calentando y aplicando la flama cada 5 °C de aumento de temperatura, cuando arde la muestra por lo menos durante 5 segundos se toma la temperatura y se anota como temperatura de ignición.

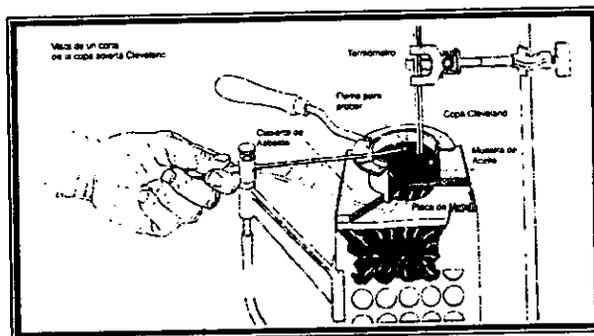


Figura 5.3

RESULTADOS TÍPICOS

<u>PRODUCTOS DE PETRÓLEO</u>	<u>TEMP. DE INFLAMACIÓN</u>	<u>TEMP. DE IGNICIÓN</u>
Aceites lubricantes	62 °C – 230 °C	120 °C – 260 °C

C) Número de base total (T.B.N)

Es el grado de alcalinidad que tiene un aceite y los resultados son reportados en unidades de mg KOH.

MÉTODO ASTM D 2896

Método de prueba estándar para determinar el Número de Base de productos del petróleo por Titulación Potenciométrica (Prueba del T.B.N).

El T.B.N es el número total de basicidad y determina la habilidad del aceite para contrarestar los ácidos que se forman en el proceso de la combustión de la gasolina y principalmente del diesel.

Los ácidos más comunes que se forman son:

S (azufre) + O (oxígeno) = SO (Monóxido de azufre).

$SO + O = SO_2$ (Dióxido de azufre).

$SO_2 + O = SO_3$ (Trióxido de azufre).

$SO_3 + H_2O$ (vapor) = H_2SO_4 (Ácido sulfúrico).

PROCEDIMIENTO:

La muestra es disuelta y mezclada con clorobenceno anhidro y ácido acético glacial. Se utiliza un electrodo indicador de vidrio y un electrodo calomel después de haber sido introducido con la solución-muestra por medio de un puente salino. Las lecturas registradas son graficadas con sus respectivos volúmenes de solución y se debe tomar el punto de inflexión de la curva resultante.

d) Punto de Fluidéz (Pour Point).

Es la temperatura más baja en la cual el aceite tiene fluidéz para ciertas aplicaciones. Los resultados son reportados en unidades de °C.

MÉTODO ASTM D 97

Método de prueba estándar para determinar el Punto de Fluidéz (Pour Point) en aceites de petróleo.

Para este método se utiliza un recipiente de vidrio de aproximadamente 32mm de diámetro por 11.5 a 12.7 cm de altura llenándolo hasta una altura de 5 a 5.7 cm con el aceite a ensayar.

El recipiente es enfriado en un baño de enfriamiento introduciéndole un termómetro. Después de enfriarse en baños sucesivos cada una de los cuales produce una temperatura menor, y poco antes de llegar al punto mínimo de fluidéz esperado, se controla cada - 15 o - 12 °C la tendencia del aceite a fluir o moverse al inclinar el recipiente.

La temperatura menor indicada por el termómetro antes de que el aceite cese de fluir, se denomina punto mínimo de fluidéz o punto de congelación. Si por ejemplo el aceite fluye a - 4 °C y no se mueve a - 7 °C el punto de fluidéz es de - 4 °C.

e) Temperatura mínima de bombeo (viscosidad a baja temperatura).

Simulador de arranque en frío:

Es la medida aparente de la viscosidad, en un rango de 500 a

20 000 cP. El rango normal de operación de la temperatura es de - 40 °C hasta 0 °C.

Viscosímetro de rotación mínima:

Es la medida aparente de viscosidad bajo la razón de corte de 1 a 50 rad/s. También mide la resistencia aparente a la tensión, la cual es la mínima resistencia necesaria a la que el aceite fluye. La viscosidad es determinada desde una temperatura de - 15 °C hasta - 30 °C. La baja temperatura de bombeo es aquella temperatura máxima a la cual la resistencia a la tensión crítica (yield stress) (35 Pa) o de viscosidad crítica (30 000 cP) ocurre a alta temperatura.

MÉTODO ASTM D 4684

Una muestra de aceite para motor se lleva a 80 °C y después es sometida a un enfriamiento programado hasta la temperatura final de prueba, se aplica un torque bajo la flecha del rotor para medir la resistencia a la tensión. Se aplica un alto torque para determinar la viscosidad de la muestra.

f) Prueba de formación de espuma.

La formación de espuma en un sistema de lubricación consiste de pequeñas burbujas que en su interior contienen aire y no lubricante como sería lo más deseable. Estas burbujas permiten el contacto entre metal-metal lo cual traería como consecuencias un calentamiento excesivo de las partes y un desgaste rápido de estos mismos.

MÉTODO ASTM D 892

Método de prueba estándar para determinar las características de formación de espumas en los aceites lubricantes.

Las características de formación de espuma en los aceites para motores o turbinas, se verifican con un aparato probador de espuma. Ciertos aceites con aditivos tienden a formar espuma excesiva durante el servicio. Solo se requiere de una cantidad mínima de inhibidor de espuma para desintegrar la espuma que se forma en el aceite en servicio.

Es necesario conocer la tendencia de un aceite lubricante para producir espuma, aunado a la formación de burbujas, aunque en general no es relevante su significado, en equipos especiales (como son turbinas) la formación de burbujas de aire las cuales fomentan las cavitación, es de suma importancia que el aceite sea de baja tendencia en la formación de espuma y de burbujas.

En la figura 5.4 se observa el aparato utilizado en la determinación de la formación de espuma.

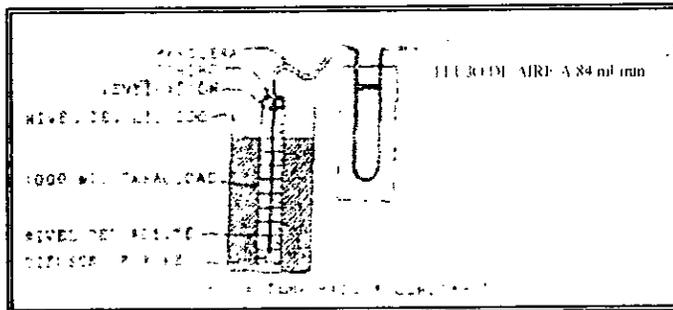


Figura 5.4

g) Prueba de análisis de metales.

Esta prueba permite identificar los metales que se tienen en el depósito de aceite y con esto se logra determinar cuál o cuáles son las partes del motor que están teniendo un gasto excesivo.

MÉTODO ASTM D 4628-86

Método de prueba estándar para análisis de metales como componentes de aditivos y productos terminados en aceites lubricantes por espectrometría de absorción térmica.¹²

Una cantidad de la muestra es pesada y diluida en 50 g de xileno, las soluciones son quemadas en la flama de un espectrofotómetro de absorción atómica, en donde la flama utiliza acetileno y óxido nitroso.

¹² Laboratorio de Pruebas. Compañía Comercial Importadora S.A de C.V. Grupo Quaker State.

CAPÍTULO VI

***Pruebas realizadas en el motor
de combustión interna.***

6.1 INTRODUCCIÓN:

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, con el objeto de observar el comportamiento de los siguientes aditivos para aceites lubricantes de motores a gasolina.

Bardahl 1.
Bardahl 2.
STP 12.
STP 14.
Mobil Oil Economizer.

Estos aditivos los podemos observar en el siguiente cuadro.



Los aditivos mostrados son de los más comunes que se pueden encontrar en el mercado y son los que se han utilizado para realizar las pruebas analizadas en este trabajo.

Las pruebas consisten en realizar varios ensayos en el motor de combustión interna de la Facultad de Ingeniería en donde se utilice primeramente como lubricante básico al aceite SAE 40 SF, al cual desde su proceso de fabricación se le han agregado aditivos que le permiten operar bajo ciertas condiciones de trabajo. Posteriormente se utiliza la mezcla del aceite SAE 40 con cada uno de los aditivos antes mencionados para observar la diferencia en los resultados obtenidos.

Los parámetros a analizar son básicamente el gasto de combustible, la eficiencia térmica, mecánica y la eficiencia total. También se analizaron la emisión de gases contaminantes como son el monóxido de carbono (CO) y el bióxido de carbono (CO₂). Se tienen también, unas gráficas del oxígeno (O₂).

Para iniciar con el análisis de las pruebas y determinar las ecuaciones básicas a utilizar; es necesario explicar de una forma sencilla el ciclo termodinámico, en el cual se basa el motor a gasolina. Dicho ciclo se denomina Otto ó Ciclo de Cuatro tiempos.

6.1.1 CICLO OTTO

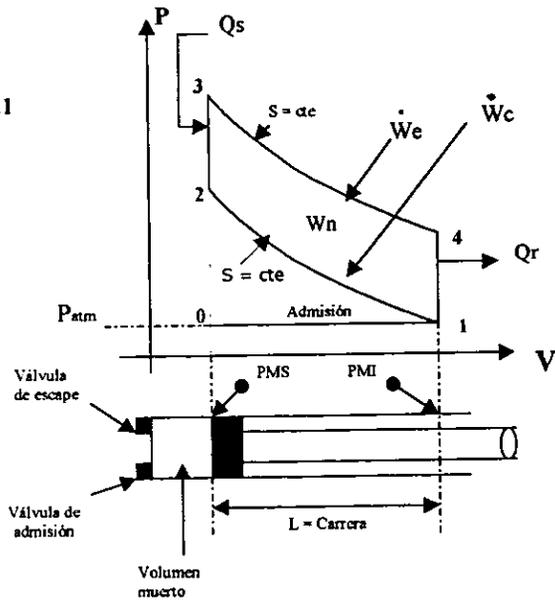
(Motor de Combustión Interna)
(Motor a gasolina, 4 tiempos)

Descripción del Ciclo Otto.

Para hacer sencilla la explicación del ciclo Otto y para facilitar su estudio, se supone que el aire es el fluido de trabajo y lo consideraremos como un gas ideal o sea que sus calores específicos son constantes. Otra suposición es considerar a todos los procesos reversibles.

El ciclo Otto teórico es el ciclo ideal del motor encendido por chispa y se representa gráficamente en las figuras 6.1 y 6.2 tanto en coordenadas P-V como T-S.

Figura 6.1



Para el Ciclo Otto se tiene el siguiente diagrama T-S:

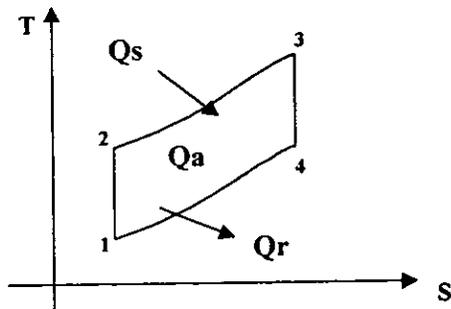


Figura 6.2

Las transformaciones termodinámicas que tienen lugar durante el ciclo son:

- 1-2 Proceso adiabático o isentrópico (sin transferencia de calor con el exterior). Compresión del fluido por medio del pistón que realiza un trabajo (W_c).
- 2-3 Proceso a volumen constante. Introducción instantánea de calor Q_s .
- 3-4 Expansión con el correspondiente trabajo W_e realizado por el fluido de trabajo (proceso adiabático e isentrópico).
- 4-1 Proceso a volumen constante. Extracción instantánea de calor Q_r .

El fluido es introducido en la carrera de admisión (0-1) y, la sustracción del calor se produce durante la carrera de escape (1-0). Este hecho se representa gráficamente en el diagrama P-V mediante una línea horizontal (fig. 1). Los efectos de los dos procesos se anulan entre sí sin ganancia ni pérdida de calor, por lo tanto, la carrera de admisión y escape normalmente no se consideran en los diagramas ideales en coordenadas P-V y en el ciclo Otto se representa como un ciclo cerrado en el cual el fluido de trabajo regresa a su estado inicial al final del tiempo de extracción de calor.

Para conocer las dimensiones o valores utilizados en los diagramas P-V y T-S se definirá la siguiente terminología:

- a) Punto muerto superior (PMS). Es la posición más cercana a la cabeza del cilindro.
- b) Punto muerto inferior (PMI). Es la posición más alejada de la cabeza del cilindro.
- c) Carrera. Distancia entre el PMS y el PMI.
- d) Volumen total del cilindro (V_1). Volumen comprendido entre la cabeza y el pistón cuando éste está en el PMI, medido generalmente en cm^3 .

- e) Volumen de la cámara de combustión o volumen de espacio libre (V_2). Volumen comprendido entre la cabeza y el pistón cuando está en el PMS, medido generalmente en cm^3 .
- f) Volumen desplazado por el pistón o cilindrada unitaria (V_2-V_1). Volumen generado por el pistón con su movimiento desde el PMS hasta el PMI.
- g) Relación volumétrica de compresión (T_c). Relación entre el volumen total del cilindro V_1 y el volumen de la cámara de combustión V_2 . Generalmente se le denomina relación de compresión.
- h) Calor suministrado (Q_s) en kJ/h debido a la bujía.
- i) Calor rechazado (Q_r) en kJ/h .
- j) Calor aprovechado Q_a en kJ/h .

6.1.2 OBJETIVO:

El objetivo principal de este trabajo es determinar el comportamiento de los aditivos que han sido mezclados con el aceite SAE 40 SF Mexlub, bajo las mismas condiciones de operación.

Estas condiciones de operación son las siguientes:

- a) Carga variable (kg).
- b) Velocidad de rotación constante (r.p.m).

6.1.3 METODOLOGÍA:

Se determina la Línea Willans con los datos obtenidos en cada prueba del motor, con el aceite base SAE 40 SF y con alguno de los aditivos, es decir, en una prueba se utiliza sólo el aceite SAE 40 SF y en las otras pruebas se utiliza la mezcla aceite SAE 40 + alguno de los aditivos mencionados al inicio de éste capítulo. Estas pruebas se realizan manteniendo la velocidad del motor constante, la carga aplicada al motor es variable y posteriormente se miden los parámetros necesarios para el análisis.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó -- como ya se mencionó -- un motor de combustión interna, el cual se encuentra dentro de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M., para esto, se describen las características de dicho motor en la tabla 6.1a.

CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR UTILIZADO EN LAS PRUEBAS	
Número de cilindros	8
Posición de los cilindros	en V
Marca	Ford
Tipo	Carburado

Tabla 6.1a

En las figuras 6.3 y 6.4 se observa al motor de combustión interna utilizado.

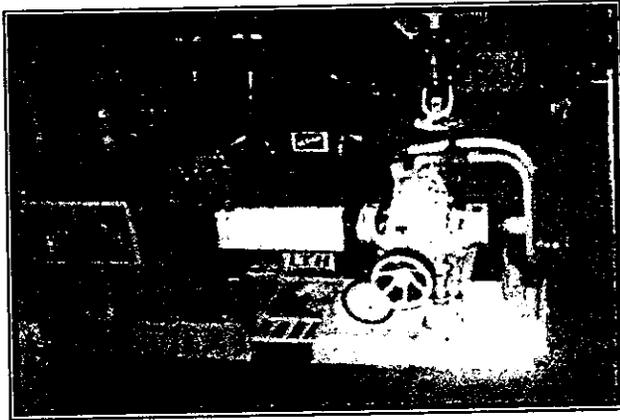


Figura 6.3

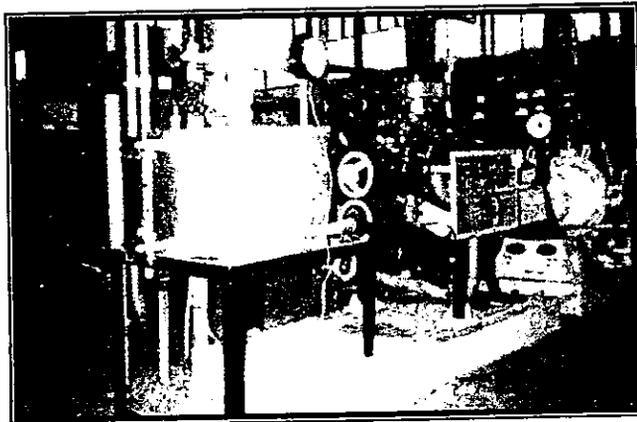


Figura 6.4

También fue necesario utilizar como equipo de apoyo para medir la emisión de gases al analizador tipo KAL¹³. A continuación se muestra una fotografía del analizador de gases, el cual tiene las siguientes características y también se encuentra en el Laboratorio de Máquinas Térmicas de la Facultad de Ingeniería:

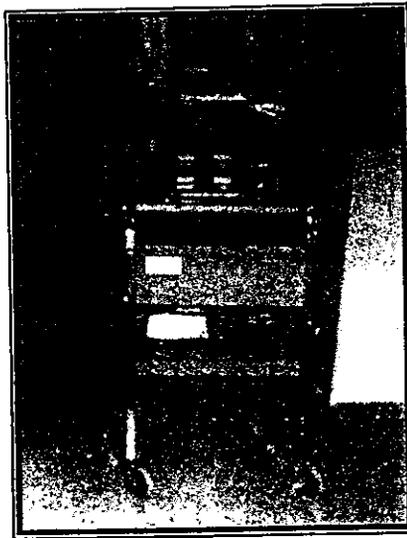


Figura 6.5

La tabla 6.2a muestra el modelo y demás características del Kal, la tabla 6.3a indica los parámetros a medir en este trabajo y son los datos que el analizador registró y los cuales se tomaron para realizar el análisis.

¹³ Ver anexo A.

MODELO	
Marca	KAL
Elemento de medición	Sonda
Voltaje	12 volts

Tabla 6.2a

CARACTERÍSTICAS DEL ANALIZADOR DE GASES	
GASES DETECTADOS	
Monóxido de carbono	CO
Bióxido de carbono	CO ₂
Oxígeno	O ₂

Tabla 6.3a

6.2 CONDICIONES DE OPERACIÓN

En cada una de las pruebas se mantiene constante a las revoluciones por minuto, no así a la carga aplicada al motor, porque al utilizar la Línea Willans es necesario variar la carga. De esta forma, con el tiempo de consumo de combustible se pueden calcular los parámetros necesarios como son: gasto de combustible, potencia al freno, eficiencia

térmica, eficiencia mecánica, eficiencia total, útiles para hacer la evaluación de cada uno de los aditivos analizados en el presente trabajo.

Las emisiones de gases se obtienen directamente del medidor KAL y no es necesario hacer cálculos previos para su obtención.

6.2.1 ECUACIONES BÁSICAS

Teniendo la información de cada una de las variables que se pueden tomar en las pruebas, se pueden calcular otras para lo cual se tienen una serie de ecuaciones básicas las cuales se presentan a continuación.

6.2.2 POTENCIA AL FRENO (\dot{W}_f)

Es la potencia que se obtiene en el eje a la salida del motor, puesto que cuando un motor en funcionamiento mueve alguna forma de carga mecánica, el trabajo lo realiza contra la resistencia de la carga y, por lo tanto, hace el efecto de freno del motor.

La potencia al freno se mide con un dispositivo adecuado denominado freno, cuyo momento al freno se puede medir directamente.

Conociendo el momento al freno y el número de revoluciones del motor, se calcula la potencia al freno con la siguiente relación:

$$\dot{W}_f = T \omega \quad (1)$$

$$T = F d \quad (2)$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot N}{60} \quad (3)$$

De donde:

$$\dot{W}_f = \text{Potencia al freno} \quad (\text{kW})$$

$$T = \text{Par torsional} \quad (\text{kgf} \cdot \text{m})$$

$$\omega = \text{Velocidad angular} \quad (\text{rad/s})$$

$$F = \text{Fuerza} \quad (\text{kgf})$$

$$d = \text{Brazo de palanca del freno} \quad (\text{m})$$

$$N = \text{Revoluciones por minuto} \quad (\text{r.p.m})$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad} \quad (\text{m/s}^2)$$

Sustituyendo 2 y 3 en 1, tenemos:

$$\dot{W}_f = \frac{F \cdot d \cdot 2\pi \cdot N}{60} \quad (4)$$

En el motor que se tiene en el laboratorio, la longitud del brazo de palanca (d) mide:

$$d = 0.65 \text{ m}$$

Para simplificar 4, es conveniente introducir la constante del freno "K", de tal forma que:

$$K = \frac{1}{(2\pi \cdot d / 60)} = 14.69 \quad [1/\text{m}] \quad (5)$$

Sustituyendo 5 en 4, obtenemos que la potencia al freno \dot{W}_f es igual a:

$$\dot{W}_f = \frac{F \cdot N}{K} \quad (6)$$

6.2.3 POTENCIA PERDIDA POR ROZAMIENTO O FRICCIÓN (\dot{W}_r)

La potencia perdida por fricción es utilizada para vencer el rozamiento entre las partes mecánicas en movimiento, para realizar el trabajo de bombeo (aspiración y escape) del fluido de trabajo y para accionar los diferentes elementos auxiliares propios del motor, como: la bomba de aceite, agua y combustible, así como el generador eléctrico y el ventilador.

Es la potencia necesaria para vencer la fricción en los cojinetes, émbolos y otras partes mecánicas del motor.

La potencia perdida por fricción se ha de obtener a partir de la Línea Willans prolongando la línea que se obtenga a una determinada velocidad hasta cortar el eje de las abscisas. La potencia negativa obtenida corresponde a la potencia perdida por fricción necesaria para que el motor gire a la velocidad N .

A continuación se detallará el método de Mínimos Cuadrados que se utilizó en este trabajo para ajustar la línea Willans.

6.2.4 Ajuste de la Línea Willans por el Método de Mínimos Cuadrados

El principio del método de mínimos cuadrados es el siguiente: Escójanse como la mejor aproximación de las incógnitas aquellos valores que hacen mínima la suma de los cuadrados de las desviaciones de los valores observados respecto de los valores correspondientes. Es

decir, supóngase que hemos tenido valores X_1, X_2, \dots, X_n de X y que hemos observado los valores Y_1, Y_2, \dots, Y_n de Y y supóngase que hemos encontrado mediante la gráfica, que los puntos $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ siguen aproximadamente una línea. Escribimos lo que se le llama ecuaciones de observación,

$$y_1 = a + bx_1,$$

$$y_2 = a + bx_2,$$

$$\dots\dots\dots,$$

$$y_n = a + bx_n$$

aquí hay dos incógnitas, a y b , por determinar de n ecuaciones de observación. Se supone que $n > 2$; si n fuera igual a 2, las dos ecuaciones podrían resolverse exactamente para las dos incógnitas.

Escójanse como la mejor aproximación de las incógnitas aquellos valores que hacen mínima la suma de los cuadrados de las desviaciones de los valores observados respecto de los valores correspondientes. Aplicando este principio, tomamos el valor mínimo de

$$S = [y_1 - (a + bx_1)]^2 + [y_2 - (a + bx_2)]^2 + \dots + [y_n - (a + bx_n)]^2.$$

Ahora S es una función de las dos incógnitas a y b ; por lo tanto, para hacer mínimo a S , igualamos a cero sus dos derivadas parciales con respecto a a y b :

$$\frac{\partial S}{\partial a} = -2[y_1 - (a + bx_1)] - 2[y_2 - (a + bx_2)] - \dots - 2[y_n - (a + bx_n)] = 0,$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = -2x_1[y_1 - (a + bx_1)] - 2x_2[y_2 - (a + bx_2)] - \dots - 2x_n[y_n - (a + bx_n)] = 0,$$

de la cual

$$na + (\Sigma x)b = \Sigma y, \quad (1')$$

$$(\Sigma x)a + (\Sigma x^2)b = \Sigma xy. \quad (2')$$

Resolviendo las ecuaciones 1' y 2', para a y b, tenemos:

$$a = \frac{Na}{D}, \quad b = \frac{Nb}{D}, \quad (3')$$

De donde:

$$D = \begin{vmatrix} N & \Sigma x \\ \Sigma x & \Sigma x^2 \end{vmatrix}$$

$$Na = \begin{vmatrix} \Sigma y & \Sigma x \\ \Sigma xy & \Sigma x^2 \end{vmatrix}$$

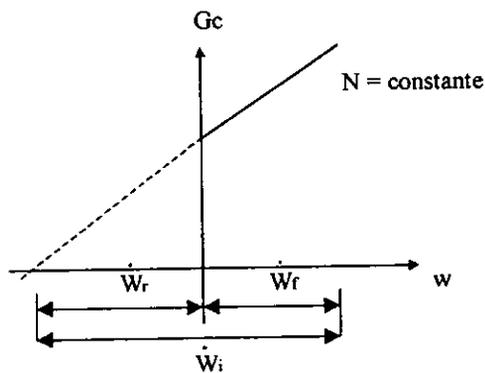
$$Nb = \begin{vmatrix} n & \Sigma y \\ \Sigma x & \Sigma xy \end{vmatrix}$$

Cuando a y b han sido determinadas a partir de la fórmula (3'), la recta $y = a + bx$ se acomodará mejor a los puntos graficados; no

pasará necesariamente a través de alguno de estos puntos, pero la suma de los cuadrados de las desviaciones verticales de los puntos graficados respecto de esta línea será menor que para otra línea recta cualquiera que pueda trazarse.

Es entonces que se aplicó este método para ajustar la línea Willans en las pruebas realizadas del presente trabajo.

LÍNEA WILLANS



6.2.5 POTENCIA INDICADA (\dot{W}_i)

La potencia indicada del motor es la producción de trabajo por unidad de tiempo desarrollado sobre los pistones del motor en la cámara de combustión. Dicha potencia se obtiene a partir de la siguiente ecuación y utilizando la línea Willans antes mencionada:

$$\dot{W}_i = \dot{W}_f + \dot{W}_r \quad (7)$$

6.2.6 GASTO DE COMBUSTIBLE (Gc)

Es el consumo por unidad de tiempo de combustible que requiere el motor en operación y se determina por la siguiente ecuación:

$$G_c = \frac{\rho \cdot V}{t} \quad (8)$$

Para poder encontrar el gasto de combustible, se deben conocer algunos parámetros como son:

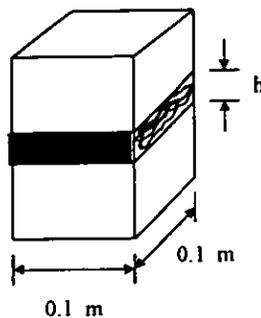
$V =$ Volumen consumido (m^3)

$\rho =$ Densidad del combustible (kg/m^3)

$t =$ Tiempo (s)

Para la gasolina se tiene: $\rho_{gasolina} = 750$ (kg/m^3)

Para obtener el volumen debemos considerar las dimensiones del recipiente. En el laboratorio, el recipiente tiene la forma siguiente:



La altura h es variable, dependiendo de la cantidad de combustible al cual se desee calcular el tiempo de consumo.

6.2.7 GASTO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE (GEC)

Es un parámetro que muestra con cuanta eficiencia un motor convierte el combustible en potencia, dicho consumo se determina por la siguiente ecuación:

$$GEC = \frac{G_c}{\dot{W}_f} \quad (9)$$

6.2.8 ENERGÍA SUMINISTRADA (Es)

Es la energía entregada al motor a través del consumo del combustible por unidad de tiempo, ésta se determina con los siguientes parámetros:

$$E_s = G_c \cdot PCA \quad (10)$$

de donde:

G_c = Gasto de combustible (kg comb/s)

PCA = Poder calorífico alto del combustible (kJ/kg comb)

Para este caso, debido a que el combustible necesario para realizar las pruebas en el motor es gasolina, tenemos:

PCA gasolina = 46 000 (kJ/kg comb)

6.2.9 PRESIÓN MEDIA EFECTIVA INDICADA (PMEI)

La Presión Media Efectiva Indicada es la presión promedio que actúa sobre los pistones y desarrolla una presión equivalente a la potencia indicada.

La PMEI se calcula de la siguiente manera:

$$PMEI = \frac{\dot{W}_i(Z)}{(A_p)(L)(N)(n)} \quad (11)$$

de donde:

\dot{W}_i = Potencia indicada. (kW)

A_p = Área del pistón. (m²)

\varnothing_p = Diámetro del pistón. (m)

L = Longitud de la carrera. (m)

N = Revoluciones por minuto (r.p.m)

n = Número de cilindros.

Z = Número de revoluciones necesarias para una carrera.

Z = 2 en un motor de cuatro tiempos porque sólo entrega energía cada 2 revoluciones.

Para el motor que se tiene en el Laboratorio de la Facultad y en el cual se realizaron las pruebas, se tiene:

$$\varnothing_p = 0.1016 \text{ m}$$

$$L = 0.076 \text{ m}$$

Realizando el análisis dimensional de la ecuación (11), se obtiene:

$$PMEI = \frac{(\dot{W}_i)(Z)(60)}{(A_p)(L)(N)(n)(2\pi)} \quad [\text{kN/m}^2]$$

6.3.0 EFICIENCIA MECÁNICA DEL MOTOR (η_{mec})

Es la relación entre la potencia al freno y la potencia indicada del motor.

$$\eta_{\text{mec}} = \frac{\dot{W}_f}{\dot{W}_i} \times 100 \quad (\%) \quad (12)$$

6.3.1 EFICIENCIA INTERNA (EFICIENCIA TÉRMICA INDICADA) ($\eta_{\text{Tér}}$)

Es la relación entre la potencia indicada y la energía suministrada al motor.

$$\eta_{\text{Tér}} = \frac{\dot{W}_i}{E_s} \times 100 \quad (\%) \quad (13)$$

6.3.2 EFICIENCIA DEL CICLO OTTO (η_{otto})

$$\eta_{otto} = \left[1 - \frac{1}{\Gamma_c^{(k-1)}} \right] \times 100 \text{ (\%)} \quad (14)$$

De donde:

$$\Gamma_c = \text{Relación de compresión.} = V_1/V_2$$

De la figura 6.1:

V_1 = Volumen del cilindro.

V_2 = Volumen de la cámara de combustión.

k = Índice adiabático del aire = 1.4

6.3.3 EFICIENCIA TOTAL (EFICIENCIA TÉRMICA AL FRENO) (η_{tot})

La eficiencia total se calcula con la siguiente expresión:

$$\eta_{tot} = (\eta_{mec} \cdot \eta_{Tér}) \times 100 \text{ (\%)} \quad (15)$$

6.4 CONJUNTO DE PRUEBAS

En este trabajo se analizaron cinco diferentes aditivos para lubricantes de motores de combustión interna. Para ello se han realizado varias pruebas a cada aditivo.

Para hacer un análisis más exacto de dichas pruebas, se ha utilizado el aceite para motor SAE 40 SF Mexlub, quien será la base para comparar los resultados de cada prueba con los obtenidos cuando dichos aditivos sean mezclados con el aceite base.

En cada una de las pruebas se analizarán los resultados obtenidos, además de la emisión de contaminantes obtenidas durante los ensayos.

6.5 PRESENTACIÓN DE LAS PRUEBAS

En ésta parte, se presenta el desarrollo y los resultados obtenidos en cada una de las pruebas. Además se muestra un resumen de las mismas y sus gráficas donde se puede observar el comportamiento de cada aditivo con respecto a la prueba base.

En la siguiente tabla se muestran las seis pruebas, indicando el tipo de lubricante que se le agregó al motor.

Pruebas realizadas en el Laboratorio de Máquinas Térmicas

NÚMERO DE PRUEBA	TIPO DE LUBRICANTE UTILIZADO
1	Aceite SAE 40 SF Mexlub + aditivo Bardahl 1.
2	Aceite SAE 40 SF Mexlub + aditivo STP 14.
3	Aceite SAE 40 SF Mexlub + aditivo Bardahl 2.
4	Aceite SAE 40 SF Mexlub + aditivo STP 12.
5	Aceite SAE 40 SF Mexlub + aditivo Mobil Oil Economizer.

**Resultados y comentarios
de las pruebas realizadas con el aceite
SAE 40 SF y la mezcla, aceite SAE 40 SF + aditivo
Bardahl 1.**

Tabla 6.1

Prueba con aceite SAE 40 SF Mexlub

LECTURA	N (r.p.m)	F (kgf)	h (m)	t (s)	Ge (kg/h)	W ^o (kW)	W ⁱ (kW)	W ^r (kW)	Es (kW)	GEC (kg/h kw)	PMEI (kN/m ²)	■ mec. (%)	■ térm. (%)	■ total (%)
1	2300	5.0	0.04	191	5.65	7.80	23.89	16.09	72.25	0.0002	40.24	33	33	11
2	2300	7.0	0.04	178	6.07	10.92	27.01	16.09	77.53	0.0002	45.49	40	35	14
3	2300	9.0	0.04	182	6.67	14.03	30.12	16.09	85.19	0.0001	50.75	47	35	16
4	2300	11.0	0.04	141	7.06	17.15	33.24	16.09	97.87	0.0001	56.00	52	-34	18
5	2300	13.0	0.04	128	8.44	20.27	36.36	16.09	107.81	0.0001	61.26	56	34	19
6	2300	15.0	0.04	120	9.00	23.39	39.48	16.09	115.00	0.0001	66.51	59	34	20

Tabla 6.2

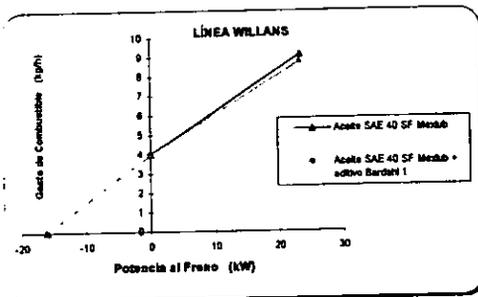
Prueba con aceite SAE 40 SF Mexlub + aditivo Bardahl 1

LECTURA	N (r.p.m)	F (kgf)	h (m)	t (s)	Ge (kg/h)	W ^o (kW)	W ⁱ (kW)	W ^r (kW)	Es (kW)	GEC (kg/h kw)	PMEI (kN/m ²)	■ mec. (%)	■ térm. (%)	■ total (%)
1	2300	5.2	0.02	99	5.45	8.11	24.47	16.36	69.7	0.0002	41.22	33	35	12
2	2300	7.0	0.02	89	6.07	10.92	27.26	16.36	77.53	0.0002	45.95	40	35	14
3	2300	9.0	0.02	81	6.67	14.03	30.39	16.36	85.19	0.0001	51.20	48	36	16
4	2300	11.0	0.02	75	7.20	17.15	33.51	16.36	92.00	0.0001	56.48	51	36	19
5	2300	13.0	0.02	66	8.18	20.27	36.63	16.36	104.55	0.0001	61.71	55	35	19
6	2300	15.0	0.02	61	8.65	23.39	39.75	16.36	113.11	0.0001	66.97	59	35	21

Si observamos los resultados obtenidos de la primera prueba en las tablas 6.1 y 6.2, podemos darnos cuenta de que el gasto de combustible no varía en mucho de una prueba a otra; es decir, no se puede afirmar que el aditivo utilizado garantice un ahorro de combustible con respecto a la prueba base.

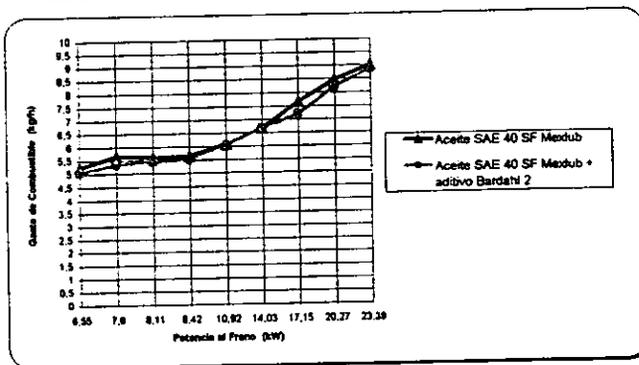
En la gráfica 6.3, se puede observar más claramente lo anterior. Ambas gráficas de la primera prueba y la segunda, son prácticamente iguales; por lo que se comprueba lo antes dicho.

Gráfica 6.1



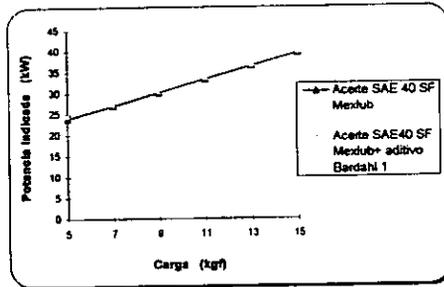
En la gráfica 6.1 se puede observar que no existe diferencia entre la prueba realizada con aceite SAE 40, y la realizada con aditivo Bardahl 1. Las pérdidas por fricción es casi la misma para el aceite SAE 40 y el aditivo Bardahl 1, siendo de 16.09 kW en un caso y 16.36 kW en el otro respectivamente.

Gráfica 6.2



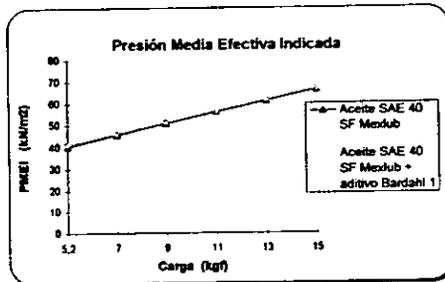
En la gráfica 6.2 se observa el consumo de combustible en ambas pruebas. Aquí se muestra claramente que existe poca diferencia en cuanto al gasto de combustible a favor del aditivo Bardahl 1, pero sin embargo si se considera el error experimental de todas las pruebas, esta diferencia se hace casi nula.

Gráfica 6.3



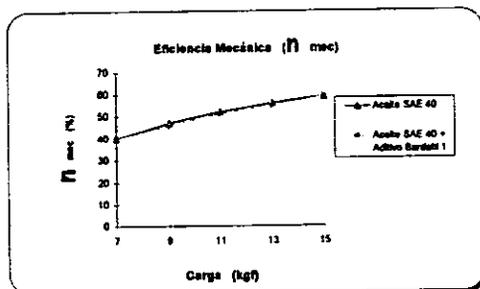
La gráfica 6.3 muestra que la potencia indicada va aumentando casi en forma lineal, mientras la carga también va en aumento. Se puede observar que realmente no existe diferencia entre la prueba realizada con aceite SAE 40 y la realizada con aditivo Bardahl 1.

Gráfica 6.4



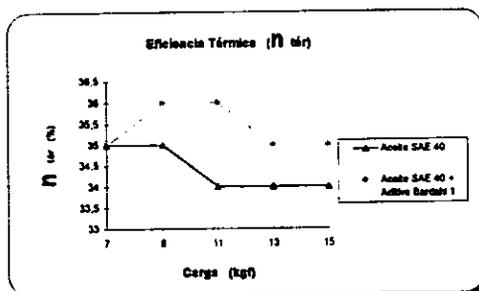
La gráfica 6.4 muestra la presión media efectiva indicada para la prueba con aceite SAE 40 y aditivo Bardahl 1. Se puede observar que la PMEI aumenta cuando también lo hace la carga aplicada al motor. El aumento de la PMEI es casi en forma lineal para ambas pruebas, y no existe diferencia entre un fluido utilizado y otro.

Gráfica 6.5



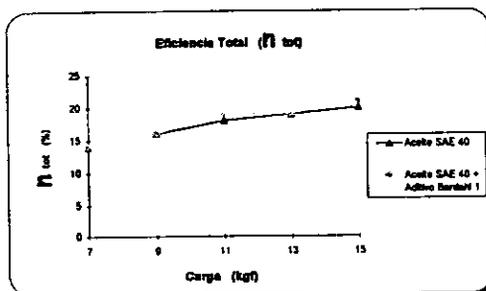
La gráfica 6.5 muestra la eficiencia mecánica obtenida en las pruebas con aceite SAE 40 y la prueba realizada con aditivo Bardahl 1. Se puede observar que no existen cambios entre una prueba y la otra, es decir, la eficiencia mecánica es prácticamente la misma para ambas pruebas.

Gráfica 6.6



En la gráfica 6.6 se muestra la eficiencia térmica de ambas pruebas mencionadas arriba. Se puede observar que existe un pequeño cambio en la eficiencia a favor aceite SAE 40 y bajo las mismas condiciones de carga.

Gráfica 6.7



La gráfica 6.7 muestra que en cuanto a eficiencia total, no existen cambios relevantes entre una y otra prueba, es decir, la eficiencia es prácticamente la misma a lo largo de toda la prueba.

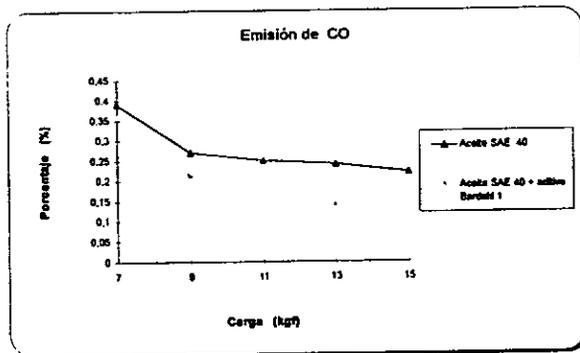
Tabla 6.3

EMISION DE GASES

LUBRICANTE	CARGA (kgf)	% CO	% CO2	% O2
ACETE SAE 40	7	0.30	17.4	1.4
	9	0.27	16.4	1.7
	11	0.25	16	1.9
	13	0.24	16.9	1.6
	15	0.22	16.3	2.2
ACETE SAE 40 SF + ADITIVO BERDAHL 1	7	0.21	15.1	1.4
	9	0.14	16.0	1.6
	11	0.14	15.0	1.8
	13	0.12	14.9	1.8
	15	0.11	15.0	1.8

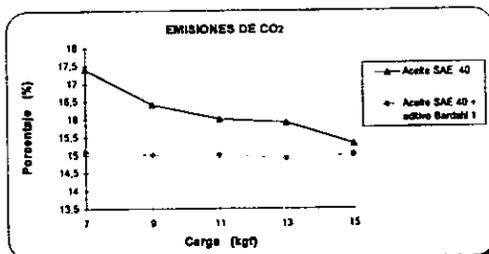
Tabla 6.3. Lecturas obtenidas en la emisión de gases en la prueba con aceite SAE 40 y la prueba realizada con aditivo Berdahl 1, bajo las mismas condiciones de carga y velocidad del motor.

Gráfica 6.8



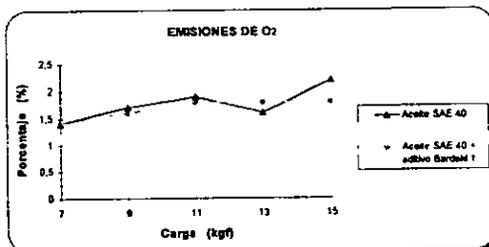
En la gráfica 6.8 se observa la cantidad de CO emitido en cada prueba, y podemos darnos cuenta que no existe una gran diferencia de porcentajes de éste gas y también se puede observar, que el CO va disminuyendo conforme la carga aplicada al motor va en aumento.

Gráfica 6.9



En la gráfica 6.9, se observa como al inicio de la medición, el CO₂ se mantiene casi constante para el aditivo Bardahl 1; no así para el aceite SAE 40, que al inicio tuvo un porcentaje más alto, pero a medida que aumenta la carga, esta diferencia se va haciendo más pequeña e incluso tienden a ser iguales cuando la carga es de 15 kgf.

Gráfica 6.10



Gráfica 6.10. Muestra las emisiones de O₂ durante las pruebas realizadas con aceite SAE 40 y aditivo Bardahl 1.

Se puede observar que prácticamente las líneas de ambas pruebas son muy semejantes y que no existe diferencia entre una prueba y otra, en cuanto a O₂ se refiere.

**Resultados y comentarios
de las pruebas realizadas con el aceite
SAE 40 SF y la mezcla, aceite SAE 40 SF + aditivo
STP 14.**

Tabla 6.1

Prueba con aceite SAE 40 SF Mexlub

LECTURA	N (r.p.m)	F (kgf)	h (m)	t (s)	Gc (kg/h)	Wf (kW)	Wl (kW)	Wt (kW)	Es (kW)	GEC (kg/s kW)	PMEI (kNm ²)	η mec. (%)	η tér. (%)	η tot (%)
1	2300	5.0	0.04	191	5.85	7.80	23.89	18.09	72.25	0.0002	40.24	33	33	11
2	2300	7.0	0.04	178	6.07	10.92	27.01	18.09	77.53	0.0002	45.49	40	35	14
3	2300	9.0	0.04	162	6.57	14.03	30.12	18.09	85.19	0.0001	50.75	47	35	16
4	2300	11.0	0.04	141	7.66	17.15	33.24	18.09	97.87	0.0001	56.00	52	34	18
5	2300	13.0	0.04	128	8.44	20.27	36.36	18.09	107.81	0.0001	61.26	56	34	19
6	2300	15.0	0.04	120	9.00	23.39	39.48	18.09	115.00	0.0001	66.51	59	34	20

Tabla 6.4

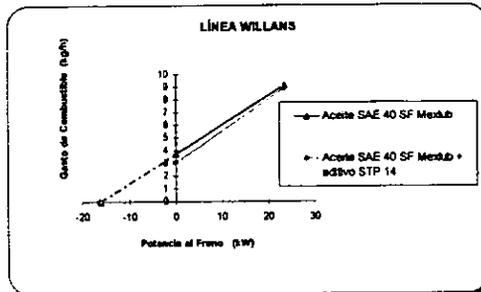
Prueba con aceite SAE 40 SE Mexlub + aditivo STP 14

LECTURA	N (r.p.m)	F (kgf)	h (m)	t (s)	Gc (kg/h)	Wf (kW)	Wl (kW)	Wt (kW)	Es (kW)	GEC (kg/s kW)	PMEI (kNm ²)	η mec. (%)	η tér. (%)	η tot (%)
1	2300	5.0	0.04	201	5.37	7.8	12.20	20.0	66.66	0.0002	33.66	39	29	11
2	2300	7.0	0.04	194	5.57	10.92	12.20	23.12	71.13	0.0001	38.94	47	32	15
3	2300	9.0	0.04	171	6.31	14.03	12.20	26.23	80.70	0.0001	44.20	53	33	17
4	2300	11.0	0.04	144	7.5	17.15	12.20	29.35	95.63	0.0001	49.45	58	31	18
5	2300	13.0	0.04	136	7.94	20.27	12.20	32.47	101.47	0.0001	54.70	62	32	20
6	2300	15.0	0.04	117	9.23	23.39	12.20	35.59	117.95	0.0001	59.96	66	30	20

En las tablas 6.1 y 6.4, se muestran los resultados de las pruebas realizadas con aceite SAE 40 y aditivo STP 14. Se observa que en cuanto al gasto de combustible, ambas pruebas resultan muy semejantes y en este aspecto no presentan diferencia importante.

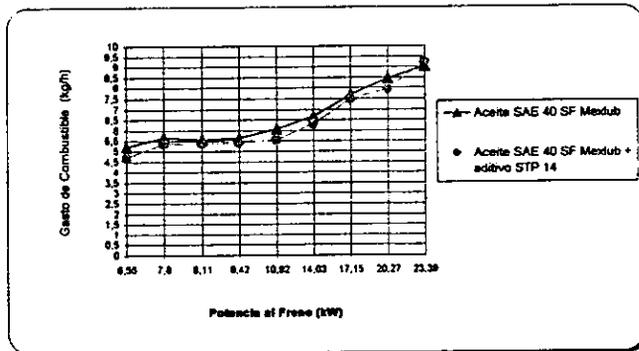
Cabe mencionar que de estos resultados, la eficiencia total sí se ve mejorada en un pequeño porcentaje por el aditivo. Esto se verá mejor en la gráfica 6.17.

Gráfica 6.11



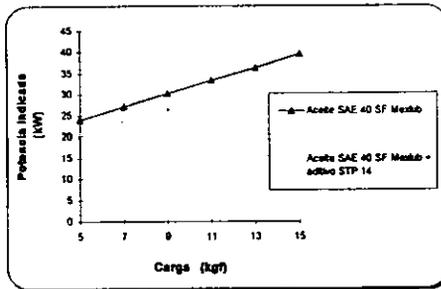
En la gráfica 6.11 se observa que la potencia de fricción fue mayor en la prueba realizada con el aceite SAE 40 SF, siendo en este caso de 16.09 kW, mientras que para la prueba realizada con aditivo STP 14, la potencia de fricción resultó ser de 12.20 kW. Para estos casos, se muestra una ligera ventaja para el aditivo mencionado.

Gráfica 6.12



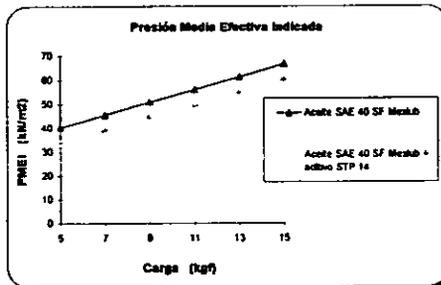
En la gráfica 6.12 se muestra el gasto de combustible de ambas pruebas. Se puede observar un ahorro de combustible más marcado para la prueba realizada con aditivo STP 14 ; este ahorro de combustible es de aproximadamente 3.5 % en toda la prueba y bajo los mismos parámetros.

Gráfica 6.13



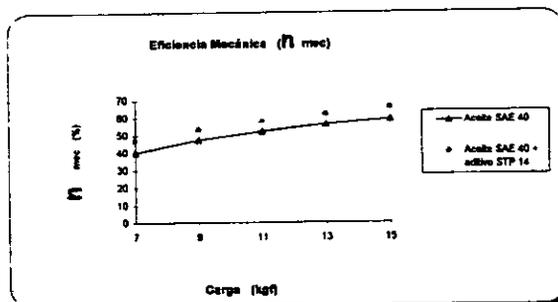
La gráfica 6.13 muestra el comportamiento de los dos fluidos utilizados para esta prueba, y se puede observar como la potencia indicada obtenida con el aditivo STP 14 se mantiene por debajo de la potencia indicada obtenida en la prueba con aceite SAE 40. Esta diferencia es en promedio del 5% aproximadamente en toda la prueba.

Gráfica 6.14



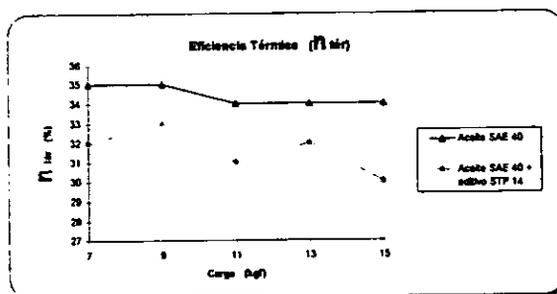
La gráfica 6.14 ilustra como la PMEI se incrementa cuando la carga también va incrementándose, esto está relacionado con la potencia indicada, ya que si dicha potencia se reduce, también lo hará la PMEI casi en forma proporcional.

Gráfica 6.15



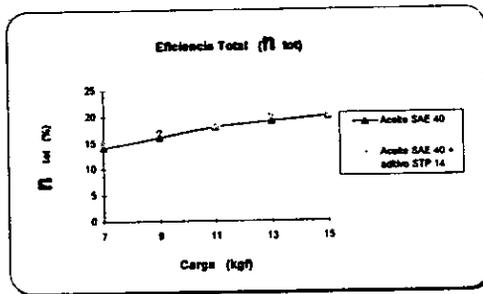
La gráfica 6.15 muestra la eficiencia mecánica obtenida en las pruebas realizadas con aceite SAE 40 y la prueba realizada con aditivo STP 14. En todo el rango de carga, el aceite SAE 40 se muestra con menor eficiencia. Es decir, el aditivo mostró mejor rendimiento en esta prueba.

Gráfica 6.16



La gráfica 6.16 muestra como en todo el rango de carga, la eficiencia mejora para la prueba realizada con aceite SAE 40. Dicha mejora es en promedio del 3% para toda la prueba. Aunque hay que recalcar que si se considera un error experimental, ésta mejora ya no es importante.

Gráfica 6.17



La eficiencia total para esta prueba resultó muy semejante para ambos fluidos utilizados. Se observa en la gráfica 6.17 que no existen cambios relevantes en ambas pruebas realizadas.

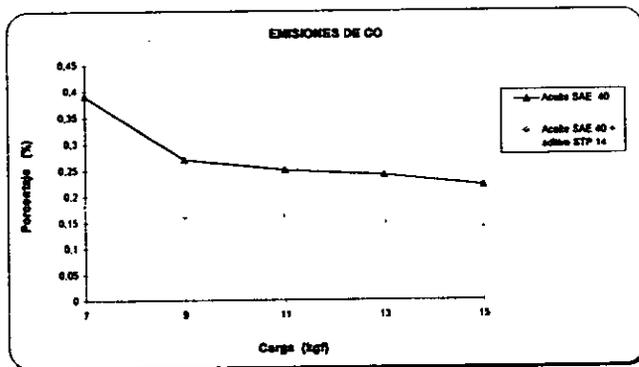
Tabla 6.5

EMISION DE GASES

LUBRICANTE	CARGA (kgf)	% CO	% CO2	% O2
ACEITE SAE 40	7	0.39	17.4	1.4
	9	0.27	16.4	1.7
	11	0.25	16	1.9
	13	0.24	16.9	1.6
	15	0.22	16.3	2.2
ACEITE SAE 40 + ADITIVO STP 14	7	0.18	13.6	1.6
	9	0.18	13.7	1.6
	11	0.15	13.8	1.9
	13	0.15	13.9	1.9
	15	0.14	14	1.9

Tabla 6.5. Resultados obtenidos en la emisión de gases a la atmósfera de la prueba realizada con aceite SAE 40 y la prueba realizada con aditivo STP 14.

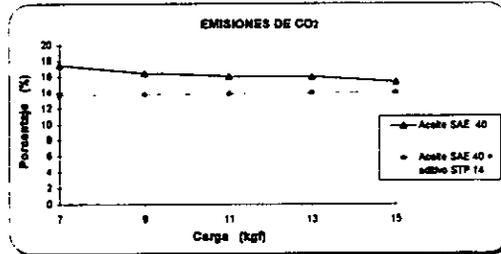
Gráfica 6.18



La gráfica 6.18 muestra la cantidad de CO emitido en las pruebas que se realizaron con aceite SAE 40, y aditivo STP 14.

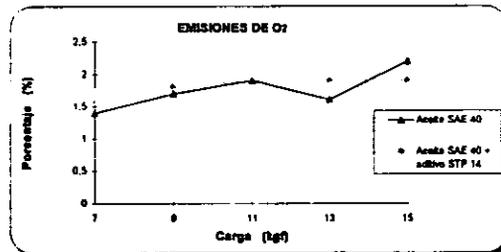
Se observa como ambas líneas obtenidas en las pruebas van disminuyendo cuando la carga aplicada al motor se va incrementando. Después de los 9 kgf, en ambas pruebas la emisión de CO tiende a ser constante. En la gráfica también se observa que el aditivo STP 14 mantiene por debajo la emisión del gas mencionado con respecto al aceite SAE durante toda la prueba.

Gráfica 6.19



La gráfica 6.19 muestra las emisiones de CO₂ del aceite SAE 40 y el aditivo STP 14. En ésta gráfica se puede observar como las emisiones del aditivo STP 14 se mantienen casi constantes a lo largo de la prueba y por debajo de las emisiones del aceite SAE 40, sin embargo, cuando la carga se va incrementando, las emisiones de ambas pruebas tienden a ser iguales.

Gráfica 6.20



La gráfica 6.20 muestra las emisiones de O₂ de las pruebas señaladas en la gráfica anterior. Se observa que ambas líneas son prácticamente iguales, salvo una pequeña diferencia cuando la carga es de 13 y 15 kgf.

**Resultados y comentarios
de las pruebas realizadas con el aceite
SAE 40 SF y la mezcla, aceite SAE 40 SF + aditivo
Bardahl 2.**

Tabla 6.1

Prueba con aceite SAE 40 SF Mexlub

LECTURA	N (r.p.m)	F (kgf)	h (m)	t (s)	Gc (kg/h)	Wf (kW)	Wt (kW)	Wv (kW)	Es (kW)	GEC (kg/s kW)	PME (kN/m2)	mec. (%)	tér. (%)	total (%)
1	2300	5.0	0.04	191	5.85	7.80	23.89	16.09	72.25	0.0002	40.24	33	33	11
2	2300	7.0	0.04	178	6.07	10.92	27.01	16.09	77.53	0.0002	45.49	40	35	14
3	2300	9.0	0.04	162	6.67	14.03	30.12	16.09	85.19	0.0001	50.75	47	35	16
4	2300	11.0	0.04	141	7.66	17.15	33.24	16.09	97.87	0.0001	56.00	52	34	18
5	2300	13.0	0.04	128	8.44	20.27	36.36	16.09	107.81	0.0001	61.26	56	34	19
6	2300	15.0	0.04	120	9.00	23.39	39.48	16.09	115.00	0.0001	66.51	59	34	20

Tabla 6.6

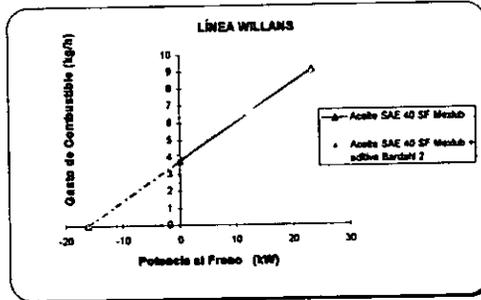
Prueba con aceite SAE 40 SF Mexlub + aditivo Bardahl 2

LECTURA	N (r.p.m)	F (kgf)	h (m)	t (s)	Gc (kg/h)	Wf (kW)	Wt (kW)	Wv (kW)	Es (kW)	GEC (kg/s kW)	PME (kN/m2)	mec. (%)	tér. (%)	total (%)
1	2300	5.4	0.04	190	5.88	8.42	27.47	19.05	72.83	0.0002	46.28	31	38	12
2	2300	7.0	0.04	174	6.21	10.92	29.97	19.05	79.31	0.0002	50.48	36	36	14
3	2300	9.0	0.04	153	7.06	14.03	33.06	19.05	90.20	0.0001	55.73	42	37	16
4	2300	11.0	0.04	140	7.71	17.15	36.20	19.05	98.57	0.0001	60.99	47	37	17
5	2300	13.0	0.04	129	8.37	20.27	39.32	19.05	106.98	0.0001	66.24	52	37	19
6	2300	15.0	0.04	124	8.71	23.39	42.44	19.05	111.29	0.0001	71.50	55	38	21

En las tablas anteriores (6.1 y 6.6), se muestran los resultados de las pruebas realizadas con aceite SAE 40 y aditivo Bardahl 2. En cuanto a consumo de gasolina, ambas pruebas resultan prácticamente semejantes durante toda la prueba. Esto se verá mejor en la gráfica 6.22 que se analizará más adelante.

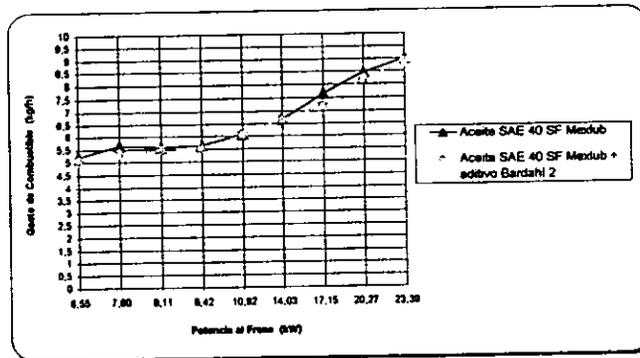
En cuanto a la potencia de fricción (figura 6.21), la diferencia es de aproximadamente 3 kW en favor de la mezcla aceite-aditivo.

Gráfica 6.21



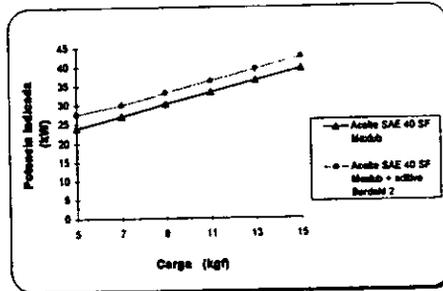
En la gráfica 6.21 se muestra la potencia de fricción obtenida en la prueba base y en la prueba realizada con aditivo Bardahl 2. En dicha gráfica se observa una pequeña disminución de ésta potencia con respecto a la prueba con aceite SAE 40; ésta pequeña diferencia es de 3 kW en favor al aditivo mencionado.

Gráfica 6.22

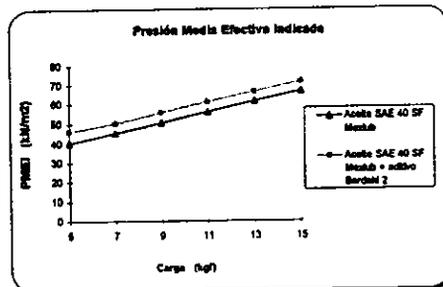


La gráfica 6.22 muestra el gasto de combustible en kg/h. Aquí se puede apreciar que prácticamente no se presenta ventaja de una prueba con respecto a la otra. Es decir, en las dos pruebas no existe diferencia que pudiera ser importante y que, además, se puede decir que ambas líneas son prácticamente iguales.

Gráfica 6.23



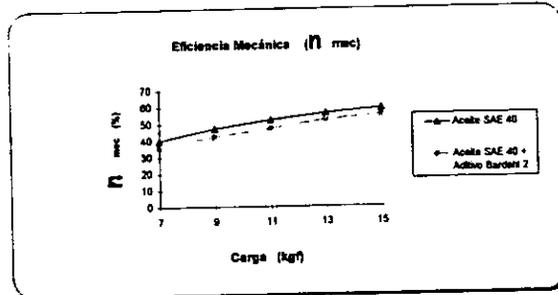
Gráfica 6.24



En la gráfica 6.23 se observa como la potencia indicada para esta prueba es poco mayor cuando es utilizado el aditivo Bardahl 2. Hay que mencionar que también la PMEI para el aditivo es mayor, esto es porque tanto la potencia indicada y la PMEI son proporcionales (gráfica 6.24).

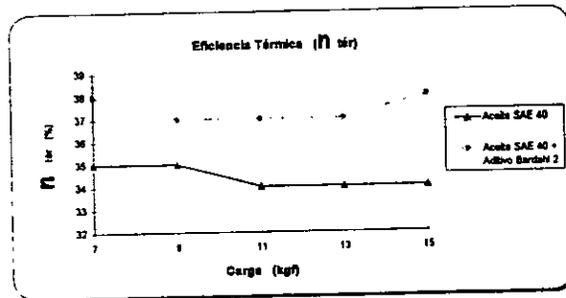
Pruebas realizadas en el motor de combustión interna.

Gráfica 6.25



La gráfica 6.25 muestra la eficiencia mecánica de la prueba realizada con aceite SAE 40 y la otra prueba realizada con aditivo Bardahl 2. Se puede observar de dicha gráfica que la eficiencia del aceite está por encima del aditivo, pero por muy poca diferencia; es decir, se puede decir que no es importante dicha mejoría en todo el rango de operación.

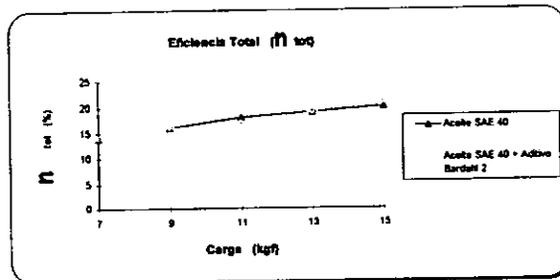
Gráfica 6.26



La gráfica 6.26 muestra la eficiencia térmica de ambas pruebas, dejando notar que se incrementa en un promedio del 4 % la eficiencia para la prueba con aditivo Bardahl 2. Este cambio o mejoría se presenta en toda la prueba realizada y de igual forma cuando la carga aplicada al motor va en aumento.

Pruebas realizadas en el motor de combustión interna.

Gráfica 6.27



La eficiencia total para esta prueba no presenta diferencias que pudieran llegar a ser relevantes. Se puede observar de la gráfica 6.27 que las líneas obtenidas son prácticamente las mismas. Aunque si hay que notar, que la eficiencia se va incrementando cuando la carga va en aumento.

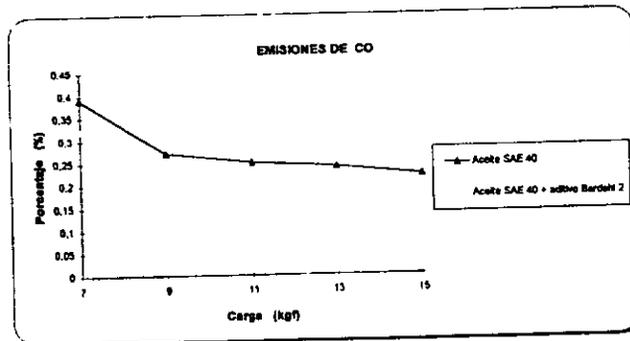
Tabla 6.7

EMISION DE GASES

LUBRICANTE	CARGA (kgf)	% CO	% CO2	% O2
ACEITE SAE 40	7	0.39	17.4	1.4
	9	0.27	16.4	1.7
	11	0.25	16	1.9
	13	0.24	16.9	1.6
	15	0.22	16.3	2.2
ACEITE SAE 40 + ADITIVO BARDAHL 2	7	0.32	9.1	1.7
	9	0.33	9.1	2.3
	11	0.33	9.2	1.6
	13	0.32	9.3	1.6
	15	0.34	9.6	1.4

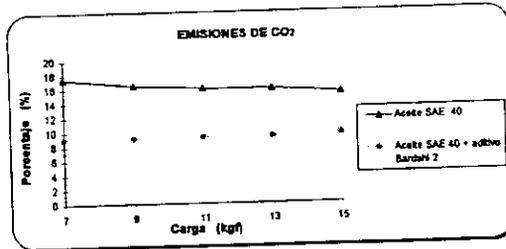
Tabla 6.7. Lecturas obtenidas en la emisión de gases a la atmósfera, en las pruebas realizadas con aceite SAE 40 y aditivo Bardahl 2 en el motor de gasolina.

Gráfica 6.27a



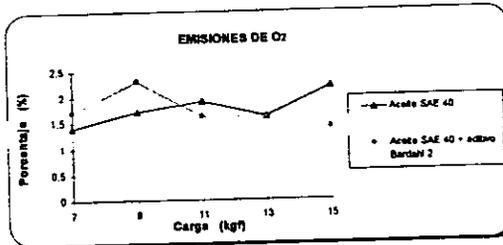
Gráfica 6.27a. Al inicio de la prueba, el aditivo se comporta de mejor forma que el aceite SAE 40, pero conforme va aumentando la carga, el aditivo va incrementando la emisión del monóxido de carbono. Por el contrario, en el aceite SAE 40 disminuye la cantidad de CO al estar aumentando la carga en el motor; esto se puede apreciar después de los 9 kgf de carga.

Gráfica 6.28



La gráfica 6.28 muestra las emisiones de CO₂ durante las pruebas realizadas con aceite SAE 40 y aditivo Bardahl 2. Aquí se puede apreciar como el aditivo tiende a mejorar ésta emisión de CO₂ durante toda la prueba e incluso con mejores resultados que la prueba de aceite SAE 40, que se mantuvo por encima del aditivo. Esta mejora es importante, ya que el aditivo se mantuvo, en promedio, un 6 % por abajo del aceite SAE 40.

Gráfica 6.29



La gráfica 6.29 muestra la emisión de O₂ en las pruebas con aceite SAE 40 y el aditivo Bardahl 2. Se observa una dispersión en las lecturas, pero no existe mejora de un fluido a otro, aunque la emisión de oxígeno no es contaminante, éstas pruebas cumplen con las normas establecidas que están alrededor del 6 % de O₂, para los automóviles de modelo 1985 y anteriores

**Resultados y comentarios
de las pruebas realizadas con el aceite
SAE 40 SF y la mezcla, aceite SAE 40 SF + aditivo
STP 12.**

Tabla 6.1

Prueba con aceite SAE 40 SF Mexlub

LECTURA	N (r.p.m)	P (kgf)	h (m)	t (s)	Qc (kg/h)	Wf (kW)	Wl (kW)	Wt (kW)	Es (kW)	GEC (kg/s kW)	PMEI (kN/m ²)	■ mec. (%)	■ tér. (%)	■ tot (%)
1	2300	5.0	0.04	191	5.85	7.80	23.89	16.09	72.25	0.0002	40.24	33	33	11
2	2300	7.0	0.04	178	6.07	10.92	27.01	16.09	77.53	0.0002	45.49	40	35	14
3	2300	9.0	0.04	162	6.67	14.03	30.12	16.09	85.19	0.0001	50.75	47	35	16
4	2300	11.0	0.04	141	7.66	17.15	33.24	16.09	97.87	0.0001	56.00	52	34	18
5	2300	13.0	0.04	128	8.44	20.27	36.36	16.09	107.81	0.0001	61.26	56	34	19
6	2300	15.0	0.04	120	9.00	23.39	39.46	16.09	115.00	0.0001	66.51	59	34	20

Tabla 6.8

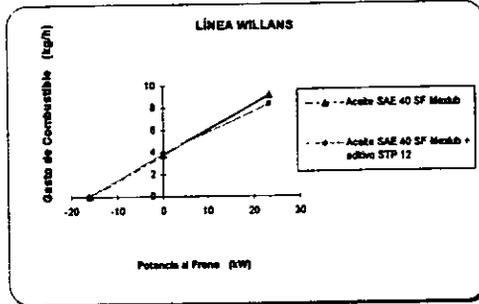
Prueba con aceite SAE 40 SF Mexdub + aditivo STP 12

LECTURA	N (r.p.m)	P (kgf)	h (m)	t (s)	Qc (kg/h)	Wf (kW)	Wl (kW)	Wt (kW)	Es (kW)	GEC (kg/s kW)	PMEI (kN/m ²)	■ mec. (%)	■ tér. (%)	■ tot (%)
1	2300	4.2	0.04	198	5.51	6.55	20.42	26.97	70.41	0.0002	45.43	24	38	9
2	2300	7.0	0.04	193	5.6	10.92	20.42	31.44	71.50	0.0001	52.79	35	44	15
3	2300	9.0	0.04	174	6.21	14.03	20.42	34.45	79.31	0.0001	58.04	41	43	16
4	2300	11.0	0.04	138	7.83	17.15	20.42	37.57	100.00	0.0001	63.30	46	38	17
5	2300	13.0	0.04	143	7.55	20.27	20.42	40.66	96.50	0.0001	66.55	50	42	21
6	2300	15.0	0.04	126	8.57	23.39	20.42	43.81	109.52	0.0001	73.80	53	40	21

En las tablas 6.1 y 6.8, se encuentran los resultados obtenidos para la prueba realizada con aceite SAE 40 y, para la prueba realizada con el aditivo STP 12.

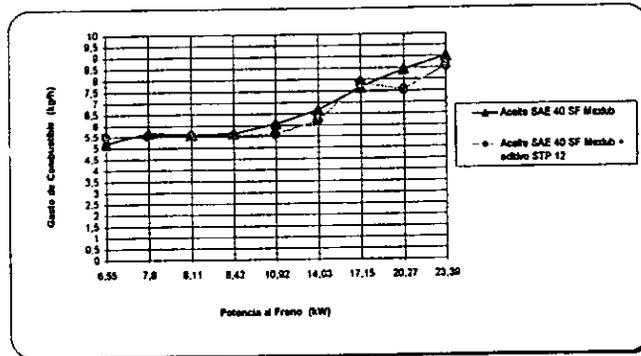
En ambas pruebas se observa también como la eficiencia total mejora muy poco con respecto a la prueba base (figura 6.31).

Gráfica 6.30



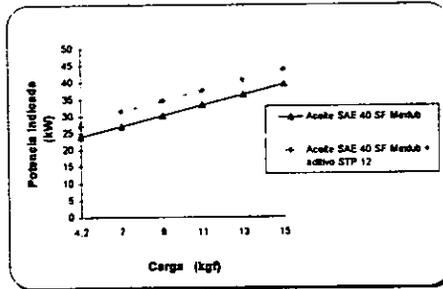
En la gráfica 6.30 se observa que mientras aumenta la potencia al freno, el gasto de combustible es menor en la prueba realizada con el aditivo. En este caso, la potencia de fricción en el caso del aceite SAE 40 fue de 16.09 kW, mientras que para el aditivo se tuvo una potencia de fricción de 20.42 kW.

Gráfica 6.31

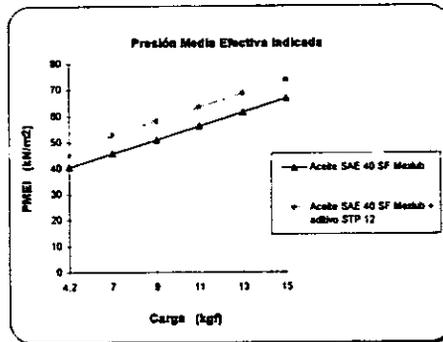


La gráfica 6.31 muestra el gasto de combustible de las dos pruebas, siendo que la prueba con el aditivo STP 12 se tiene un menor gasto de combustible durante todo el evento. Este ahorro de combustible es de aproximadamente el 3.5 % (aproximadamente 0.5 l/h) en favor del mencionado aditivo.

Gráfica 6.32



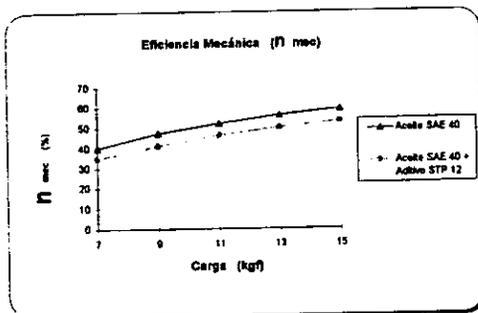
Gráfica 6.33



En la gráfica 6.32 se observa la línea de la potencia indicada obtenida en la prueba realizada con aceite SAE 40 y la otra prueba donde se utilizó la mezcla aceite SAE 40 + aditivo STP 12. Se nota de forma sencilla como la potencia indicada es mayor en todo el rango de operación del motor cuando se utiliza la mezcla aceite - aditivo. Esta diferencia es de aproximadamente 4 kW en promedio.

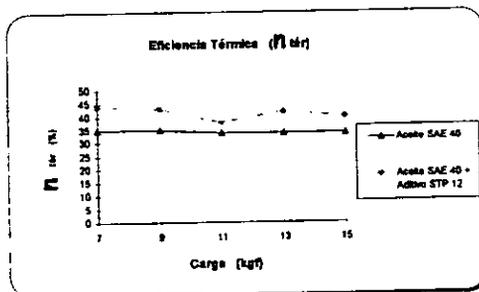
En la gráfica 6.33 también se nota como la PMIE es mayor para todo el rango de carga aplicada al motor y se comporta de forma casi lineal, es decir, al aumentar la carga, aumenta la PMIE casi en forma proporcional. Esto es también cuando se utilizó la mezcla aceite-aditivo.

Gráfica 6.34



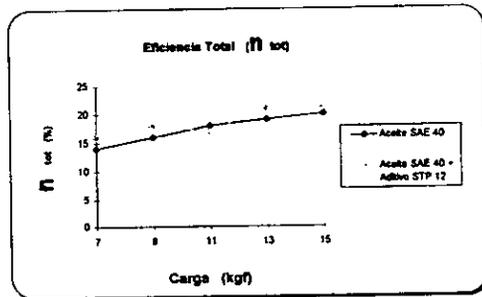
En la gráfica 6.34 se muestra la eficiencia mecánica de la prueba realizada con aceite SAE 40 y la otra prueba realizada con la mezcla aceite SAE 40 + aditivo STP 12. Se observa mayor eficiencia en toda la prueba a favor del aceite SAE 40, pero dicha mejoría es muy pequeña.

Gráfica 6.35



La gráfica 6.35 muestra que la eficiencia mecánica de la prueba realizada con aceite se comportó casi de una forma constante durante toda la prueba, mientras que la eficiencia obtenida en la prueba con aditivo mostró un incremento considerable que en promedio es de aproximadamente el 7%.

Gráfica 6.36



La eficiencia total para esta prueba (gráfica 6.36), no muestra cambios interesantes que pudieran ser relevantes. Pero sí mencionar que la eficiencia va en aumento mientras va en aumento también la carga aplicada al motor.

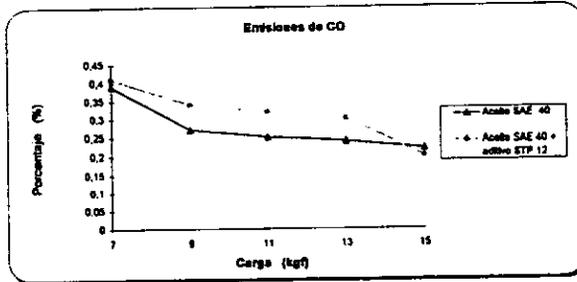
Tabla 6.9

EMISION DE GASES

LUBRICANTE	CARGA (kgf)	% CO	% CO2	% O2
ACEITE SAE 40	7	0.38	17.4	1.4
	9	0.27	16.4	1.7
	11	0.25	16	1.9
	13	0.24	15.9	1.6
	15	0.22	16.3	2.2
ACEITE SAE 40 + ADITIVO STP 12	7	0.41	16.2	2.2
	9	0.34	15.8	2.1
	11	0.32	15.6	2.0
	13	0.30	15.6	2.1
	15	0.20	15.2	2.2

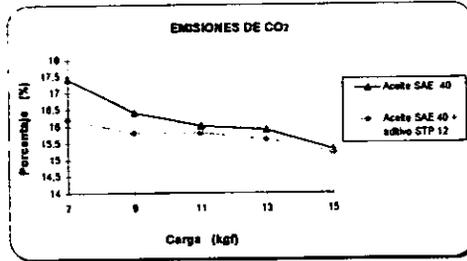
Tabla 6.9. Resultados obtenidos en la emisión de gases a la atmósfera en las pruebas con aceite SAE 40 y aditivo STP 12.

Gráfica 6.37



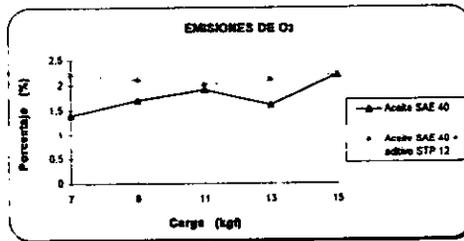
La gráfica 6.37 muestra los resultados obtenidos, y se puede apreciar como la emisión de CO disminuye para ambas pruebas, a medida de que aumenta la carga aunque la diferencia en porcentaje entre una y otra prueba es pequeña. Se puede observar como existe un rango entre 9 y 13 kgf, donde existe una diferencia aproximada del 1%, y tienden a ser iguales cuando la carga es de 15 kgf.

Gráfica 6.38



En la gráfica 6.38 se muestra la emisión de CO₂ obtenida durante las pruebas realizadas con aceite SAE 40 Mexub y el aditivo STP 12. Se puede observar una pequeña diferencia de porcentajes al inicio de la prueba a favor del aditivo. Pero al seguir aumentando la carga, dicha diferencia ya no es notable e incluso tienden a ser iguales a lo largo de la prueba.

Gráfica 6.39



La gráfica 6.39 muestra la emisión de oxígeno. Se puede ver que no existe gran diferencia de una prueba a otra a lo largo de todo el evento y que incluso, tienden a ser casi iguales cuando la carga aplicada al motor es de 11, 13 y 15 kgf.

**Resultados y comentarios
de las pruebas realizadas con el aceite
SAE 40 SF y la mezcla, aceite SAE 40 SF + aditivo
Mobil Oil Economizer.**

Tabla 6.1

Prueba con aceite SAE 40 SF Mexlub

LECTURA	N (r.p.m)	F (kgf)	h (m)	t (s)	Gc (kg/h)	\dot{W}_f (kW)	\dot{W}_i (kW)	\dot{W}_r (kW)	Es (kW)	GEC (kg/s kw)	PMEI (kN/m ²)	mec. (%)	tér. (%)	tot. (%)
1	2300	5.0	0.04	191	5.65	7.00	23.89	16.09	72.25	0.0002	40.24	33	33	11
2	2300	7.0	0.04	178	6.07	10.92	27.01	16.09	77.53	0.0002	45.49	40	35	14
3	2300	9.0	0.04	162	6.67	14.03	30.12	16.09	85.19	0.0001	50.75	47	35	16
4	2300	11.0	0.04	141	7.86	17.15	33.24	16.09	97.87	0.0001	56.00	52	34	18
5	2300	13.0	0.04	128	8.44	20.27	36.36	16.09	107.81	0.0001	61.26	56	34	19
6	2300	15.0	0.04	120	9.00	23.39	39.48	16.09	115.00	0.0001	66.51	59	34	20

Tabla 6.10

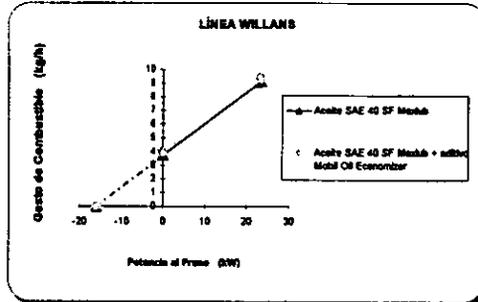
Prueba con aceite SAE 40 + aditivo Mobil Oil Economizer

LECTURA	N (r.p.m)	F (kgf)	h (m)	t (s)	Gc (kg/h)	\dot{W}_f (kW)	\dot{W}_i (kW)	\dot{W}_r (kW)	Es (kW)	GEC (kg/s kW)	PMEI (kN/m ²)	mec. (%)	tér. (%)	tot. (%)
1	2300	5.2	0.04	181	5.97	8.11	25.54	17.43	76.24	0.0002	43.02	32	33	11
2	2300	7.0	0.04	167	6.47	10.92	28.35	17.43	82.63	0.0002	47.75	39	34	13
3	2300	9.0	0.04	151	7.15	14.03	31.46	17.43	91.39	0.0001	53.01	45	34	15
4	2300	11.0	0.04	135	8	17.15	34.58	17.43	102.22	0.0001	58.26	50	34	17
5	2300	13.0	0.04	123	8.78	20.27	37.70	17.43	112.20	0.0001	63.51	54	34	18
6	2300	15.0	0.04	115	9.39	23.39	40.82	17.43	120.00	0.0001	68.77	57	34	19

En las tablas 6.1 y 6.10, se registraron los valores obtenidos de las pruebas realizadas, una con aceite SAE 40 y la otra con la mezcla aceite-aditivo Mobil Oil Economizer.

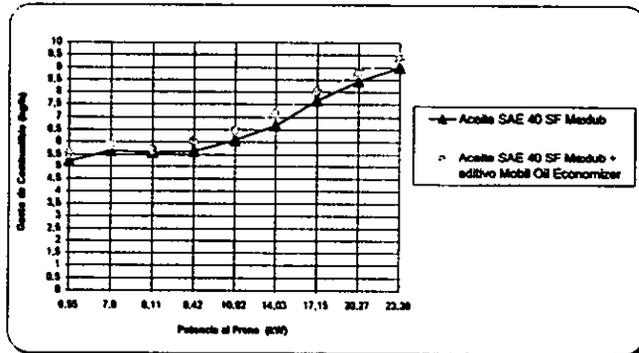
En cuanto al gasto de combustible (figura 6.41), se observa una ventaja significativa del aceite SAE 40 sobre el aditivo Mobil Oil.

Gráfica 6.40



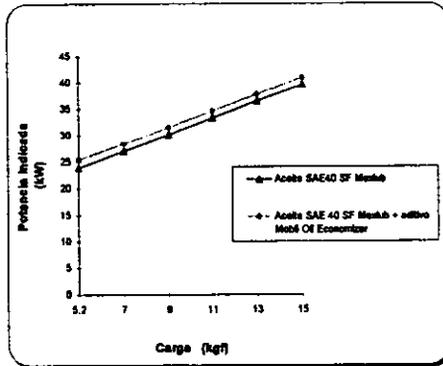
En la gráfica 6.40 se aprecian las pérdidas por fricción o potencia de fricción que se obtuvo en la prueba base y la prueba realizada con aditivo Mobil Oil Economizer. Se puede observar que prácticamente la gráfica es la misma, es decir, no existen diferencias significativas en ambas pruebas.

Gráfica 6.41

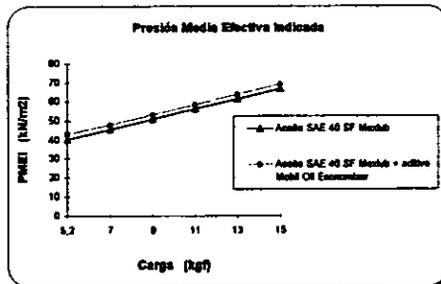


La gráfica 6.41 muestra como el aditivo Mobil Oil tuvo un mayor gasto de combustible en toda la prueba, en comparación del consumo de combustible de la prueba base. Cabe mencionar que la diferencia en consumo de gasolina a favor del aceite SAE 40 fue de aproximadamente 5.3 %.

Gráfica 6.42

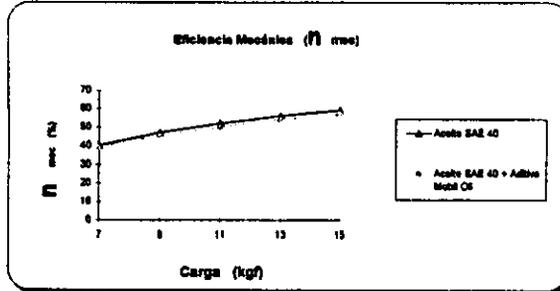


Gráfica 6.43



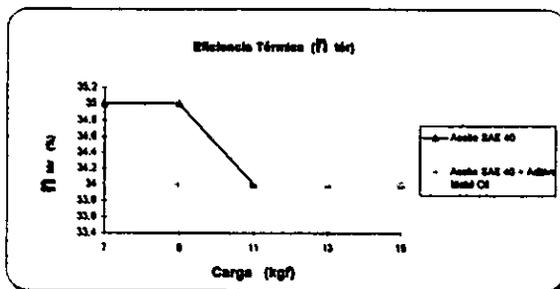
Las gráficas 6.42 y 6.43 muestran como al ir aumentando la carga al motor, la potencia indicada y la PMEI se incrementan casi con la misma proporción, es decir, siempre existe una relación entre la potencia indicada y la presión media efectiva indicada.

Gráfica 6.44



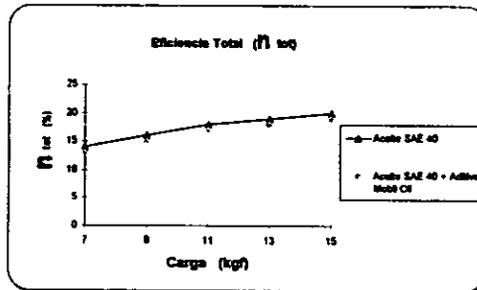
En la gráfica 6.44 se puede observar que en las dos pruebas realizadas se obtienen eficiencias muy semejantes y, que no presentan un cambio interesante en cuanto a eficiencia mecánica se refiere.

Gráfica 6.45



La gráfica 6.45 muestra como al inicio de la prueba, la eficiencia térmica obtenida en la prueba con aceite SAE 40 mostró un incremento, pero al incrementar la carga a lo largo de la prueba, dicha eficiencia se mantuvo exactamente igual a la obtenida con el aditivo Mobil Oil.

Gráfica 6.46



La eficiencia total se incrementa en ambas pruebas, mientras también se va incrementando la carga aplicada al motor (gráfica 6.46). El incremento en la eficiencia de un fluido a otro no es muy notorio, es decir, la eficiencia total se mantiene casi en la misma proporción y la diferencia entre una y otra es muy reducida.

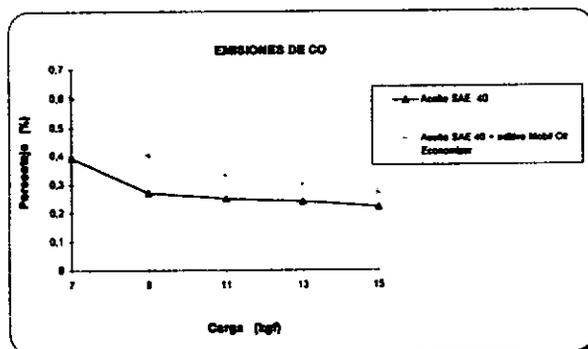
Tabla 6.11

EMISION DE GASES

LUBRICANTE	CARGA (kgf)	% CO	% CO2	% O2
ACEITE SAE 40	7	0.39	17.4	1.4
	9	0.27	16.4	1.7
	11	0.25	16	1.9
	13	0.24	16.9	1.8
	15	0.22	16.3	2.2
Aceite SAE 40 + aditivo Mobil Oil Economizer	7	0.6	17	2.7
	9	0.4	16.1	2.4
	11	0.33	15.6	2.2
	13	0.30	15.3	2.1
	15	0.27	15.1	1.8

Tabla 6.11. Aquí se muestran los resultados obtenidos de los diferentes gases, en las pruebas realizadas con aceite SAE 40 y aditivo Mobil Oil Economizer. Los gases analizados son: CO, CO₂ y O₂.

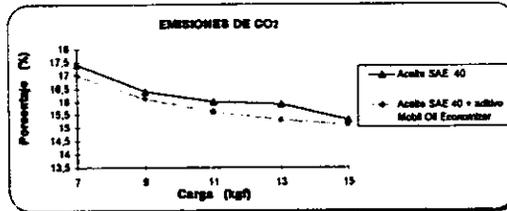
Gráfica 6.47



La gráfica 6.47, muestra como la emisión de CO es prácticamente la misma para ambas pruebas. Esto se aprecia también cuando la carga va aumentando y las dos líneas tienden a ser iguales.

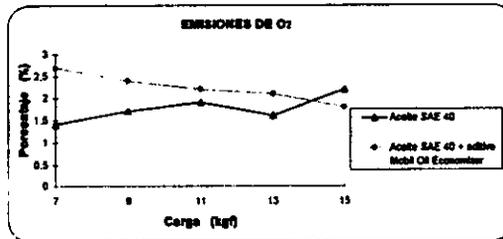
Se observa también que las emisiones de CO para la prueba con aceite SAE 40, se mantienen por debajo de las emisiones obtenidas con el aditivo Mobil Oil.

Gráfica 6.48



Las emisiones de CO₂ para el aceite SAE 40 y el aditivo Mobil Oil Economizer se pueden observar en la gráfica 6.48, de donde se muestra como no existe una diferencia notoria entre una prueba y otra. Es decir, las líneas obtenidas en cada una de las pruebas son muy semejantes. Hay que observar que el porcentaje de emisiones van siendo casi iguales a medida que la carga aplicada al motor va aumentando.

Gráfica 6.49



Las emisiones de oxígeno muestran una pequeña diferencia al inicio de la prueba, mas sin embargo, al ir aumentando la carga al motor, esa diferencia ya no es muy notable e incluso tienden a mantenerse casi constantes (gráfica 6.49).

CAPÍTULO VII

Conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo a las pruebas realizadas en el presente trabajo se puede observar que el funcionamiento del motor se puede llevar a cabo con diferentes tipos de aditivos para lubricantes que se le agregan al motor, haciendo notar que con algunos aditivos se mejora el rendimiento del vehículo y con otros se obtienen resultados desfavorables.

Es importante recalcar que las pruebas se hicieron bajo las mismas condiciones de operación, es decir, en todas y cada una de las pruebas los parámetros a considerar fueron exactamente los mismos para poder hacer las comparaciones respectivas sin ningún problema.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las diferentes gráficas, donde se observa el comportamiento del motor, se puede apreciar que existen aditivos que tienen un comportamiento interesante para ciertos parámetros analizados, pero que para otros no. Por ejemplo, para el ahorro de combustible se tiene que la mezcla aceite SAE 40 + aditivo STP 12 presenta el menor gasto de combustible bajo los mismos parámetros en toda la prueba, no así para la mezcla aceite SAE 40 + aditivo Mobil Oil que presentó el mayor gasto de combustible.

En cuanto a la eficiencia total, sólo el aditivo STP 12 arrojó resultados ligeramente mejores que los de la prueba base, esta diferencia se puede observar en la gráfica 6.36, donde se puede ver que de el rango utilizado para la carga aplicada al motor la eficiencia mejoró cuando el aditivo mencionado fue utilizado.

Otro de los aspectos importantes que se analizaron en este trabajo fue la emisión de gases, estos son: CO, CO₂ y O₂ los cuales de

igual forma que para el gasto de combustible no se puede recomendar ampliamente a un aditivo en particular, aunque sí mencionaremos que los aditivos Bardahl 1 y STP 14, presentaron baja emisión de CO con respecto a la prueba base esto quiere decir que los resultados son favorables cuando estos aditivos son utilizados.

En cuanto a la emisión de CO₂, todos los aditivos analizados presentan menores índices de este gas, sin embargo, de todos los aditivos, el que presenta una diferencia importante es el Bardahl 2 quien logró tener una diferencia más significativa con respecto a la prueba base.

Para el O₂, ningún aditivo presenta resultados satisfactorios inclusive, la prueba que se hizo sólo con el aceite base resultó tener resultados mejores que los aditivos STP 12 y Mobil Oil.

Como conclusión y considerando que el gasto de combustible y la eficiencia total del motor son parámetros importantes, el aditivo que mejores resultados arrojó es el STP 12 por los resultados obtenidos en las pruebas analizadas. Aunque hay que hacer notar la importancia que tiene la emisión de gases y recalcar que éste aditivo no ofrece buenos resultados en este aspecto.

Otros de los puntos importantes para tomar en cuenta, son las siguientes recomendaciones:

- a) Todo lubricante ha sido diseñado para una clasificación de servicio API y para un modelo de vehículo según su año de fabricación.
- b) Una calidad superior de servicio API para motores de modelo reciente protege, mejora y optimiza el rendimiento en motores de

modelos anteriores. Esto puede consultarse en las tablas 3.2 y 3.3, descritas en el capítulo III.

c) Es recomendable realizar las mismas pruebas que se analizaron en éste trabajo, pero ahora enfatizando sobre el comportamiento de los materiales que componen al motor, es decir, por ejemplo, hacer un estudio profundo sobre el desgaste de algunas partes del motor y determinar en donde el sistema de lubricación puede o está presentando problemas. Este tipo de pruebas, se pueden realizar con el método ASTM D 4628-86 descrito en el capítulo V.

ANEXO A

En el instrumento de medición de gases marca KAL es importante y recomendable seguir lo siguiente:

AL INICIAR:

a) Antes de encender el motor se debe conectar el KAL a los bordes de la batería y se debe mantener encendido durante toda la prueba.

b) Antes de cualquier medición, se debe dejar que el instrumento se caliente por lo menos en un tiempo de 20 minutos con la sonda fuera de cualquier emisión, durante este tiempo puede llegar a haber varias autocalibraciones.

c) Al hacer las mediciones se coloca la sonda en el escape del motor y se toma la lectura.

d) Para hacer mediciones se presiona el botón "STANDBY/RUN" para que pase al modo de operación.

e) Una vez tomada la lectura, se oprime la tecla "STANDBY/RUN" para que pase al modo de espera.

AL TERMINAR:

a) Apagar el KAL y desconectarlo de los bordes de la batería cuando éste ya no vaya a utilizarse.

b) Aunque durante su operación se va drenando el agua de la trampa, es necesario drenarla antes de guardarla.



- 1.- Lubricantes: características, propiedades y aplicaciones. Gleeson Velarde Joseph. Universidad Iberoamericana. 1994.
- 2.- Evaluación de las emisiones de NOx en un motor a gas con convertidor catalítico. Eduardo López Martín del Campo. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. 1996.
- 3.- Manual de lubricación y pruebas de laboratorio. Valencia Andrade Guillermo. Ed. Del Toro. 1993.
- 4.- Aplicación de procedimientos de inspección, métodos de pruebas y control estadístico del proceso en la fabricación de aceites lubricantes. Rigoberto Gordillo Torres. Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. IPN. 1995.
- 5.- Implementación de prácticas para el motor de combustión interna del laboratorio de máquinas térmicas de la ENEP Aragón. José Antonio Ávila García. U.N.A.M. 1994.
- 6.- Reducción de HC y COx en los gases de emisión de un motor a gasolina mediante un convertidor de zeolita. Ricardo Ortiz Quintero. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. 1997.
- 7.- Guía de planeación estratégica en la industria de lubricantes. José Ma. Cid Michavila. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M. 1993.
- 8.- Prácticas del Laboratorio de Máquinas Térmicas. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.
- 9.- Laboratorio de Máquinas Térmicas. Curso 1994-2. Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. Junio de 1994.
- 10.- Mecánica de los Pequeños Motores. William H. Crouse. Grupo Editor Alfaomega. 1996.

- 11.- Tendencias automotrices mundiales. PARAMINS. 1994.
- 12.- Guía técnica de lubricantes. Castrol México S.A de C.V (antes Veedol S.A de C.V.), 1997.
- 13.- Manual de lubricantes. PEMEX, 3a. edición, 1974. Ed. Galache S.A.
- 14.- QS LIFE. Guías técnicas de lubricación. Editado por Compañía Comercial Importadora S.A de C.V. Grupo Quaker State. 1997.
- 15.- Manuales de información de productos. Editado por Mobil Oil S.A de C.V. 1996.
- 16.- Información técnica sobre lubricantes y otros productos. Editado por Bardahl de México S.A de C.V. 1997.
- 17.- Notas informativas de los productos lubricantes. Editado por Cia. General de Lubricantes S.A de C.V (ESSO México). 1997.
- 18.- Exposición: Tendencias de lubricantes para motores a gasolina. México D.F. 1997.
- 19.- Seminario de lubricantes y aditivos. PARAMINS. Enero de 1996. México D.F.
- 20.- SAE International Handbook (Society of Automotive Engineers Inc.). 1996.
- 21.- SAE International Sección México. Conferencias sobre lubricantes. Sección de fabricantes de lubricantes ANIQ. 1996.
- 22.- Curso de lubricación automotriz impartido por la Compañía General de Lubricantes S.A de C.V (ESSO México, filial de EXXON CORPORATION) en el Centro de Capacitación de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE). Junio de 1997.