



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS
DE LOS ACEITES LUBRICANTES MULTIGRADO SAE 20W-50
PARA VEHÍCULOS CON MOTOR DE GASOLINA**

Edwing Maudiel Paxtor Castro

Asesorado por Ing. Julio F. Villacinda Maldonado

Guatemala, abril de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS
DE LOS ACEITES LUBRICANTES MULTIGRADO SAE 20W-50
PARA VEHÍCULOS CON MOTOR DE GASOLINA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA POR

EDWING MAUDIÉL PAXTOR CASTRO

ASESORADA POR EL ING. JULIO F. VILLACINDA MALDONADO
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUIMICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympos Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Eduardo Calderón García
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Monzón Valdéz
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS
DE LOS ACEITES LUBRICANTES MULTIGRADO SAE 20W-50
PARA VEHÍCULOS CON MOTOR DE GASOLINA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 26 de julio de 2004.



Edwing Maudiel Paxtor Castro


Guatemala, 10 de Agosto del 2004

Ingeniero
Julio Rivera Palacios
Director de la Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Rivera:

Cumpliendo con lo establecido por la Dirección de Escuela, se procedió a la asesoría del trabajo de tesis del estudiante EDWING MAUDIEL PAXTOR CASTRO, denominado CARACTERIZACION DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LOS ACEITES LUBRICANTES MULTIGRADO SAE 20W-50 PARA VEHÍCULOS CON MOTOR DE GASOLINA, el cual ha cumplido con los requisitos reglamentarios, siguiendo las recomendaciones de la asesoría, y en tal virtud, dejo constancia de mi aprobación, para proceder a la autorización del respectivo trabajo de tesis.

Atentamente,


Ing. Julio F. Villacinda Maldonado
ASESOR

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 21 de octubre de 2,004

Ingeniero
Julio Rivera Palacios
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.


Estimado Ingeniero Rivera.

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de Graduación del estudiante Edwing Maudiel Paxtor Castro, Carnet No. 88-30590 titulado "CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS ACEITES LUBRICANTES MULTIGRADO SAE 20W-50 PARA VEHICULOS CON MOTOR DE GASOLINA". Considero que el trabajo de Graduación llena los requisitos para ser aprobado

Sin otro particular y agradeciéndole la atención que se sirva dar a la presente, me suscribo de usted.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Dr. Adolfo Gramajo Antonio
REVISOR

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Julio Rivera Palacios, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento al trabajo de Graduación del estudiante Edwin Maudiel Paxtor Castro, titulado: "CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS ACEITES LUBRICANTES MULTIGRADO SAE 20W-50 PARA VEHICULOS CON MOTOR DE GASOLINA", procede a la autorización del mismo.

Ing. Julio Rivera Palacios
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, marzo de 2,005

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato
Tels. 24769579 Exts. 101-102-114
Fax: 24760365

Ref. DTG. 080-2005

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE LOS ACEITES LUBRICANTES MULTIGRADO SAE 20W-50 PARA VEHÍCULOS CON MOTOR DE GASOLINA**, presentado por el estudiante universitario, **Edwing Maudiel Paxtor Castro**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
DECANO



Guatemala, abril de 2005.

/lmcb.

ACTO QUE DEDICO

- A Dios** Por haber permitido que llegara este momento.
- A mis padres** Feliciano Paxtor Alvarado y Hermelinda Castro de Paxtor, por el apoyo que siempre me han brindado.
- A mis hermanos, hermanas, cuñados y sobrinos** Que me han acompañado en momentos alegres y difíciles de mi vida.
- A mis abuelos** Teodoro Castro, Manuela Chavez de Castro, Martín Paxtor (+), Petrona Alvarado de Paxtor (+), por sus sabias enseñanzas para la vida.
- A mis tíos y primos** Porque me han apoyado siempre en cada etapa de mi vida.
- A mis amigos** Por los momentos que hemos compartido.
- Al público en general** Por honrarme con su presencia.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XIV
HIPÓTESIS	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
1. ACEITES LUBRICANTES	1
2. LA LUBRICACIÓN AUTOMOTRIZ	3
2.1. Lubricación automotriz	3
2.2. Aceite lubricante automotriz	3
3. TIPOS DE ACEITE LUBRICANTE BASE	5
3.1. Aceite lubricante base mineral	5
3.2. Aceite lubricante base sintética	5
3.3. Aceite lubricante base semi-sintética	6
4. FABRICACIÓN DE ACEITE LUBRICANTE BASE MINERAL	7
5. ADITIVOS	9
6. CLASIFICACIÓN DE VISCOSIDADES SAE	13
6.1. Clasificación de viscosidad SAE para aceite monogrado	13
6.2. Clasificación de viscosidad SAE para aceite multigrado	14
7. ACEITE LUBRICANTES MONOGRADO Y MULTIGRADO	15
7.1. Aceite lubricante monogrado	15
7.2. Aceite lubricante multigrado	16

8. PROPIEDADES DE LOS ACEITES LUBRICANTES	19
8.1. Color	19
8.2. Densidad API	20
8.3. Viscosidad cinemática	20
8.4. Índice de viscosidad	21
8.5. Contenido de cenizas y cenizas sulfatadas	22
9. RESULTADOS	23
10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	31
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES	39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
APÉNDICE	45
ANEXOS	63

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Color ASTM vrs. marcas	25
2	Densidad (°API) a 60 °F vrs. marcas	25
3	Densidad a 60 °F (g/cm ³) vrs. marcas	26
4	Viscosidad a 40 °C (cSt) vrs. marcas	26
5	Viscosidad a 100 °C (cSt) vrs. marcas	27
6	Índice de viscosidad vrs. marcas	27
7	Porcentaje de cenizas vrs. marcas	28
8	Porcentaje de cenizas sulfatadas vrs. marcas	28
9	Calcio (ppm) vrs. marcas	29
10	Zinc (ppm) vrs. marcas	29
11	Esquema del circuito de lubricación a presión de un motor FIAT	65
12	Grafica de viscosidad dinámica versus temperatura, para una aceite lubricante monogrado y multigrado	66

TABLAS

I	Resultados de análisis de las muestras de aceite lubricante multigrado SAE 20W-50	23
II	Cuadro estadístico de los resultados	24
III	Resultados color ASTM	58
IV	Resultados densidad (°API) a 60 °F	58
V	Resultados densidad a 60 °F (g/cm ³)	58
VI	Resultados viscosidad a 40 °C	59

VII	Resultados viscosidad a 100 °C	59
VIII	Resultados índice de viscosidad	59
IX	Resultados porcentaje de cenizas	60
X	Resultados porcentaje de cenizas sulfatadas	60
XI	Resultados contenido de calcio (ppm)	60
XII	Resultados contenido de magnesio (ppm)	61
XIII	Resultados contenido de zinc (ppm)	61
XIV	Importación de lubricantes	63
XV	Grados de viscosidad SAE J300d para aceites de motor	63
XVI	Especificaciones de propiedades fisicoquímicas de aceites lubricantes multigrado SAE 20W-50 de algunos fabricantes	64

LISTA DE SÍMBOLOS

% p	Porcentaje peso
° API	Gravedad API
° C	Grados centígrados
° F	Grados Fahrenheit
API	Instituto Americano del Petróleo
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
cm	Centímetros
cSt	Centistoke, unidad normal de la viscosidad cinemática
erg	Ergio, energía expresada en $\text{gr.cm}^2/\text{seg}^2$
g	Gramo
km	Kilómetro
ml	Mililitro
mm Hg	Milímetros de mercurio
mm²/s	Unidad de viscosidad (cSt)
ppm	Concentración expresada en partes por millón
psi	Libras por pulgada cuadrada de presión
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices

GLOSARIO

Aceite	Líquido grasoso, untuoso, de origen animal, vegetal, mineral o sintético.
Aceite básico	Base fluida, usualmente un producto refinado del petróleo o material sintético, en el que los aditivos son mezclados para producir lubricantes terminados.
Aceite mineral	Aceite derivado del petróleo o de una fuente mineral, a diferencia de algunos aceites que tienen origen en plantas y animales.
Aceite monogrado	Un aceite que cumple los requerimientos de un solo grado de la clasificación de viscosidad SAE.
Aceite multigrado	Un aceite que cumple los requerimientos de más de un grado de la clasificación de viscosidad SAE y puede ser capaz de ser usado en un amplio rango de temperatura que un aceite monogrado.
Acidez	En lubricantes, la acidez denota la presencia de constituyentes de tipo ácido cuya concentración es usualmente definida en términos de número ácido total. Los constituyentes varían de acuerdo a su naturaleza y pueden o no, influenciar marcadamente el desempeño del lubricante.
Ácido	En un sentido restringido, cualquier sustancia que contiene hidrógeno en combinación con un no metal o radical no metálico y capaz de producir iones de hidrógeno en solución.

Adhesión	Propiedad de un lubricante que ocasiona que se ancle o adhiera a una superficie sólida.
Aditivo	Un compuesto que mejora algunas de las propiedades, o imparte nuevas propiedades al aceite básico. En algunas formulaciones de aceites de motor, el volumen de los aditivos puede constituir hasta un 20% de la composición final. Los tipos de aditivos más importantes incluyen antioxidantes, antidesgaste, inhibidores de corrosión, mejoradores del índice de viscosidad y depresores de espumación.
Agente antiespumante	Aditivo utilizado para reducir la espumación en los aceites lubricantes.
Antioxidantes	Prolongan el periodo de inducción del aceite básico en la presencia de condiciones oxidantes y metales catalizadores a elevadas temperaturas. El aditivo es consumido y los productos de degradación se incrementan no solo en condiciones de temperaturas elevadas y sostenidas, sino también con el incremento de condiciones de agitación mecánica o turbulencia y contaminación con aire, agua, partículas metálicas y polvo.
Base	Un material que neutraliza los ácidos. Un aditivo del aceite que contiene carbonatos metálicos coloidalmente dispersos, utilizados para reducir el desgaste.
Catalizador	Sustancia que acelera la reacción química, sin llevar a un cambio de los productos resultantes durante el proceso.

CDMd	Valor estadístico que representa la variación que existe entre las tres repeticiones que se hicieron para cada propiedad, esto nos da una idea de la precisión en la determinación experimental de los resultados.
CDMe	Valor estadístico que representa la variación que existe entre las propiedades de las muestras analizadas.
Cenizas	La medida de la cantidad de material inorgánico en el aceite lubricante, determinado, mediante el quemado del aceite y pesado del residuo. Los resultados se expresan en porcentaje en peso.
Cenizas sulfatadas	Contenido de cenizas del lubricante por medio del método ASTM D874. Indica el nivel de aditivos metálicos en el aceite.
Compuesto	Formada de la combinación de dos o más elementos en proporciones definidas por peso, y con propiedades físicas y químicas diferentes de aquellas de los elementos combinantes.
Contaminante	Cualquier material extraño o sustancia no deseada que puede tener un efecto negativo en un sistema en operación, su vida o confiabilidad.
Densidad	La masa de una unidad de volumen de una sustancia. Es un valor numérico que varía de acuerdo con las unidades usadas.
Desgaste	La pérdida de material de la superficie como resultado de una acción mecánica.
Detergente	En lubricación, un aditivo o compuesto lubricante que tiene la propiedad de mantener material insoluble en suspensión, para prevenir su depósito

en lugares en que podría ser peligroso hacerlo. Un detergente puede también redispersar depósitos que ya se hayan formado.

- Emulsificante** Aditivo que promueve la formación de una mezcla estable, o emulsión, de aceite y agua.
- Emulsión** Mezcla íntima de aceite y agua, generalmente de una apariencia lechosa o nebulosa. Las emulsiones pueden ser de dos tipos: aceite en agua (donde el agua es la fase continua) y agua en aceite (donde el agua es la fase discontinua).
- Espectro infrarrojo** Gráfica de la energía infrarroja absorbida a varias frecuencias en la región del espectro infrarrojo. La muestra actual, el aceite de referencia y la muestras previas generalmente son comparadas.
- Espectroscopía por absorción atómica** Mide la radiación absorbida por átomos liberados químicamente, analizando la energía relativa transmitida a la energía incidente a cada frecuencia. La absorción de energía radiante por transiciones electrónicas de neutro a estado excitado es una medida absoluta de la cantidad de átomos en la flama y por lo tanto de la concentración de los elementos en una muestra.
- Estabilidad a la oxidación** Habilidad del lubricante para resistir la degradación natural debida al contacto con el oxígeno.
- Fricción** Fuerza de resistencia encontrada en los límites de dos cuerpos cuando bajo la acción de una fuerza externa, un cuerpo se mueve o tiende a moverse con relación a la superficie del otro.

Grado de viscosidad	Cualquier número de los sistemas que caracterizan a los lubricantes de acuerdo a su viscosidad para una aplicación en particular, como en industrial, motor en general, engranes, engranes automotrices y motores de aviones.
Gravedad PI	Escala de gravedad establecida por el Instituto Americano del Petróleo (API), utilizada por la industria petrolera, la unidad es llamada "Grado API".
Gravedad específica	La relación del peso de un material dado con respecto del peso de un volumen igual de agua.
Hidrocarburos	Compuestos formados de carbono e hidrógeno
Hidrómetro	Un instrumento para determinar ya sea la gravedad específica o la gravedad API de un líquido.
Índice de viscosidad (IV)	Una medida comúnmente utilizada para medir el cambio de la viscosidad con respecto a la temperatura. Mientras mayor sea el índice de viscosidad, menor será el cambio en la viscosidad con la temperatura.
Inhibidor de corrosión	Aditivo que protege las superficies metálicas contra el ataque químico por agua y otros contaminantes.
Inhibidor de oxidación	Sustancia adicionada en cantidades pequeñas a un producto del petróleo para incrementar su resistencia a la oxidación ya sea para prolongar su servicio o para alargar su vida en almacenamiento. También se le llama antioxidante.

Inhibidor	En el caso de aceites lubricantes cualquier sustancia que reduce o previene las reacciones químicas de corrosión o de oxidación.
Inmiscible	Incapaz de mezclarse sin la separación de las fases. El agua y el petróleo son inmiscibles bajo la mayoría de las condiciones, a menos que se les agregue un emulsificante.
Insolubles	Cuando se habla de lubricación se refiere a las partículas de carbón o aglomeraciones de carbón y otros materiales. Indican deposición o agotamiento de los dispersantes en un motor.
Lubricante	Cualquier sustancia que se interpone entre dos superficies en movimiento relativo con el propósito de reducir la fricción y el desgaste entre ellas.
Lubricante sintético	Un lubricante producido por síntesis química más que por extracción o refinamiento del petróleo para producir compuestos con propiedades planeadas y predecibles.
Motor	Un dispositivo que convierte la potencia fluida en fuerza mecánica y movimiento. De ordinario proporciona movimiento mecánico rotatorio.
Oxidación	Ocurre cuando el oxígeno ataca los fluidos minerales. El proceso es acelerado por calor, luz, catalizadores metálicos y la presencia de agua, ácidos o contaminantes sólidos. Esto lleva a un incremento en la viscosidad y formación de depósitos.
Parafínico	Tipo de fluido mineral, derivado del petróleo parafínico y que contiene una alta proporción de hidrocarburos de cadena lineal, saturados.

Generalmente son susceptibles a problemas de flujo a bajas temperaturas.

- pH** Medida de la alcalinidad o acidez en agua o fluidos que contienen agua.
- Sedimentos** Partículas contaminantes de un tamaño de 5 micrones o menos.
- Surfactante** Agente de superficie activa que reduce la tensión interfacial de un líquido. Un surfactante usado en el petróleo puede incrementar la afinidad del aceite por los metales y otros materiales.
- Viscosidad** Medida de la resistencia de un líquido a fluir.
- Viscosidad Cinemática** La viscosidad absoluta, dividida por la densidad del fluido. Se expresa en centistokes. El tiempo requerido para que una cantidad fija de un aceite fluya a través de un tubo capilar bajo la fuerza de la gravedad. La unidad de la viscosidad cinemática es el stoke o centistoke (1/100 de un stoke).
- Viscosímetro** Aparato para determinar la viscosidad de un fluido.

RESUMEN

El trabajo de investigación del que aquí se informa tuvo como finalidad evaluar las propiedades fisicoquímicas de los aceites lubricantes multigrado SAE 20W-50 para vehículos con motores de gasolina que se comercializan en el país.

Para tal efecto, se escogieron cinco muestras de aceite lubricante multigrado de las diferentes marcas que se comercializan en el país.

Se evaluaron las propiedades siguientes: color, ASTM D-1500; gravedad API, ASTM D-287; viscosidad cinemática, ASTM D-445; índice de viscosidad, ASTM D-2270; cenizas, ASTM D-487; cenizas sulfatadas, ASTM D-874 y las concentraciones de calcio, magnesio y zinc, las que se determinaron por la técnica de espectrofotometría de absorción atómica, según los procedimientos PC-1 y PC-3 del manual de métodos analíticos de Perkin-Elmer. Los análisis se realizaron en el Departamento del Laboratorio de la Dirección Administrativa del Ministerio de Energía y Minas.

Se pudo establecer, finalmente, que las propiedades de las marcas de aceite lubricante multigrado analizadas, se encuentran dentro de los rangos establecidos por los fabricantes.

OBJETIVOS

General:

1. Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de los aceites lubricantes multigrado SAE 20W-50 para vehículos con motor de gasolina, que se comercializan en el país.

Específico:

2. Comparar la calidad de las diferentes marcas de los aceites lubricantes multigrado SAE 20W-50 en función de las propiedades fisicoquímicas.

HIPÓTESIS

Las diferentes marcas de aceites lubricantes multigrado SAE 20W-50 que se comercializan en el país para motores automotrices de gasolina, cumplen con las especificaciones del fabricante, tabla XVI (anexos).

HIPÓTESIS EXPERIMENTAL

- Ho: Sí existe una variación significativa entre las propiedades de las diferentes marcas de aceites lubricantes automotrices multigrado SAE 20W-50 que se comercializan en el país.
- Hi: No existe una variación significativa entre las propiedades de las diferentes marcas de aceites lubricantes automotrices multigrado SAE 20W-50 que se comercializan en el país.

INTRODUCCIÓN

Los aceites lubricantes realizan una acción indispensable en el mantenimiento de los motores de combustión. No debe olvidarse que durante la vida útil de un vehículo, el mantenimiento general, los lubricantes y la gasolina, significan un 35 por ciento de su costo total (7,P-95).

El uso de los aceites lubricantes se ha venido dando en el país desde que se han puesto en circulación los automóviles que utilizan como fuente de potencia motores de combustión interna.

Es interesante observar que en el país la cantidad de aceites lubricantes aumenta día con día, debido al incremento de vehículos y de equipo industrial, lo que equivale a establecer que las empresas dedicadas a importar y vender aceites lubricantes para automóviles tienen un alto grado de demanda, tanto de importación como de consumo. Según datos obtenidos del Ministerio de Energía y Minas, en los primeros meses del año 2003 se ha importado un promedio de 8,844 barriles americanos de aceite lubricante por mes, tabla XIV (anexos).

El presente estudio se realizó debido a la importancia que tiene el uso de los aceites lubricantes. En este caso se analizaron cinco muestras de aceites lubricante multigrado SAE 20W-50 que utilizan los motores de gasolina. Estas muestras se escogieron al azar entre las que se comercializan en el país.

La información proporcionada en el presente estudio en cuanto a los parámetros obtenidos de las propiedades fisicoquímicas, puede servir de base o referencia para caracterizaciones posteriores de los mismos aceites o de otros grados, con el objeto de llegar a establecer especificaciones que certifiquen la calidad de estos productos.

1. ACEITES LUBRICANTES

El universo de los aceites lubricantes es bastante amplio, ya que para cada necesidad se usa un tipo específico de aceite lubricante. Los aceites lubricantes comúnmente utilizados se pueden resumir de la siguiente manera (3):

Lubricantes automotrices	{	Gasolina (monogrado y multigrado) Diesel Transmisión Productos específicos
Lubricantes industriales	{	Compresores Sistemas hidráulicos Cajas de engranajes Maquinas Térmicos Dieléctricos
Lubricantes marinos	{	Motores dieses
Lubricantes de aviación	{	Motores de pistón Motores de turbina Sistemas hidráulicos

Sin incluir las grasas lubricantes, podemos darnos cuenta de que el enfoque de los aceites lubricantes es bastante amplio.

2. LA LUBRICACIÓN AUTOMOTRIZ

2.1. Lubricación automotriz

Los motores de los vehículos llevan el aceite de lubricación en la tapa o cárter, cuya capacidad es variable de 2 a 8 litros. Desde este depósito el aceite es distribuido a las distintas superficies rozantes del motor por varios sistemas diferentes. En todos ellos, el aceite tomado del cárter es llevado a las superficies que requieren engrase y vuelve de estas al cárter, circulando continuamente. El aceite se utiliza una y otra vez, perdiéndose pequeñas cantidades del mismo, pero si el motor se halla con las piezas en buen estado, las cantidades quemadas o perdidas por cualquier causa no exceden de un litro por cada 1,500 km. aproximadamente de marcha del motor a velocidades moderadas. En la figura 11 (anexos) se puede ver el aceite en el cárter y estudiar los nombres de las distintas partes del circuito de aceite y del sistema de lubricación (9).

El sistema de lubricación universalmente utilizado en los motores de automóvil es el denominado "engrase por circulación forzada" en donde el aceite a presión es mandado directamente a aquellos lugares de motor en los que su presencia se hace necesaria (9).

2.2. Aceite lubricante automotriz

El aceite lubricante automotriz debe contener aditivos inhibidores de formación de espuma (donde hay burbujas de aire no hay aceite; además, donde hay aire se promueve la oxidación del aceite y de las piezas metálicas del motor); debe actuar como líquido de enfriamiento; debe contener agentes limpiadores que mantengan en suspensión los agentes contaminantes para ser eliminados por el filtro; debe contener aditivos que neutralicen los ácidos corrosivos formados durante el proceso de combustión; debe actuar

como sellante de los anillos de los pistones; debe mantener una viscosidad adecuada en las diferentes gamas de temperaturas de operación para impedir el contacto metal a metal de los componentes mecánicos y debe actuar como fluido hidráulico para la operación de mecanismos internos tales como levanta-válvulas (20).

3. TIPOS DE ACEITE LUBRICANTE BASE

Un aceite lubricante base es un aceite refinado del petróleo o un aceite sintético, en el que los aditivos son mezclados para producir lubricantes terminados. Debido a la carencia completa de aditivos, los aceites lubricantes base no pueden ser utilizados para lubricar un motor.

3.1. Aceite lubricante base mineral

Aceite obtenido directamente de la destilación del petróleo, a diferencia de algunos aceites que tienen origen en plantas y animales. Los aceites vegetales y animales no son utilizados como lubricantes bases automotrices porque son poco estables y se oxidan con mucha facilidad (3), aunque algunas veces son utilizados como aditivos para darle propiedades especiales a los lubricantes. Los aceites de base mineral son los más utilizados en la actualidad debido a que, en los últimos 100 años, se han mantenido en abundancia y muy baratos (21).

3.2. Aceite lubricante base sintética

Aceite lubricante base producido por síntesis química más que por extracción o refinamiento del petróleo. Los lubricantes sintéticos poseen bases sintéticas, las cuales se obtienen de dos formas básicas: una es mediante la utilización de bases 100 por ciento sintéticas, como el éster, y la otra es mediante la utilización de bases que han pasado un proceso químico que las hace adquirir propiedades sintéticas; este es el caso de los semi-sintéticos (19). Entre las propiedades de los aceites con base éster están: la película lubricante no se puede romper, resistencia a temperaturas extremadamente altas, existe una adherencia permanente del aceite con las partes metálicas (polaridad), etc (19).

3.3. Aceite lubricante base semi-sintética

Los lubricantes de base semi-sintético se obtienen de una mezcla de aceites sintéticos y minerales (19).

4. FABRICACIÓN ACEITE LUBRICANTE BASE MINERAL

Esto consiste en separar una fracción del petróleo con propiedades que caracterizan la calidad de un aceite básico. La materia prima, o alimentación, es el residuo de la destilación primaria. Tres son los pasos principales para transformar esta alimentación en aceite básico (4).

La destilación al vacío se utiliza para separar la materia prima en dos o tres fracciones de viscosidad ascendente y una fracción más pesada que se deriva por remoción del asfalto del residuo. En esta primera etapa, quedan determinados los grados de viscosidad de los aceites básicos (4).

Después se utiliza la extracción con disolvente y/o el hidrotratamiento, a fin de reducir el contenido de aromáticos de estas fracciones. Durante la segunda etapa, se establecen las propiedades relacionadas con la calidad (como el índice de viscosidad y la resistencia a la oxidación). En la extracción con disolventes, estos extraen selectivamente compuestos indeseables del aceite; mientras que, en el hidrotratamiento, esto se logra mezclando el aceite con hidrógeno en presencia de un catalizador, a temperaturas y presiones relativamente altas, a fin de transformar estos componentes (4).

Otro proceso es el hidroprocesamiento, que es similar al hidrotratamiento, pero utiliza un catalizador más activo a temperaturas y presiones más altas aún; tiene la ventaja de lograr mayor rendimiento del petróleo crudo, pero a costa de mayor inversión de capital (4).

Para asegurarse de que el aceite fluya a bajas temperaturas, se le extraen las parafinas, y para esto se utilizan disolventes o catalizadores (4).

El producto final de la extracción con disolvente y la separafinación contiene moléculas que se encontraban en el petróleo original; mientras que, por el hidrotratamiento y el hidroprocesamiento, se forman nuevas moléculas y aumenta el rendimiento (4).

Seguidamente este aceite mineral básico es mezclado con aditivos para obtener la propiedades deseadas de un aceite lubricante terminado (4).

5. ADITIVOS

Como se dijo anteriormente, un lubricante básico mineral no puede utilizarse para lubricar un motor, debido a que un aceite debe contener aditivos inhibidores de formación de espuma (donde hay burbujas de aire no hay aceite; además, donde hay aire se promueve la oxidación del aceite y de las piezas metálicas del motor); debe actuar como líquido de enfriamiento; debe contener agentes limpiadores que mantengan en suspensión los agentes contaminantes para ser eliminados por el filtro; debe contener aditivos que neutralicen los ácidos corrosivos formados durante el proceso de combustión; debe actuar como sellante de los anillos de los pistones; debe mantener una viscosidad adecuada en las diferentes gamas de temperaturas de operación para impedir el contacto metal a metal de los componentes mecánicos y debe actuar como fluido hidráulico para la operación de mecanismos internos tales como levanta-válvulas (20).

Los aditivos son sustancias químicas que en pequeñas cantidades se añaden a los aceites básicos para proporcionarles o incrementarles propiedades de las que se encuentran deficitarios o para suprimir o reducir sus defectos o características perjudiciales (7).

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

- Inhibidores destinados a retardar la degradación del aceite actuando como detergentes dispersantes, antioxidantes y anticorrosivos
- Aditivos mejoradores de las cualidades básicas físicas con acción sobre el índice de viscosidad, el punto de congelación, el punto de fluidez, el poder antiespumante, el sellado y la untuosidad (7)

Aditivos anticorrosivos y antioxidantes: Para proteger contra la corrosión a los materiales sensibles, por una parte, y por otra, para impedir las alteraciones internas que pueda sufrir el aceite por envejecimiento y oxidación, causas de su deterioro (formación de resinas, lodos y asfaltos), se ha acudido a la utilización de aditivos anticorrosivos y antioxidantes. Estas dos funciones de protección del metal y del lubricante casi siempre son ejercidas por un mismo producto. Citaremos algunos de estos aditivos: ditiofostato de zinc, éster del ácido estilfosfórico, formado por reacción entre un xantogenato de amilo y el dicloruro de etileno, y, como regla general, compuestos de fósforo o de base arsénica o bismútica (7).

Aditivos detergentes-dispersantes: Los aditivos detergente-dispersantes no tienen la misión de evitar que el aceite se ensucie, sino el mecanismo, y el lema de los lubricantes aditivados con estos productos es precisamente el de motor limpio, con aceite sucio. La misión a cumplir por estos dispersantes es evitar acumulación de los residuos que se forman durante el trabajo del motor y que podrían obstruir conductos estrechos o filtros, y mantenerlos en estado coloidal de suspensión por toda la masa de aceite. Se ha tratado de combinar los efectos mencionados con los proporcionados por los antioxidantes y anticorrosivos en los aceites destinados a lubricar órganos mecánicos, sometidos a cargas elevadas (Heavy Duty Agents). Así, para los aceites de motores de vehículos rápidos se ha previsto la adición de combinaciones organometálicas de zinc, calcio y bario con azufre, cloro y fósforo (7).

Aditivos mejoradores del índice de viscosidad: Se han propuesto recientemente para este fin los ésteres del ácido polimetacrílico y soluciones de materiales plásticos (polímeros), que elevan poco la viscosidad y, en cambio, tienen una influencia favorable en la curva de viscosidad-temperatura (7).

Rebajadores del punto de fluidez y congelación: Es lo más normal que los mismos aditivos mejoradores o elevadores del índice de viscosidad se empleen para favorecer el punto de congelación y, en consecuencia, el de fluidez. Se aplica principalmente a los

aceites parafínicos, ya que la parafina, por su elevado punto de congelación, es la principal productora de la falta de fluidez de los aceites, formando aglomerados y solidificaciones al descender la temperatura. La misión de los aditivos en este caso es la de absorber los cristales de parafina sólido formados, ya que se eliminación total por refinado es costosísima, sin garantías de éxito y exponiéndose a la pérdida de otras cualidades básicas del lubricante, así como a una considerable cantidad del mismo (7).

Aditivos antiespumantes: La presencia en el aceite de cuerpos extraños, tales como gases, aditivos y con temperaturas inferiores a los 100 °C agua, favorecen y producen lo que el aceite base mineral puro de por sí no produce: la formación de espumas, que no son más que burbujas de aire muy estables debido al gran espesor de la película lubricante que las envuelve a su diámetro. Estas burbujas o espumas permanentes crean una especie de cieno que puede obstaculizar muy seriamente el abastecimiento de aceite por conductos no demasiado amplios. Los aditivos antiespumantes tienen la misión de evitar estas causas de entorpecimiento, para lo cual, en la mayor parte de los casos, actúan adelgazando la envoltura de la burbuja de aire hasta su rotura por una modificación de las tensiones superficiales e interfaciales de la masa de aceite (7). Los derivados del siloxano se emplean mucho para este fin por su gran eficacia en concentraciones muy pequeñas en aceite. Otros agentes despumantes para aceite son líquidos insolubles en aceites petrolícos (glicoles o glicerol) dispersados en el aceite por emulsivos apropiados (8).

Preventivos de la herrumbre: Son generalmente sustancias de actividades en superficie, como ácidos grasos, y sus sales alcalinotérreas son solubles en aceite, sales de metales multivalentes de ácidos sulfónicos del petróleo y derivados y combinaciones de los grupos antes mencionados (8).

Inhibidores del desgaste: Se eligen según la naturaleza del proceso de desgaste. Contra el desgaste por rozamiento se usan diversos compuestos orgánicos de fósforo, como el fosfato tricresílico, mientras que el desgaste corrosivo tiene que combatirse con preventivos de la herrumbre o con agentes que reaccionen con las sustancias corrosivas e

impidan el ataque de estas sobre el metal. Los fenolatos alcalinotérreos se emplean en los motores de los automóviles para neutralizar el ácido sulfúrico y los ácidos halogenados procedentes de los componentes del combustible (8).

6. CLASIFICACION DE VISCOSIDADES SAE

La calidad del aceite de motor se define por su comportamiento en motores de tamaño natural o motores de laboratorio, como también en pruebas de laboratorio que están destinadas a predecir el comportamiento en condiciones reales de servicio.

El sistema de clasificación de viscosidad SAE clasifica los aceites según la viscosidad a 100 °C y a - 18 °C. La viscosidad a alta temperatura se relaciona con el consumo de aceite y el desgaste; la viscosidad a baja temperatura se relaciona con el comportamiento en condiciones de arranque en frío. El sistema SAE se basa únicamente en la viscosidad no se consideran otros factores de la calidad o comportamiento del aceite. Los aceites con alto índice de viscosidad tienen mejores condiciones para actuar eficientemente tanto a temperaturas altas como a temperaturas bajas.

La Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) clasifica el aceite de motor según ocho grados de viscosidad SAE, (tabla XV, anexos).

6.1 Clasificación de viscosidad SAE para aceite monogrado (2)

Un aceite lubricante monogrado cumple únicamente con un grado de viscosidad, por ejemplo el SAE 40 y el SAE 15W son aceites lubricantes monogrado.

En la tabla XV se presentan grados de viscosidad de aceites lubricantes monogrado, en la cual los grados "W" se definen por la viscosidad del simulador de accionamiento en frío del cigüeñal (en centipoises, cP) a -18 °C, tal como se determina por ASTM 2602, un valor que está relacionado con la facilidad de accionar el cigüeñal de un motor en tiempo de frío. El grado SAE 15W ha sido recientemente agregado. A fines de 1975, a pedido de las industrias europeas de vehículos y petroleras, SAE agregó una

disposición en el sentido de que los aceites SAE 20W que tengan una viscosidad de 2.400 a 5.000 cP a - 18 °C podrán llamarse SAE 15W. Los otros cuatro grados se definen por la viscosidad cinemática (en centistokes, cSt) a 100 °C, determinada por ASTM D 445. El sistema SAE se basa únicamente en la viscosidad, mientras que otros factores de la calidad o comportamiento del aceite no se consideran. En el país, uno de los aceites monogrado más utilizados para motores de gasolina es el SAE 40.

6.2 Clasificación de viscosidad SAE para aceite multigrado (17)

Un aceite multigrado cumple los requerimientos de más de un grado de viscosidad SAE y puede por consiguiente ser usado en un rango mas amplio de temperaturas que un aceite monogrado (1). Por ejemplo, el SAE 20W-40 y el SAE 20W-50 son aceites lubricantes multigrado, donde:

- El primer número (precedido de una "W") indica la viscosidad a baja temperatura, que determina cuán rápido arranca un motor en clima frío y cuánto fluirá el aceite para lubricar las partes críticas de un motor a bajas temperaturas.
- El segundo número indica la viscosidad a altas temperaturas, o la habilidad del aceite para mantener lubricado el motor a altas temperaturas.

7. ACEITE LUBRICANTE MONOGRADO Y MULTIGRADO

7.1. Aceite lubricante monogrado

La viscosidad de un aceite cambia con la temperatura. A bajas temperaturas el aceite es espeso, y su viscosidad es alta. A medida que aumentan las temperaturas, el aceite se adelgaza y su viscosidad disminuye. Un aceite que fluye lentamente dificulta el arranque del motor, mientras que un aceite excesivamente delgado proporciona una lubricación de inferior calidad y da lugar a un consumo elevado de aceite.

Los cambios que se producen en las viscosidades del aceite, con temperaturas cambiantes, no son los mismos para todos los aceites. Como se dijo en la sección “Propiedades de los aceites lubricantes”, una medida del cambio de viscosidad con el cambio de temperatura la constituye el índice de viscosidad (I.V.) del aceite. Cuando más alto sea el I.V., tanto menor será el cambio de viscosidad para un determinado cambio de temperatura.

Un aceite lubricante monogrado cumple únicamente con un grado de viscosidad SAE. Aun cuando la cualidad de viscosidad y temperatura de un aceite de un solo grado de viscosidad basta a menudo para satisfacer los requerimientos del motor para una determinada estación o clima, podrá ser inadecuada en un medio diferente, necesitando un cambio a un grado más apropiado para las nuevas condiciones. En las zonas de clima variable, los motoristas que usan aceites de un solo grado cambian generalmente a un grado más alto de viscosidad para manejar durante el verano, y a un grado más bajo de viscosidad para el invierno. Los cambios estacionarios se pueden eliminar mediante el uso

de aceites multigrados, los que satisfacen más de un solo grado en la clasificación SAE de viscosidades de aceite para cárter (2).

7.2. Aceite lubricante multigrado

Un aceite multigrado cumple los requerimientos de más de un grado de viscosidad SAE y puede, por consiguiente ser usado en un rango más amplio de temperatura que un aceite monogrado (1).

Los aceites multigrado de motor tienen un aditivo elaborado a base de polímeros, que tiene la función de mejorar el índice de viscosidad (para hacerlo multigrado). Este polímero tiene algunas características especiales que le permiten trabajar extraordinariamente a las altas temperaturas del motor y especialmente en las condiciones de arranque y paro (22).

En la figura 12 (anexos), se observa una gráfica de viscosidad dinámica versus temperatura, en la cual se muestran las curvas de los aceites monogrado SAE 10W, SAE 40, y la correspondiente al aceite multigrado de estos dos grados, SAE 10W-40. En la grafica puede observarse que el efecto de los aditivos en el aceite multigrado lo hace comportar como un SAE 10W, a bajas temperaturas, y como un SAE 40, a altas temperaturas. Otro aspecto importante de la gráfica es que, comparado con los correspondientes aceites monogrado, el aceite multigrado tiene una menor variación de su viscosidad con la temperatura (índice de viscosidad mas alto).

El funcionamiento del aceite multigrado SAE 10W-40 puede describirse de la siguiente manera (ver figura 12 de anexos):

- o Un aceite multigrado, como el SAE 10W-40, significa que el aceite tendrá una baja viscosidad y fluirá como un aceite SAE 10W a muy bajas temperaturas y, al

mismo tiempo, podrá mantener una viscosidad similar al de un aceite SAE 40 a las temperaturas de operación del motor.

- o Este comportamiento es debido a su alto índice de viscosidad.
- o En realidad un aceite multigrado es muy delgado a bajas temperaturas para permitir al lubricante fluir en condiciones de arranque en esas condiciones (ej. SAE 10W) y, a partir de ese punto, pierde viscosidad con menor tasa respecto al cambio de la temperatura que un aceite monogrado (un solo grado ej. SAE 40) para permitirle igualar la viscosidad de un aceite SAE 40 en la temperatura de 100 °C.
- o Las ventajas de este aceite multigrado con respecto a los monogrados pueden variar desde mayor protección, menor fricción de arranque, mejor flujo a bajas temperaturas, menor tiempo para llegar a las partes a lubricar en condiciones normales de lubricación, hasta un menor consumo durante la operación.

8. PROPIEDADES DE LOS ACEITES LUBRICANTES

Habiendo como hay una tan extensa gama de aceites lubricantes tan distintos entre sí, se comprenderá fácilmente que, para unas misiones, uno o unos tipos son adecuados, mientras que todos los restantes son completamente inadmisibles. Para poder determinar cuál o cuáles de ellos deben utilizarse para que en un determinado caso cumplan satisfactoriamente la misión o misiones encomendadas, es imprescindible conocer las características y propiedades de cada uno, las cuales proceden principalmente de su composición y del proceso de elaboración que han sufrido.

Estas características y propiedades vienen determinadas por unas constantes, siendo las principales:

- Color
- Densidad API
- Viscosidad cinemática
- Índice de viscosidad
- Contenido de cenizas
- Contenido de cenizas sulfatadas
- Concentración de metales (calcio, magnesio y zinc)

8.1. Color

Color es un término que muchas veces es mal comprendido, debido a un complejo de valores humanos y propiedades físicas. Dos personas no tienen exactamente el mismo concepto de color. El tinte, la intensidad, el tono, la pureza, la opacidad, el brillo y el grado, están todos relacionados directa o indirectamente con el color. Es en extremo difícil resumir matemáticamente todos estos factores en uno solo (10). Una de las escalas

de color más comunes en la industria del petróleo, usada especialmente para aceites industriales y de proceso, es el ASTM (D 1500).

8.2. Densidad API

La densidad tiene una pequeña importancia sobre el punto de vista de la calidad, aunque es utilizada en el control de las operaciones de refinería. Su importancia principal son los cálculos de peso en volumen y viceversa. Estos datos son muy útiles en los cálculos de carga de aviones y buques, eficiencia de la combustión, etc. En cierta forma, la densidad sirve para identificar el tipo de producto de petróleo (10). El método para determinar la densidad API es el ASTM D-287.

8.3. Viscosidad cinemática

La viscosidad es probablemente la propiedad física más importante de un aceite lubricante de petróleo. Esta es la medida de las características de flujo del aceite; entre más espeso sea, mayor es su viscosidad y mayor su resistencia a fluir. El mecanismo para establecer la adecuada película de lubricante depende en gran parte de la viscosidad.

La viscosidad es casi siempre la primera consideración en la selección de un aceite lubricante. Para lograr una lubricación más efectiva, la viscosidad debe estar de acuerdo con la velocidad, la carga y la temperatura de la parte lubricada. Una máquina que trabaja a alta velocidad, presiones bajas y temperaturas bajas, debe utilizar un lubricante con un grado bajo de viscosidad. Un aceite que es más pesado de lo necesario introduce una fricción fluida excesiva y crea un arrastre innecesario. Por el contrario, un equipo que trabaja a bajas velocidades y altas cargas y temperaturas, deberá ser lubricado con un aceite de alto grado de viscosidad. Un aceite muy delgado no provee una película resistente necesaria para soportar la carga y para dar una protección adecuada a las superficies en contacto. Por estas razones, la viscosidad y sus pruebas juegan un papel

importante en la determinación de las propiedades lubricantes de un aceite (10). El método para determinar la viscosidad cinemática es el ASTM D-445.

8.4. Índice de viscosidad

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

Muchas veces, como los líquidos de petróleo, los cambios de viscosidad pueden tener marcados efectos en el rendimiento de un producto, o en su factibilidad para ciertas aplicaciones. La propiedad de resistir cambios en la viscosidad con los cambios de temperatura, es expresada como el índice de viscosidad (IV). Este índice es un valor numérico abstracto y empírico. Entre mayor sea el IV, menor es el cambio de viscosidad con la temperatura.

Los aceites lubricantes están expuestos a un amplio rango de temperatura durante el tiempo de servicio. A altas temperaturas la viscosidad de un aceite puede bajar hasta puntos donde se rompa la película de lubricación, dando como resultado el contacto metal a metal, ocasionando un desgaste severo. En el caso contrario, el aceite puede volverse demasiado viscoso para una adecuada circulación o puede generar fuerzas tan altamente viscosas que impidan el funcionamiento adecuado de la maquinaria. Por consiguiente, muchas aplicaciones requieren un aceite de altos índices de viscosidad.

Por ejemplo, los aceites de cárter de automóviles no deben ser muy espesos a bajas temperaturas de encendido, porque le dan una carga excesiva para el movimiento del motor. Durante tiempo caliente, el aceite debe fluir libremente para dar una completa lubricación a todas las partes del motor. Después de que el aceite haya alcanzado la temperatura de operación, este no se debe adelgazar a tal punto que cause un gran consumo o que la película de lubricación no pueda soportar la carga (10).

El método para determinar el índice de viscosidad es el ASTM D-2270.

8.5. Contenido de cenizas y cenizas sulfatadas

El porcentaje de cenizas que se mantiene después de que el aceite se ha quemado, da una indicación de la cantidad de aditivo metálico y contaminación por sólidos no combustibles, que el aceite pueda contener. El contenido de ceniza depende principalmente del tipo de aceite, su condición de trabajo y la prueba con la cual es evaluado (10).

El método más sencillo para determinar el contenido de ceniza de un aceite de lubricación, es quemar una muestra con peso conocido, aplicando el calor necesario para quemar las materias combustibles. El peso del residuo que queda, establece un valor para determinar el porcentaje de ceniza. Este procedimiento está descrito en la norma ASTM D 482. Sin embargo, en general, la prueba preferida es la ASTM D 874 para “Residuos sulfatados”. En esta prueba, el aceite es primero filtrado para removerle los contaminantes sólidos; luego es quemado bajo tratados con ácido sulfúrico, para asegurar el grado de oxidación de todos los componentes. Este tratamiento con ácido asegura la uniformidad de los resultados, haciéndola más real (10).

9. RESULTADOS

TABLA I. Resultados de análisis de las muestras de aceite lubricante multigrado SAE 20W-50

PROPIEDADES	MUESTRAS				
	I	II	III	IV	V
Color ASTM	3,5	4,2	4,2	2,9	3,5
Densidad (°API) a 60 °F	28,2	26,8	27,3	28	28,9
Densidad a 60 °F (g/cm ³)	0,89	0,89	0,89	0,89	0,88
Viscosidad a 40 °C (cSt)	151	169	169	186	174
Viscosidad a 100 °C (cSt)	17,8	19,2	19,0	20,6	19,3
Índice de Viscosidad	120	120	118	119	118
Porcentaje de cenizas	0,68	0,69	0,80	0,76	0,65
Porcentaje de cenizas sulfatadas	0,77	0,78	0,89	0,87	0,72
Calcio (ppm)	153	1764	186	1300	514
Magnesio (ppm)	0	0	0	0	0
Zinc (ppm)	555	1092	487	822	811

TABLA II. Cuadro estadístico de los resultados (tablas III a XIII)

PROPIEDADES	CDMd	CDMe	F(4,10)
Color ASTM	0.00	1.20	∞
Densidad (°API) a 60 °F	0.00	2.65	∞
Densidad a 60 °F (g/cm ³)	0.00	0.00	∞
Viscosidad a 40 °C (cSt)	0.03	658.49	19970.45
Viscosidad a 100 °C (cSt)	0.01	4.09	461.46
Índice de viscosidad	0.20	6.31	31.56
Porcentaje de cenizas	0.00	0.02	∞
Porcentaje de cenizas sulfatadas	0.00	0.02	∞
Calcio (ppm)	55.67	2056895.64	36950.22
Zinc (ppm)	71.87	233135.02	3243.99

Donde:

CDMd: Cuadrado de medias dentro de las muestras, con 10 grados de libertad

CDMe: Cuadrado de medias entre las muestras, con 4 grados de libertad

F(4,10): Valor calculado de la función F de cola con 4 y 10 grados de libertad respectivamente

FIGURA 1. Color ASTM vrs marcas

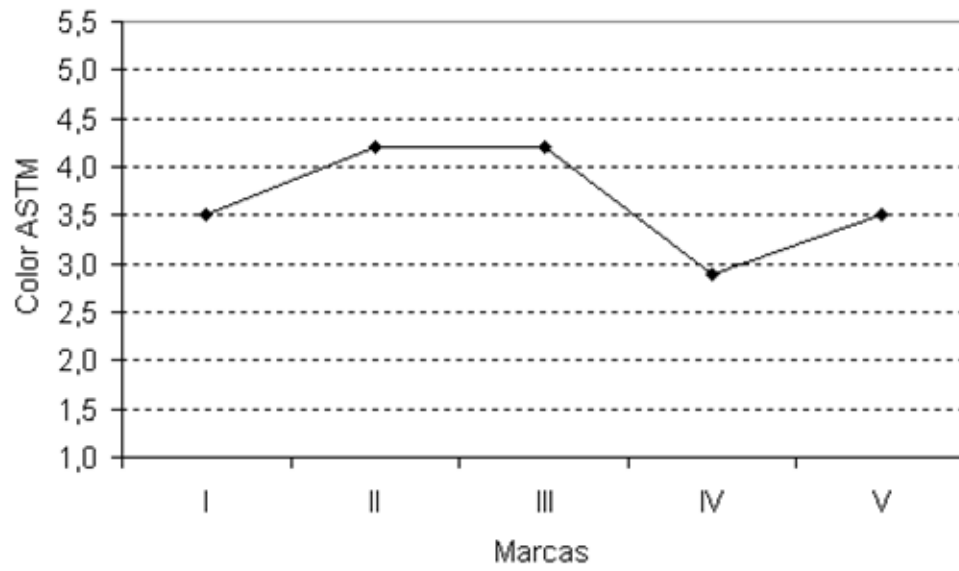


FIGURA 2. Densidad (°API) a 60 °F vrs marcas

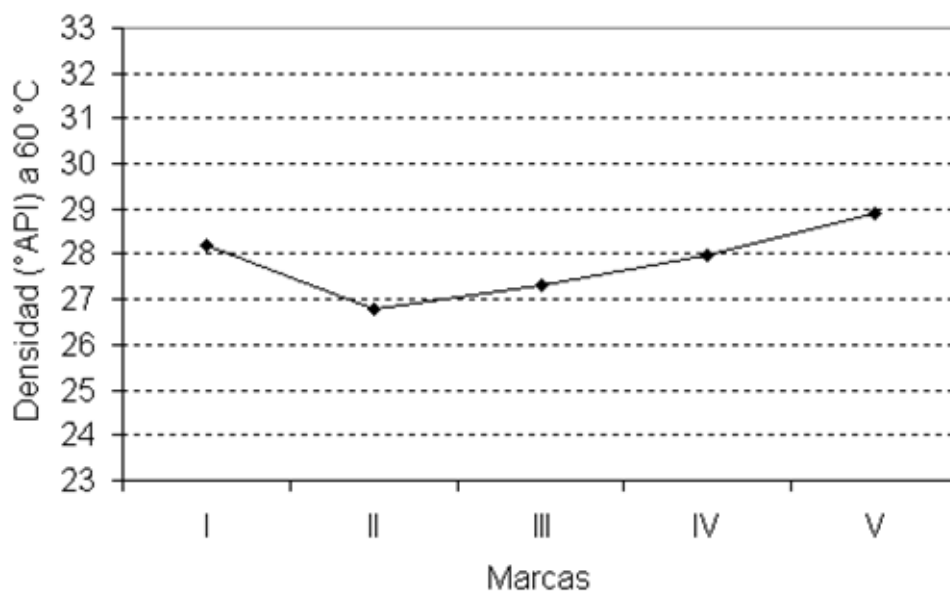


FIGURA 3. Densidad a 60 °F (g/cm³) vrs marcas

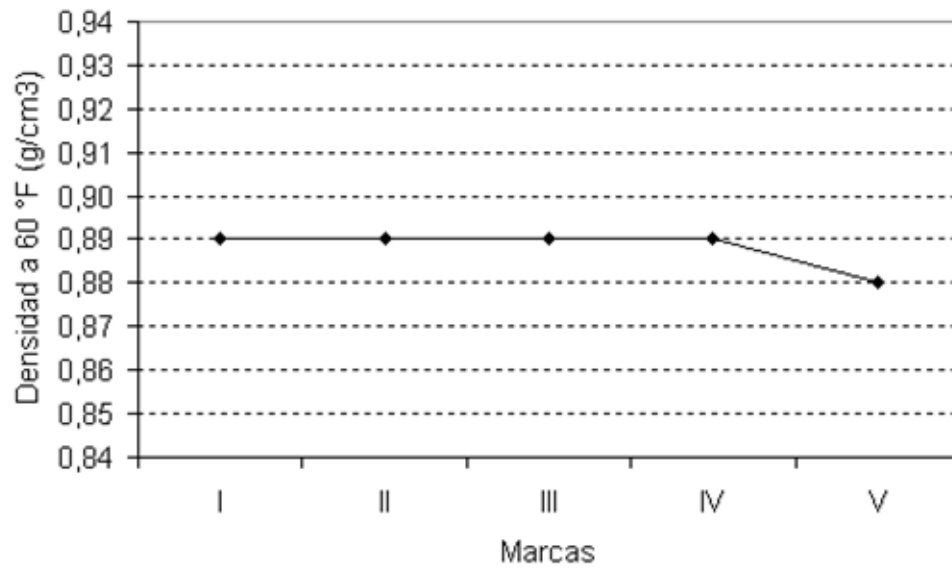


FIGURA 4. Viscosidad a 40 °C (cSt) vrs marcas

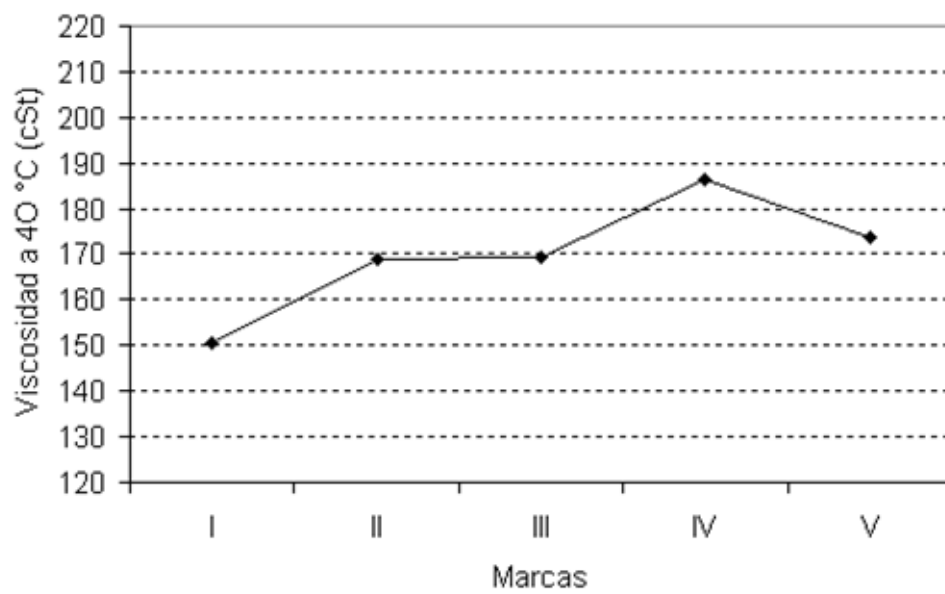


FIGURA 5. Viscosidad a 100 °C (cSt) vrs marcas

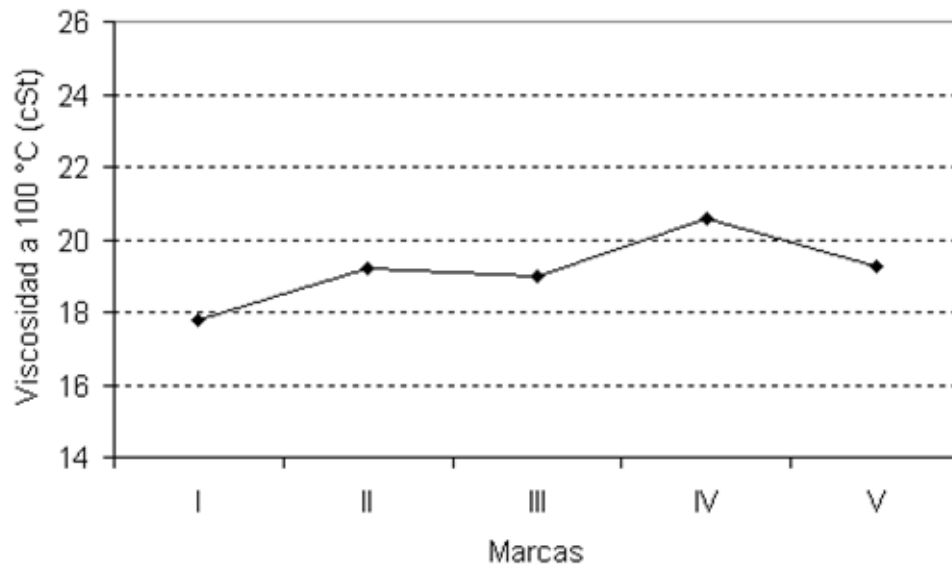


FIGURA 6. Indice de Viscosidad vrs marcas

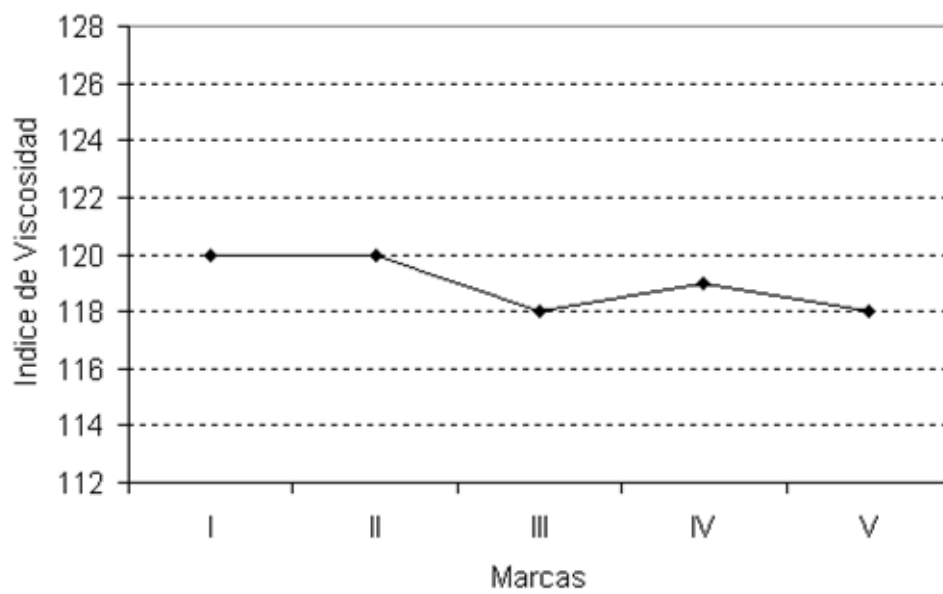


FIGURA 7. Porcentaje de cenizas vrs marcas

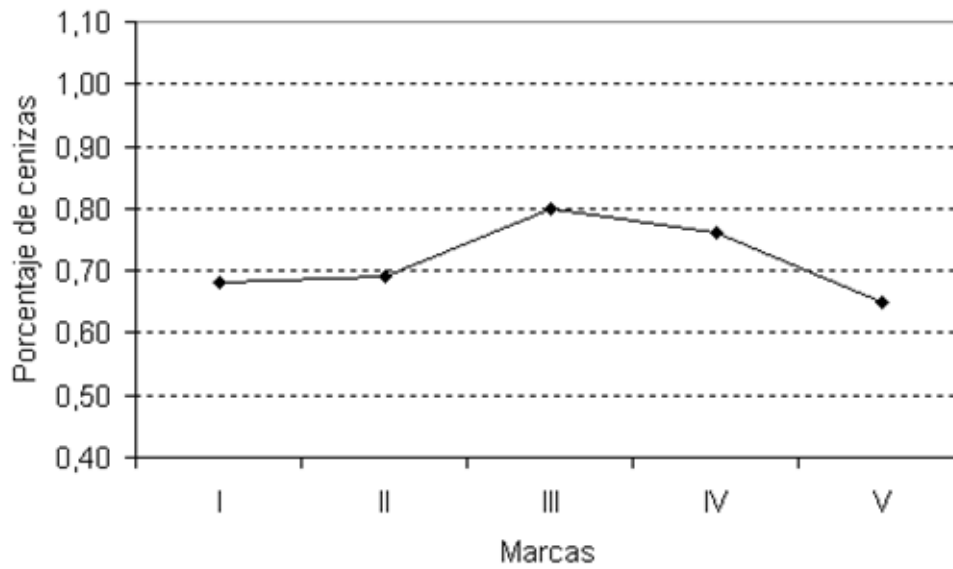


FIGURA 8. Porcentaje de cenizas sulfatadas vrs marcas

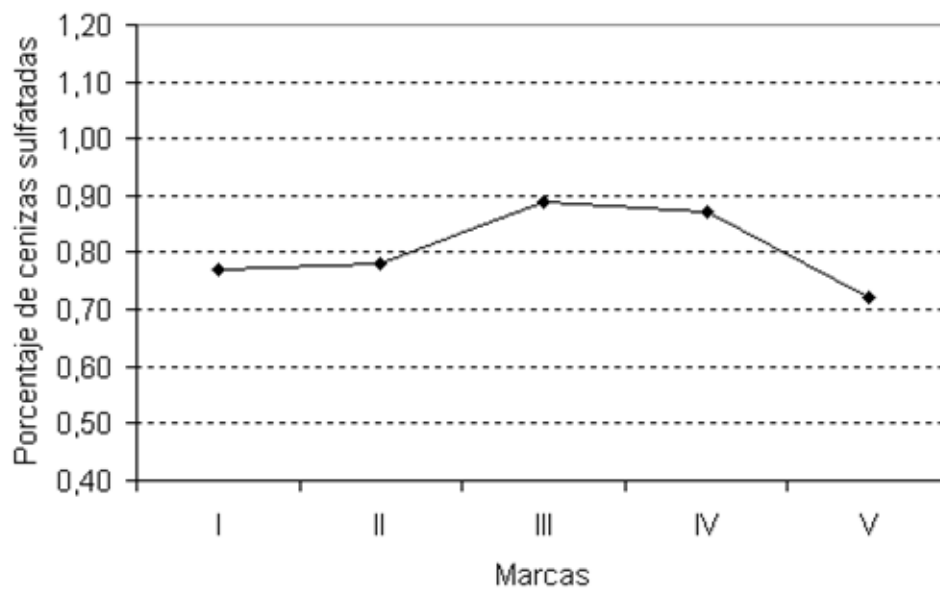


FIGURA 9. Calcio (ppm) vrs marcas

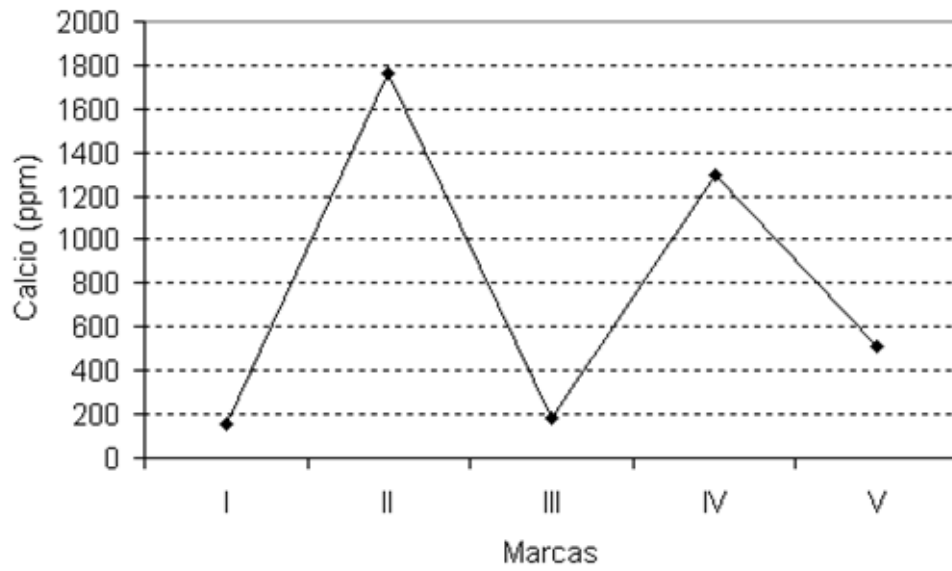
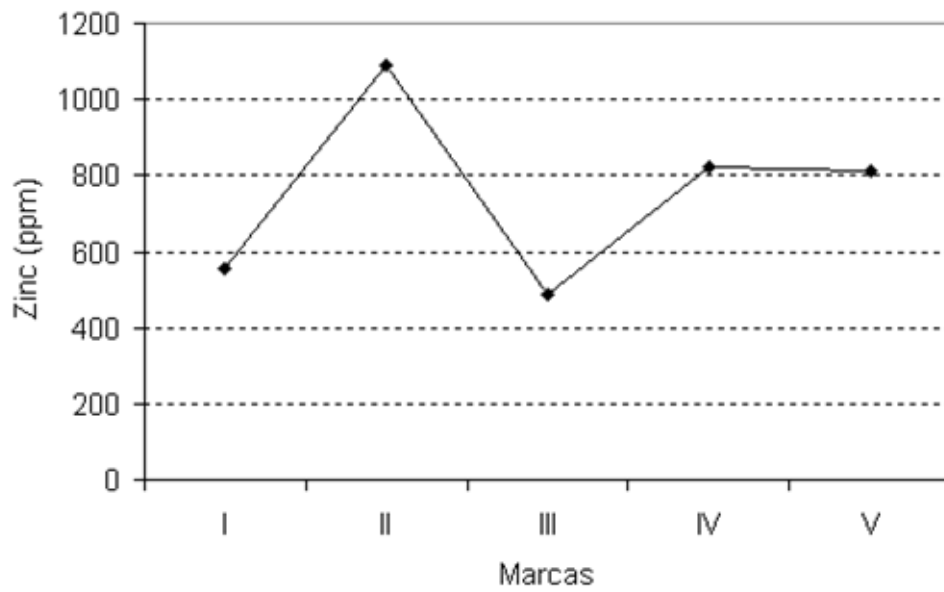


FIGURA 10. Zinc (ppm) vrs marcas



10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del presente trabajo de investigación se resumen en la tabla I, en donde se pueden apreciar los valores obtenidos de todas las propiedades analizadas de las cinco marcas.

Cada propiedad de las cinco marcas se analizó tres veces, tal como se muestra en las tablas III al XIII (ver apéndice). Los datos de estas tablas se sometieron a un análisis estadístico de varianza de clasificación simple. Los resultados de este análisis se presentan en la tabla II, donde el valor CDMd representa la variación que existe entre las tres repeticiones que se hicieron para cada propiedad. Esto nos da una idea de la precisión en la determinación experimental de los resultados; el valor CDMe representa la variación que existe entre las propiedades de las muestras analizadas; el valor $F(4,10)$ representa la relación entre CDMe y CDMd.

En la tabla XVI (ver anexos), se presentan especificaciones de propiedades fisicoquímicas de aceites lubricantes multigrado SAE 20W-50 de algunos fabricantes. Estos datos permiten obtener una referencia de comparación con los datos obtenidos experimentalmente.

Los resultados experimentales del Color ASTM se presentan en la tabla III (ver apéndice), se puede apreciar que esta propiedad no tuvo variación alguna en cuanto a los valores obtenidos en las tres pruebas o repeticiones realizadas a cada una de las marcas, por lo que en la tabla II se tiene un valor CDMd de cero.

En la tabla I vemos que existe una variación del Color ASTM entre las marcas, por lo que se obtuvo un valor CDMe de 1.2. Esta variación se puede visualizar mejor en

la figura 1, donde se puede apreciar que la marca IV tiene el valor más bajo, I y V tienen el mismo valor, y que las marcas II y III tienen el valor más alto.

La densidad obtuvo un valor CDMd de cero, lo que significa que se tienen valores repetidos de las tres pruebas a que fueron sometidas cada una de las marcas. Esto puede apreciarse en los resultados experimentales de la tabla IV (ver apéndice). Haciendo una comparación de las densidades de las diferentes marcas, tabla I y figura 3, se observa que la mayoría de marcas tienen el mismo valor, 0.89 g/cm³, y que la marca V tiene un valor de 0.88 g/cm³.

En la tabla XVI se encuentran especificadas las densidades de algunos fabricantes. En esta tabla podemos observar densidades de 0.88 y 0.89 g/cm³. Es importante observar que estos datos concuerdan con los obtenidos en las marcas analizadas, ya que también en la tabla I encontramos densidades de 0.88 y 0.89 g/cm³.

La viscosidad y el índice de viscosidad son, sin lugar a dudas, las propiedades más importantes para los aceites lubricantes derivados del petróleo, ya que de estas depende que exista o no, una buena lubricación en las partes móviles del motor.

Las viscosidades a 40 y 100 °C tienen valores de CDMd de 0.03 y 0.01, respectivamente. Esto se debe a que existen pequeñas variaciones en las tres pruebas a que fueron sometidas cada una de las marcas, tal como se aprecia en las tablas VI y VII (ver apéndice). Sin embargo, los valores de viscosidad obtenidos pueden considerarse precisos, ya que los valores de CDMd son aproximadamente de cero.

La viscosidad a 40 °C tiene un valor CDMe de 658. Esto quiere decir que esta propiedad varía significativamente entre las diferentes marcas. En la tabla I podemos observar que esta viscosidad varía de 151 a 186 cSt. Esta variación también se puede observar en la figura 4, donde se aprecia que la marca I tiene la viscosidad más baja, y la marca IV tiene la viscosidad más alta.

En la tabla XVI se encuentran especificadas las viscosidades a 40 °C de algunos fabricantes. En esta tabla podemos observar valores de 158, 169, y 149 cSt. En la tabla I las marcas I, II y III tienen valores de 151, 169 y 169 cSt, respectivamente. Estos valores son similares al de las especificaciones de la tabla XVI, pero las marcas IV y V tienen valores más altos, son de 186 y 174 cSt, respectivamente.

La viscosidad a 100 °C tiene un valor CDMe de 4, lo cual quiere decir que esta viscosidad varía menos entre las marcas que la de 40 °C. En la tabla I podemos observar que esta viscosidad varía de 17.8 a 20.6 cSt. Esta variación también se puede observar en la figura 5, donde se aprecia que la marca I tiene la viscosidad más baja, y la marca IV tiene la viscosidad más alta.

En la tabla XVI se encuentran especificadas las viscosidades a 100 °C de algunos fabricantes. En esta tabla podemos observar valores de 17.8, 18.7, y 16.7 cSt. En la tabla I las marcas I, II, III y V tienen valores de 17.8, 19.2, 19 y 19.3 cSt, respectivamente. Estos valores son similares al de las especificaciones de la tabla XVI, pero la marca IV tiene el valor un poco más alto, esto es, de 20.6 cSt.

El índice de viscosidad es una escala arbitraria utilizada para mostrar la magnitud de los cambios que la viscosidad de un aceite lubricante experimenta a causa de la temperatura. El índice de viscosidad permite que los aceites multigrado cumplan con los requerimientos de más de un grado viscosidad SAE y, por consiguiente, pueden ser usados en un rango más amplio de temperatura que un aceite monogrado.

El índice de viscosidad tiene un CDMe de 6.3. Esto quiere decir que los valores de esta propiedad son muy cercanos para las cinco muestras, lo cual puede verse mejor en la tabla I y en la figura 6, donde puede apreciarse que varía de 118 a 119. Es importante observar que aunque las viscosidades a 40 y 100 °C varían significativamente, el índice de viscosidad casi no varía entre las marcas.

En la tabla XVI se encuentran especificados los índices de viscosidad de algunos fabricantes. En esta tabla podemos observar valores de 123, 124, y 120. En la tabla I las marcas I, II, y IV tienen valores de 120, 120, y 119, respectivamente. Estos valores son similares al de las especificaciones de la tabla XVI, pero las marcas III y V tienen un valor de 118, ligeramente más bajo que el de las especificaciones.

El contenido de cenizas en un aceite lubricante nuevo es un indicador de la cantidad de metales utilizados en los aditivos. Los valores de CDMe para las cenizas y cenizas sulfatadas es de 0.02 y 0.02, respectivamente. Esto quiere decir que las cinco marcas tienen valores similares en el contenido de cenizas y cenizas sulfatadas, lo cual implica que todas las marcas analizadas utilizan las mismas proporciones de aditivos.

En la tabla I pueden verse los valores obtenidos para el contenido de cenizas de las cinco marcas analizadas, los cuales son de 0.68, 0.69, 0.80, 0.76 y 0.65 por ciento en peso, respectivamente. Las marcas I, II y III tienen valores muy similares. En la figura 7 se observa que el contenido más alto de cenizas lo tiene la marca III, con un valor de 0.80 por ciento en peso; y el valor más bajo lo obtuvo la marca V, con un valor de 0.65 por ciento en peso.

En la Tabla I aparecen los contenidos de cenizas sulfatadas para las cinco marcas analizadas, los cuales son 0.77, 0.78, 0.89, 0.87 y 0.72 por ciento en peso respectivamente, las marcas I, II y V tienen valores muy similares. En la figura 8 se observa que el contenido más alto de cenizas sulfatadas lo tiene la marca III, con un valor de 0.89 por ciento en peso; y el valor más bajo lo obtuvo la marca V, con un valor de 0.72 por ciento en peso.

El contenido de metales es un indicador de los diferentes tipos de aditivos utilizados para alcanzar las propiedades deseadas en los aceites lubricantes. Utilizando

un método de absorción atómica, se llegó a determinar el contenido de calcio y zinc, así como la ausencia de magnesio, lo cual implica la ausencia de aditivos a base de magnesio.

En la tabla I se presentan los resultados del contenido de calcio de las cinco marcas analizadas. Estos valores tienen un CDMe de 2056895, lo cual quiere decir que existe una pronunciada variación del contenido de calcio entre las cinco marcas analizadas. En la figura 9 se puede apreciar que los contenidos de Calcio son completamente diferentes para las cinco marcas, excepto que las marcas I y II tienen valores cercanos; también se puede observar que el valor más alto lo obtuvo la marca II, 1764 ppm.

En la tabla I se presentan los resultados del contenido de zinc. Se observa una variación entre los resultados de las cinco marcas, ya que el valor CDMe en la tabla II es de 233135. En la figura 10 se puede apreciar que las marcas IV y V tienen valores muy similares, y que la marca II tiene el valor más alto, 1092 ppm.

CONCLUSIONES

1. Las diferentes propiedades fisicoquímicas de las marcas analizadas de aceite lubricante multigrado SAE 20W-50 cumplen con las especificaciones de los fabricantes.
2. Según los valores estadísticos CDMe, las propiedades que tienen mayor variación, entre las diferentes marcas de aceite lubricante analizadas, son el contenido de calcio y el de zinc.
3. Según los valores estadísticos CDMe, las viscosidades que tienen mas variación entre las marcas de aceite lubricante multigrado analizadas son las que se determinaron a 40 °C.
4. La marca de aceite lubricante multigrado IV es la que tiene los valores más altos de viscosidad, a 40 y 100 °C.
5. Las cinco marcas analizadas tienen valores muy similares de índice de viscosidad.

RECOMENDACIONES

1. Determinar el desempeño real de los lubricantes multigrado SAE 20W-50, midiendo las propiedades fisicoquímicas a cada determinado kilometraje de recorrido del vehículo.
2. Evaluar las propiedades fisicoquímicas de aceites lubricantes de otros grados de viscosidad, como los monogrado SAE 30 y SAE 50.
3. Caracterizar otras propiedades, tales como el número de neutralización, el número de saponificación, la corrosión en lámina de cobre, el número de ácidos totales TAN, el número de bases totales TBN y la concentración de otros metales, como el bario, el hierro, el níquel, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1
Texaco Guatemala, Inc. **Catálogo de lubricantes, grasas y refrigerantes.** Oficinas Centrales. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 1999.
- 2
Esso/Exxon. **Guía de lubricantes** (Automotrices e Industriales). Guatemala: Alesgo, S.A.
- 3
Intecap Guatemala. **Manual Shell del cuidado de los lubricantes durante su almacenamiento.**
- 4
Shell Briefing Service (abs). Revista: **El negocio de los lubricantes.**
- 5
Daniel Armando Cortéz Argueta. Consideraciones Ambientales para el Control y Manejo de Lubricantes Usados y Sustancias Oleosas. Tesis Ingeniero Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería: 1999.
- 6
Aldo Alexander Portillo Nájera. Caracterización de las Propiedades Físico-Químicas de los Aceites Usados como Combustible Alternativo. Tesis Ingeniero Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería: 2001.
- 7
David Pérez Parra. **Lubricantes, su empleo y selección.** 4^a ed. Barcelona: Ediciones CEAC, S.A. 1965.
- 8
Kirk Raymond E., Othmer Donal F. **Enciclopedia de tecnología química.** Volumen 10. México: Editoreal UTHEA. 1962.
- 9
Miguel de Castro Vicente. **El motor de gasolina.** 3^a ed. España: Ediciones CEAC, S.A. 1992.
- 10
Departamento de Productos del Petróleo de Exxon Corporación. **Control de calidad y su aplicación a productos del petróleo.** Esso Inter-América.

11

Julio Francisco Villacinda Maldonado. Evaluación de dos Métodos de Regeneración en Aceites Lubricantes para Motores de Automóviles de Gasolina. Tesis Ingeniero Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1990.

12

Pedro Leonel Lorenzo Pérez. Caracterización de las Propiedades Físico-Químicas de los Aceites Lubricantes SAE-40 para Vehículos con Motores Diesel y Gasolina que se Comercializan en el País. Tesis Ingeniero Químico. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería: 2000.

13

J. C. Miller y J. N. Miller. **Estadística para Química Analítica**. 2^a ed. Wilmington, Delaware, U.S.A.: Editorial Addison-Wesley Iberoamericana, S.A. 1993.

14

ASTM. **Annual Book of ASTM Standards** (Petroleum Products, Lubricants and Fossil Fuels). Sección 5. Volumen 05.01 y 05.02. American Society for Testing and Materials. Printed in Easton, M.D. U.S.A. 1984.

15

Perkin-Elmer. **Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry**. Perkin-Elmer, Company. Printed in the United States of America. 1994.

16

Ministerio e Energía y Minas de Guatemala. **Estadísticas de la Industria Petrolera en Guatemala**. Dirección General de Hidrocarburos, Departamento de Transformación y Distribución. 2003.

17

<http://www.noria.com.mx/conf/lub2.html>

18

<http://www.noria.com.mx/conf/lt17.html>

19

<http://www.motoroil.cl/docoil.htm>

20

<http://www.airpartsco.com/main/articles/aceite.htm>

21

<http://www.noria.com.mx/conf/lt8.html>

22

<http://www.noria.com.mx/conf/lt26.html>

23

<http://www.noria.com.mx/dictionary.html>

24

www.nostrumdg.com/texaco/es/ps/automocion/main.html

25

www.shell.es

26

www.bardahlpain.com/automocion/automocion_lubricante.htm

APÉNDICE

METODOLOGÍA

1. MATERIAL A EMPLEAR

Se utilizará aceite lubricante para motores de automotrices de multigrado, el cual será obtenido de cinco compañías diferentes que comercializan este producto en el país.

2. PROCEDIMIENTO

A las cinco diferentes marcas comerciales de aceites lubricantes analizados en este estudio, se les analizaron diez propiedades fisicoquímicas, las cuales se enumeran a continuación.

- a) Color
- b) Densidad API
- c) Viscosidad
- d) Índice de viscosidad
- e) Contenido de cenizas
- f) Contenido de cenizas sulfatadas
- g) Concentración de calcio
- h) Concentración de magnesio
- i) Contenido de zinc

Cada una de las propiedades anteriores cuenta con métodos ASTM específicos para su análisis. Los resúmenes de los procedimientos de estos métodos se describen a continuación (14).

2.1. Color ASTM, Método ASTM D-1500

2.1.1. Cantidad de muestra

40 ml aproximadamente.

2.1.2. Procedimiento

- a) Llenar uno de los recipientes que estén limpios y secos con aproximadamente 50 mL de agua destilada y colocarlo en el lado izquierdo del calorímetro Unión, el cual servirá de referencia.
- b) Llenar el recipiente aforado con la muestra de aceite y colocarlo en el lado derecho del Calorímetro Unión.
- c) Con el tornillo del calorímetro hacer coincidir el color de los patrones con el color de la muestra o que sea próximo.
- d) Tomar el número que es equivalente con el color de la muestra.
- e) El resultado obtenido se lleva a la gráfica de método D-1500 y se busca el equivalente a este número o el que sea más próximo, para convertir el color Unión Universal en color ASTM.

2.2. Gravedad API, Método ASTM D-287

2.2.1. Cantidad de muestra

500 ml

2.2.2. Procedimiento

- a) Agitar la muestra para homogeneizar, no debe hacerse bruscamente para evitar la formación de burbujas.
- b) Verter la muestra en una probeta de 500 ml, procurando dejar un margen para que no se derrame.
- c) Introducir un hidrómetro ASTM 2-H con un rango de 19-31 °API en la probeta que contiene la muestra, con el cuidado de que no toque las paredes y que flote, si el hidrómetro no flota, usar un hidrómetro 1-H, y si la escala queda fuera de rango, usar uno 3-H.
- d) Dejar que se estabilice el hidrómetro y luego leer.
- e) A continuación colocar un termómetro dentro de la probeta y esperar hasta que la temperatura se estabilice y luego, leer.
- f) Con los dos datos anteriores se corrige la gravedad API a 60 °F, utilizando las tablas 5A del método ASTM 1250.

2.3. Viscosidad cinemática, METODO ASTM D-445

2.3.1. Cantidad de muestra

7 ml

2.3.2. Procedimiento

- a) Calibrar el baño a la temperatura de 40 o 100 °C.
- b) Chequear que la muestra se encuentre libre de partículas y burbujas.
- c) Tomar una alícuota de muestra en un viscosímetro limpio y seco Cannon-Fenske calibrado para fluidos claros. El número del viscosímetro a usar se selecciona en función de la viscosidad aproximada de la muestra.

- d) Introducir el viscosímetro al baño y sujetarlo, la muestra debe quedar por debajo del nivel del baño.
- e) Esperar de 10 a 15 minutos para que la muestra alcance la temperatura del baño.
- f) Utilizando una perilla, hacer que el aceite suba hasta la marca superior al bulbo del viscosímetro. Es importante que la muestra no tenga burbujas.
- g) Luego, dejar que fluya por gravedad y tomar el tiempo entre la marca superior y la inferior. Si el tiempo es menor que 200 segundos, utilizar un viscosímetro de número menor; y si el tiempo es mayor, a la inversa.
- h) Repetir el paso anterior hasta que la diferencia entre las pruebas no sea mayor que 0.5 segundos. No repetir más de siete veces la prueba. Si no se estabiliza la prueba será necesario cambiar la muestra.
- i) Anotar el tiempo en segundos.
- j) El tiempo en segundos se multiplica por la constante del viscosímetro, mm^2/seg^2 , y el resultado queda expresado en $\text{mm}^2/\text{seg.}$, que es un cSt.

2.4. Índice de Viscosidad, I.V., Método ASTM D-2270

2.4.1. Cantidad de muestra

14 ml

2.4.2. Procedimiento

- a) Determinar las viscosidades a 40 y 100 °C, según el método ASTM D-445.

- b) Con los valores de viscosidad obtenidos, se encuentra el I.V. tabulando los datos con tablas de método ASTM D-2270 o con las relaciones siguientes:

$$L = 0.8353 * Y^2 + 14.67 * Y - 216 \quad (\text{Ecc. 1})$$

$$H = 0.1684 * Y^2 + 11.85 * Y - 97 \quad (\text{Ecc. 2})$$

Donde:

L = Viscosidad (cSt) a 40 °C del aceite de I.V. cero

Y = Viscosidad (cSt) de la muestra a 100 °C

H = Viscosidad (cSt) a 100 °C del aceite de I.V. 100

Sustituir ecuaciones 1 y 2 en:

$$I.V = ((L - U) / (L - H)) * 100$$

Donde:

U = Viscosidad (cSt) a 40 °C de la muestra

- c) Se pueden calcular los valores de las variables L y H, a través de tablas de método ASTM D-2270 en función de la viscosidad de la muestra a 100 °C. Luego se aplica la Ecc. 3.

2.5. Porcentaje de Cenizas, Método ASTM D-482

2.5.1. Cantidad de muestra

5 g

2.5.2. Procedimiento

- a) Tarar un crisol a la temperatura de 775 ± 25 °C por 30 min. en una mufla.
- b) Colocar el crisol tarado por 30 min. en una desecadora.

- c) En el crisol previamente tarado pesar aproximadamente 5 gramos de muestra.
- d) Con un mechero flamear el crisol hasta que el aceite se quemara por completo y ya no salgan vapores o gases del crisol. Evitar que la muestra se derrame.
- e) Colocar el crisol por 60 min. en la mufla a una temperatura de 775 ± 25 °C.
- f) Sacar y esperar que se enfríe el crisol; luego, colocarlo por 30 min. en la desecadora.
- g) Pesar el crisol con el residuo con exactitud de 10 mg.
- h) Repetir los tres pasos anteriores, hasta llegar a peso constante.
- i) Obtener el porcentaje de cenizas con la siguiente relación:

$$\% C = ((PRC - PC) / PM) * 100$$

Donde:

% C = Porcentaje de cenizas

PRC = Peso del residuo y crisol

PC = Peso de la tara del crisol

PM = Peso de la muestra (5 grs.)

2.6. Porcentaje de cenizas sulfatadas, Método ASTM D--874

2.6.1. Cantidad de muestra

5 g

2.6.2. Procedimiento

- a) Según el procedimiento del método ASTM D-482, determinación de cenizas, al residuo obtenido se le adicionan 3 gotas de agua destilada y

10 gotas de solución de ácido sulfúrico de concentración 1 + 1, procurando que todo el residuo quede completamente mojado.

- b) Colocar el crisol en una plancha, y evaporar lentamente hasta que ya no salgan vapores o gases.
- c) Aplicar un exceso de calor hasta llevar a sequedad.
- d) Colocar el crisol por 30 min. en la mufla a una temperatura de 775 ± 25 °C.
- e) Sacar el crisol y esperar a que se enfríe. Luego colocarlo por 30 minutos en la desecadora.
- f) Pesar el crisol.
- g) Repetir los últimos tres pasos, hasta obtener peso constante.
- h) Obtener el porcentaje de cenizas sulfatadas con la siguiente relación:

$$\% \text{ CS} = ((\text{ PRSC} - \text{ PC}) / \text{ PM}) * 100$$

Donde:

% C = Porcentaje de cenizas sulfatadas

PRSC = Peso residuo sulfatado y crisol

PC = Peso del crisol

PM = Peso de la muestra (5 g)

2.7. Determinación de calcio, magnesio y zinc. Método PC-1 Y PC-3 de los métodos analíticos del manual Perkin-Elmer para espectrofotometría de absorción atómica

2.7.1. Cantidad de muestra

3 g

2.7.2. Procedimiento

2.7.2.1. Preparación de la muestra

- a) Agitar mecánicamente la muestra por cinco minutos.
- b) Pesar aproximadamente 3 g de muestra en un balón aforado de 25 ml.
- c) Agregarle potasio como ciclohexanobutirato, hasta que el volumen final tenga 0.3 por ciento de potasio, si se analiza calcio.
- d) Diluir al volumen apropiado con xileno, av-jet o MIBK.
- e) Ajustar el factor de dilución para asegurar que la concentración este en el rango de absorbancia.
- f) Leer la concentración en el espectrofotómetro de absorción atómica.

Notas:

Si el zinc es el único elemento a ser determinado y está a concentraciones bajas, una muestra de 0.1 gr. diluida en 25 mL. es apropiada. Una solución de potasio al 1 % (p/v) se prepara al diluir 5.3 gr de potasio ciclohexanobutirato en 10 ml de ácido 2-etilhexanoico en 30 ml de xileno, con calentamiento y diluyendo a 100 ml con xileno.

2.7.2.2. Análisis

Determinar la concentración de los elementos de interés usando flama de N₂O-C₂H₂, según la sección de condiciones estándar. Los estándares y blancos se diluyen con xileno usando los mismos factores de dilución de las usadas en las muestras.

3. MEDIOS

3.1. Equipos

- a) Viscosímetros Cannon-Fenske de números: 100, 200, 300 marca Cannon, utilizados para determinar la viscosidad cinemática de los derivados de petróleo. Método ASTM D-445.
- b) Baño de aceite de temperatura constante para viscosímetros, marca Koehler, modelo K-23400, 1/20 HP, 1550 R.P.M. Método ASTM D-445.
- c) Mufla Branstead/Termoline, 120 voltios, rango de calentamiento de 0 °C a 1200 °C, amperaje de 8.3, 1000 Watts.
- d) Estufa eléctrica, marca Fisher, 110 voltios.
- e) Balanza de precisión, Tipo AE-200, 115-120 voltios, rango de 0 a 200 grs.
- f) Espectrofotómetro de absorción atómica, marca Perkin-Elmer, modelo 373.
- g) Lámparas de calcio, magnesio y zinc, para determinar calcio, magnesio y zinc en el espectrofotómetro de absorción atómica.
- h) Colorímetro Unión, Marca Fisher-Tag, 110 voltios, Serie No. A-473, Fisher Scientific Co. Método ASTM D-1550.

3.2. Instrumentos y materiales

- a) Termómetros con los siguientes rangos de temperatura:
 - de 208 a 212 °F ASTM # 30 F.
 - de 0 a 300 °F ASTM # 1 F.
 - de 100 a 360 °C ASTM # 10 C.
 - de 94 a 108 °F ASTM # 18 F.
- b) Vasos de precipitado de 10, 50 y 100 ml.
- c) Agitadores de vidrio, vidrios de reloj y gotero.
- d) Desecadora.

- e) Perillas.
- f) Mechero, trípode, triángulo y tela de asbesto.
- g) Crisoles.
- h) Hidrómetros para gravedad API, con una escala de 19 a 31 grados. Método ASTM D-287.
- i) Aceite lubricante de automóviles grado SAE 20W-50

3.3. Reactivos

- a) Acido sulfúrico (H_2SO_4), grado reactivo en concentración 1 + 1.
- b) Estándar Conostan multielemental.
- c) p-xileno o av-jet.

3.4. Recursos

- a) Se contara con el apoyo del Departamento de Laboratorio de la Dirección General de Servicios Administrativos del Ministerio de Energía y Minas de Guatemala.

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.1. Representación gráfica

Los resultados obtenidos se darán a conocer por medio de gráficas bidimensionales, y serán representados en el primer cuadrante de un sistema de coordenadas. Estas gráficas ilustrarán los valores de cada propiedad evaluada en función de las distintas marcas de aceites lubricantes multigrado analizadas. Así mismo, se incluirá dentro de cada gráfica el valor medio especificado por los fabricantes por cada una de las

propiedades, por lo que con esto, se dará una representación visual de la dispersión de los valores experimentales obtenidos, con respecto a lo especificado por los fabricantes.

4.2. Análisis de Varianza

Este análisis se realizará por medio de un método de la ANOVA a Análisis de varianza, denominado "Análisis de varianza de clasificación simple", con la cual se determinará si existe o no una diferencia o variabilidad significativa entre cada una de las propiedades de las muestras analizadas. El procedimiento es el siguiente:

4.2.1. Variación dentro de las muestras

- a) Para una muestra de n mediciones X_1, X_2, \dots, X_n se define como la suma de los cuadrados de las diferencias entre los datos particulares de las mediciones y su media X' correspondiente, dividida entre n menos uno, así:

$$V_d = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X')^2}{(n - 1)}$$

Donde:

Sum = Sumatoria

V_d = Variación dentro de las muestras

X_i = Valor de la propiedad media

X' = Valor de la media de propiedades

n = Número de mediciones

- b) Se calcula el valor de la media de las muestras (X_m), usando la relación siguiente:

$$X_m = \text{Sum } X_i / h$$

Donde:

X_m = Media de las muestras

X_i = Media de cada una de las propiedades medidas

h = Número de muestras

c) Se calcula el cuadro de medias dentro de las muestras (CDMd), con:

$$\text{DCMd} = (\text{Sum} (V_{di})) / n \quad \text{con } gl = h * (n - 1)$$

Donde:

V_{di} = Valor de la variación para cada muestra

gl = Grados de libertad

h = Número de muestras

4.2.2. Variación entre las muestras

Esta variación se define como la sumatoria de los cuadrados de las diferencias entre la media de propiedades y el valor de la media de las muestras X_m , así:

$$V_e = \frac{\sum_i^h (X_i - X_m)^2}{(h - 1)}$$

Donde: V_e = Variación entre las muestras

X_i = Media de las propiedades de n mediciones

h = Número de muestras

a) Se calcula el cuadro de las medias entre las muestras (CDMe), así:

$$\text{CDMe} = V_e * (h - 1) \quad \text{con gl} = h - 1$$

b) Se divide el CDMe entre el CDMd, el cociente forma el valor calculado de la función F de cola, así:

$$F_{[(h-1)/(h(n-1))]} = \text{CDMe} / \text{CDMd}$$

c) En la siguiente tabla se resume el método:

VARIABILIDAD	CDM	gl	VARIANZA	F
Entre las muestras	CDMe	h-1	V_e	CDMe / CDMd
Dentro de las muestras	CDMd	$h * (n - 1)$	V_d	

Donde: CDM = Cuadrado de medias

gl = Grados de libertad

F = Valor calculado de decisión

V = Varianza

e = Entre las muestras

d = Dentro de las muestras

TABLA III. Resultados color ASTM

MUESTRA	PRUEBA I	PRUEBA II	PRUEBA III	PROMEDIO
I	3.5	3.5	3.5	3.5
II	4.2	4.2	4.2	4.2
III	4.2	4.2	4.2	4.2
IV	2.9	2.9	2.9	2.9
V	3.5	3.5	3.5	3.5

TABLA IV. Resultados densidad (°API) a 60 °F

MUESTRA	PRUEBA I	PRUEBA II	PRUEBA III	PROMEDIO
I	28.2	28.2	28.2	28.2
II	26.8	26.8	26.8	26.8
III	27.3	27.3	27.3	27.3
IV	28.0	28.0	28.0	28.0
V	28.9	28.9	28.9	28.9

TABLA V. Resultados densidad a 60 °F (g/cm³)

MUESTRA	PRUEBA I	PRUEBA II	PRUEBA III	PROMEDIO
I	0.89	0.89	0.89	0.89
II	0.89	0.89	0.89	0.89
III	0.89	0.89	0.89	0.89
IV	0.89	0.89	0.89	0.89
V	0.88	0.88	0.88	0.88

TABLA VI. Resultados viscosidad a 40 °C (cSt)

MUESTRA	PRUEBA I	PRUEBA II	PRUEBA III	PROMEDIO
I	150.49	150.54	150.49	150.51
II	168.82	168.80	168.90	168.84
III	169.29	169.34	169.32	169.32
IV	186.30	186.55	185.78	186.21
V	173.69	173.81	173.84	173.78

TABLA VII. Resultados viscosidad a 100 °C (cSt)

MUESTRA	PRUEBA I	PRUEBA II	PRUEBA III	PROMEDIO
I	17.77	17.84	17.66	17.76
II	19.21	19.23	19.21	19.22
III	18.90	19.01	18.70	18.87
IV	20.56	20.63	20.56	20.58
V	19.21	19.38	19.21	19.27

TABLA VIII. Resultados índice de viscosidad

MUESTRA	PRUEBA I	PRUEBA II	PRUEBA III	PROMEDIO
I	120	121	120	120
II	120	120	120	120
III	118	118	117	118
IV	119	119	119	119
V	118	118	117	118

TABLA IX. Resultados porcentaje de cenizas

MUESTRA	PRUEBA I	PRUEBA II	PRUEBA III	PROMEDIO
I	0.68	0.68	0.68	0.68
II	0.69	0.69	0.69	0.69
III	0.80	0.80	0.80	0.80
IV	0.76	0.76	0.76	0.76
V	0.65	0.65	0.65	0.65

TABLA X. Resultados porcentaje de cenizas sulfatadas

MUESTRA	PRUEBA I	PRUEBA II	PRUEBA III	PROMEDIO
I	0.77	0.77	0.77	0.77
II	0.78	0.78	0.78	0.78
III	0.89	0.89	0.89	0.89
IV	0.87	0.87	0.87	0.87
V	0.72	0.72	0.72	0.72

TABLA XI. Resultados contenido de calcio (ppm)

MUESTRA	PRUEBA I	PRUEBA II	PRUEBA III	PROMEDIO
I	147	147	165	153
II	1760	1773	1760	1764
III	182	182	193	186
IV	1304	1293	1304	1300
V	517	507	517	514

TABLA XII. Resultados contenido de magnesio (ppm)

MUESTRA	PRUEBA I	PRUEBA II	PRUEBA III	PROMEDIO
I	0	0	0	0
II	0	0	0	0
III	0	0	0	0
IV	0	0	0	0
V	0	0	0	0

TABLA XIII. Resultados contenido de zinc (ppm)

MUESTRA	PRUEBA I	PRUEBA II	PRUEBA III	PROMEDIO
I	549	568	549	555
II	1088	1088	1100	1092
III	483	483	494	487
IV	826	815	826	822
V	822	801	811	811

ANEXOS

TABLA XIV. Importación de lubricantes, enero a julio del 2003

PRODUCTO	UNIDAD DE MEDIDA BARRILES AMERICANOS							BARRILES PROMEDIO POR MES
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	
Aceites lubricantes	12.795	8.812	9.182	7.283	10.352	5.373	8.109	8.844
Grasas lubricantes	806	1,190	1,198	585	580	720	572	807

Fuente: Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Hidrocarburos.
Departamento de Transformación y Distribución. Sección de Importación y Exportación.

TABLA XV. Grados de viscosidad SAE J300d para aceites de motor

Grado de Viscosidad SAE	RANGO DE VISCOSIDAD			
	Centipoises (cP) a - 18 °C (ASTM D 2602)		Centistokes (cSt) a 100 °C (ASTM D 445)	
	MAX.	MIN.	MAX.	
5W	1250	3.8	—	
10W	2500	4.1	—	
20W*	10000	5.6	—	
20	—	5.6	< 9.3	
30	—	9.3	< 12.5	
40	—	12.5	< 16.3	
50	—	16.3	< 21.9	

* SAE 15W puede ser usado para identificar aceites SAE 20W que tengan una viscosidad máxima de 5000 cP a - 18 °C.

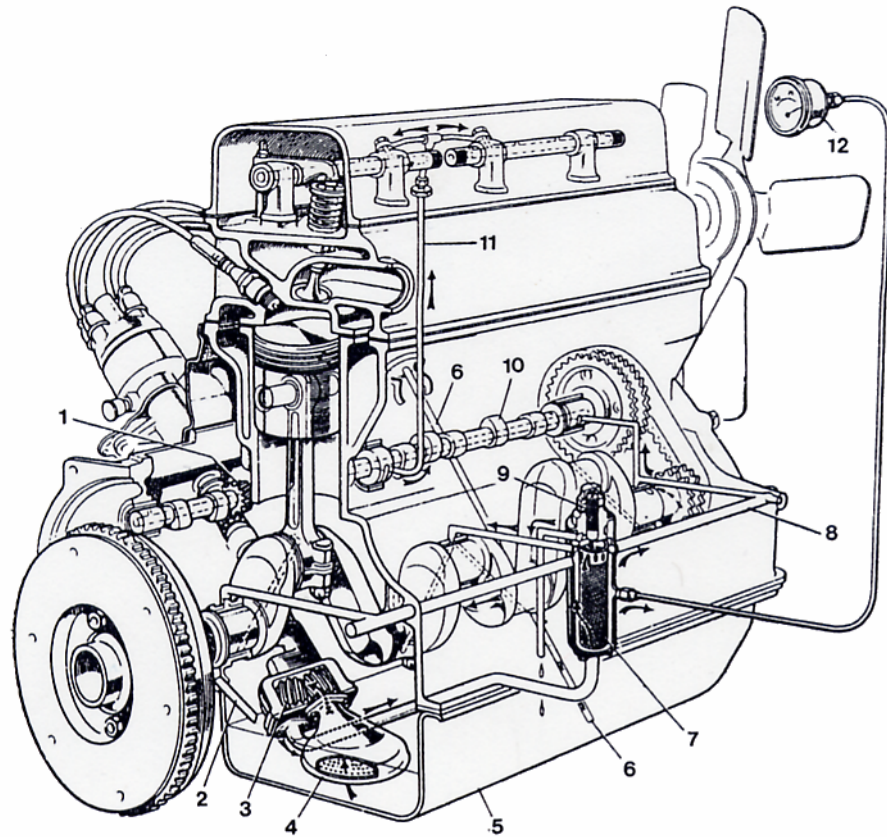
Fuente: Esso/Exxon. **Guía de Lubricantes (Automotrices e Industriales)**.
Guatemala: impreso por Alesgo S.A. Pagina 3.

TABLA XVI. Especificaciones de propiedades fisicoquímicas de aceites lubricantes multigrado SAE 20W-50 de algunos fabricantes

PROPIEDADES	HAVOLINE PREMIUM	SHELL X 100 SUPER	BARDAHL XTC SUPERMULTIGRADE
Densidad a 15 °C (kg/l)	0,88	- - -	0,8952
Viscosidad cinemática a 40 °C (mm ² /s)	158	169,2	149,6
Viscosidad cinemática a 100 °C (mm ² /s)	17,8	18,7	16,7
Indice de viscosidad	123	124	120
Punto de inflamabilidad (°C)	242	234	235
Numero de neutralización (mg KOH/g)	10,4	- - -	- - -

Ref. 24, 25, 26.

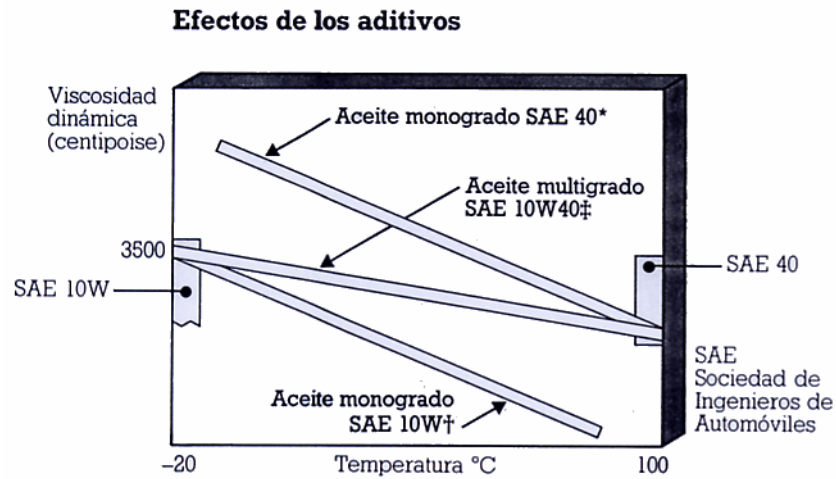
FIGURA 11. Esquema del circuito de lubricación a presión de un motor FIAT



Esquema del circuito de engrase a presión de un motor FIAT. 1. Engranaje helicoidal mando de la bomba. 2. Tubo de descarga del aceite del cojinete posterior. 3. Bomba de aceite. 4. Filtro de aspiración de la bomba. 5. Cárter depósito de aceite. 6. Varilla para comprobar el nivel del aceite en el cárter. 7. Filtro del aceite a presión. 8. Conducto longitudinal de envío de aceite a los cojinetes de apoyo al cigüeñal y al árbol de levas. 9. Válvula reguladora de la presión. 10. Arbol de levas. 11. Conducto de aceite a los cojinetes de árbol portabalancines. 12. Manómetro.

Fuente: Miguel de Castro Vicente. **El Motor de Gasolina.** 3ª ed. Ediciones CEAC, S.A. Barcelona: 1992. Pagina 300.

FIGURA 12. Gráfica viscosidad dinámica versus temperatura para aceite lubricante monogrado y multigrado



* SAE 40 – aceite monogrado típico para climas cálidos, pero de alta viscosidad a bajas temperaturas.

† SAE 10W – aceite monogrado típico para climas fríos, de baja viscosidad a altas temperaturas

‡ SAE 10W40 – aceite multigrado que combina las características de viscosidad deseables de ambos monogrados, en una amplia gama de temperaturas.

Fuente: Shell Briefing Service (abs).

Revista: **El negocio de los lubricantes**. Página 9.